

issn 0065-3713

INSTITUT D'AERONOMIE SPATIALE DE BELGIQUE

3 - Avenue Circulaire  
B - 1180 BRUXELLES

# AERONOMICA ACTA

A - N° 364 - 1992

L'expérience de spectrométrie à grille à bord de la navette spatiale  
lors de la mission ATLAS 1

par

C. CAMY-PEYRET, N. PAPINEAU, R. ARMANTE, V. ACHARD, J. BESSON  
C. MULLER, M. DE MAZIERE, C. LIPPENS, J. VERCHEVAL, M. ACKERMAN  
D. FRIMOUT

BELGISCH INSTITUUT VOOR RUIMTE-AERONOMIE

3 - Ringlaan  
B - 1180 BRUSSEL

**AVANT-PROPOS**

Cet article paraîtra dans "La Recherche Aérospatiale".

**FOREWORD**

This article will be published in "La Recherche Aérospatiale".

**VOORWOORD**

Dit artikel zal verschijnen in "La Recherche Aérospatiale".

**VORWORT**

Dieser Artikel wird in "La Recherche Aérospatiale" erscheinen.

L'EXPERIENCE DE SPECTROMETRIE A GRILLE A BORD DE LA NAVETTE SPATIALE  
LORS DE LA MISSION ATLAS 1

par

C. CAMY-PEYRET<sup>(1)</sup>, N. PAPINEAU<sup>(2)</sup>, R. ARMANTE, V. ACHARD, J. BESSON  
Office Nationale d'Etudes et de Recherches Aérospatiales  
29, Avenue de la Division Leclerc, F-92320 CHATILLON (France)

C. MULLER, M. DE MAZIERE, C. LIPPENS, J. VERCHEVAL, M. ACKERMAN  
Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique  
3, Avenue Circulaire, B-1180 BRUXELLES (Belgique)

D. FRIMOUT  
ESTEC, Noordwijk (Pays-Bas)

Résumé

Les programmes scientifiques préparés pour le vol du spectromètre à grille sur ATLAS 1 sont décrits. En particulier, les intervalles spectraux sont discutés pour chaque molécule.

Abstract

The scientific programs prepared for the ATLAS 1 grille spectrometer are described. In particular, spectral intervals are discussed for each molecule.

(1) Aussi au LPMA/CNRS, 4, Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05.

(2) Nouvelle adresse CNES, 2 Place M. Quentin, 75039 Paris Cedex 01

## Samenvatting

De wetenschappelijke programma's voorbereid voor het grille spectrometer experiment aan boord van ATLAS 1 worden beschreven. In het bijzonder worden de spectrale domeinen voor elke molecule besproken.

## Zusammenfassung

Die wissenschaftlichen Programmen werden beschrieben, die für dem Flug des Gitterspektrometers an Bord von ATLAS 1 vorbereitet wurden. Die Spektralintervallen werden für die einzelnen Molekülen ausführlich diskutiert.

## INTRODUCTION

L'intérêt porté aux problèmes d'environnement atmosphérique 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 Angeles, pluies acides et dépérissement des forêts en Europe du Nord) et atteindre actuellement l'échelle continentale et planétaire (trou d'ozone antarctique, variation de l'ozone global, réchauffement du climat).

Pour répondre aux besoins d'une meilleure connaissance de l'atmosphère qui nous entoure, plusieurs organismes de recherche nationaux 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 au sens large sous l'action des fluctuations naturelles et sous l'influence de l'activité humaine.

Dans ce cadre, plusieurs missions spatiales sont en cours ou prévues (UARS, ERS, EOS, POEM, JERS, ADEOS ...). Avant la mise en place d'un système global d'observation de la terre par les plates-formes polaires, les missions ATLAS à bord de la navette spatiale américaine devraient permettre l'étude détaillée de l'atmosphère au cours de missions de courte durée certes (environ une semaine) mais étalées sur une période complète du cycle solaire.

En particulier, les observations réalisées par les instruments embarqués sur ATLAS 1 permettront d'obtenir les profils verticaux de concentration des espèces à l'état de trace dans l'atmosphère. La répartition verticale de ces constituants résulte de processus radiatifs, chimiques et dynamiques complexes encore incomplètement compris. Les observations effectuées lors de cette mission ATLAS 1 seront utilisées pour réaliser des validations et des intercomparaisons avec celles obtenues actuellement par le satellite UARS.

Des cycles fortement couplés tels que l'interaction des composés chlorés ou nitrés avec l'ozone stratosphérique sont influencés par des sources et des puits ayant leur origine à des altitudes plus élevées ou plus basses alors que la pénétration du rayonnement ultraviolet-visible actif photochimiquement dépend des distributions verticales des constituants atmosphériques impliqués.

La spectroscopie d'absorption dans l'infrarouge utilisant la technique d'occultation solaire est une méthode précise et bien adaptée [1,2,3,4,5,6] pour observer les molécules à l'état de trace. La visée au limbe permet d'obtenir des épaisseurs optiques importantes et donc d'augmenter la sensibilité de la méthode. Grâce à l'utilisation du soleil comme source on bénéficie de l'avantage des méthodes d'absorption (auto-calibration) ce qui conjointement à la haute résolution spectrale permet de déterminer des distributions verticales précises avec une bonne résolution spatiale.

Cette technique a déjà été utilisée avec succès à partir de ballons [5] et d'avions [6] en utilisant un spectromètre à grille. Une version spatiale du spectromètre [7] autorise d'une part une couverture plus globale en latitude et longitude et d'autre part des mesures à des altitudes plus élevées. L'instrument développé conjointement par l'ONERA et l'IASB/BIRA a volé avec succès [8] pendant la mission SPACELAB 1 en 1983 à bord de la navette spatiale. Au cours de cette mission des spectres d'absorption infrarouges de NO, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, HCl, HF et O<sub>3</sub> ont été enregistrés certains pour la première fois à haute altitude [1]. Une seconde mission est prévue en Mars 1992.

Cet article décrit le programme scientifique du spectromètre à grille pour la mission ATLAS 1. Dans un premier temps, le principe de l'observation ainsi que les principales caractéristiques de l'instrument vont être présentés. Ensuite, le choix des intervalles spectraux sera explicité compte tenu des objectifs scientifiques, des contraintes propres à l'instrument et des conditions d'observation.

### CARACTERISTIQUES DE L'INSTRUMENT

Le spectromètre à grille réalise l'analyse spectrale du rayonnement solaire absorbé lors de sa traversée de l'atmosphère pour différentes hauteurs tangentes (voir figure 1) pendant un lever ou un coucher du soleil. Une méthode d'inversion permet ensuite d'accéder aux profils verticaux de concentration des espèces qui ont des signatures spectrales dans les intervalles couverts. Ces distributions verticales peuvent alors être comparées aux résultats fournis par les modèles photo-chimiques de l'atmosphère.

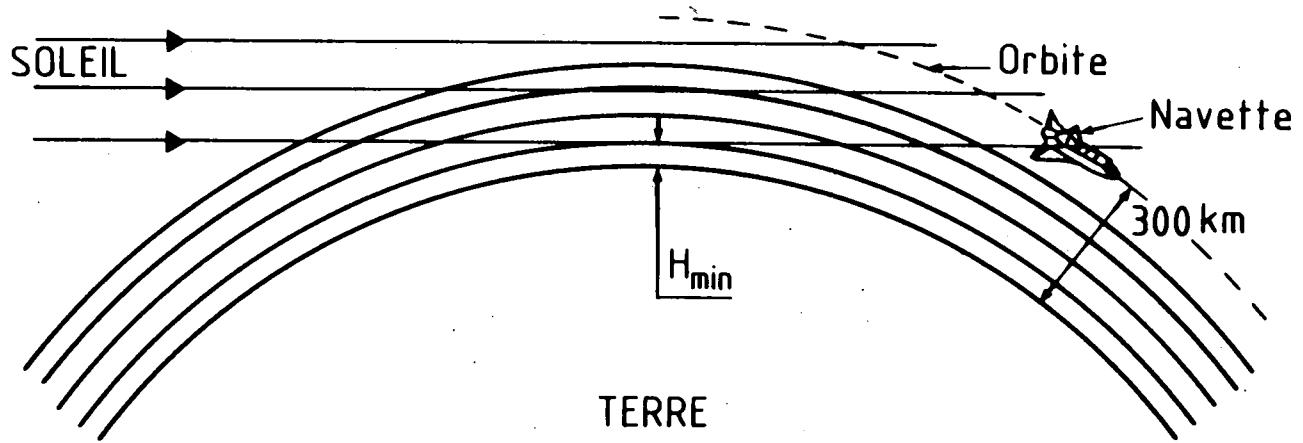


Figure 1

Le spectromètre à grille est un instrument de moyenne résolution ( $0,1 \text{ cm}^{-1}$ ) capable d'enregistrer des spectres entre 2,5 et 10 microns. Afin d'avoir une bonne résolution verticale, de petits intervalles spectraux (environ  $10 \text{ cm}^{-1}$ ) choisis en fonction des espèces à mesurer sont balayés dans une gamme d'altitude donnée. Pendant une occultation, le logiciel pilotant l'instrument rend possible le changement de domaine spectral à différentes hauteurs tangentes (voir le tableau 1).

TABLEAU 1 : Correspondance entre le code et la valeur de la hauteur tangente.

Code	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
HT(km)	250	200	160	120	100	80	60	50	40	30	20	10

L'instrument a été décrit en détail dans la référence [7]. La figure 2 présente le schéma du spectromètre. Le rayonnement venant du soleil après sa traversée au limbe atmosphérique est acquis par un miroir frontal (héliostat) orientable en site et en azimuth asservi par un senseur solaire. Ce rayonnement est injecté dans le spectromètre par l'intermédiaire d'un télescope de 0,3 m de diamètre et de 6 m de focale. La pupille d'entrée du monochromateur de 80 cm de focale est une grille agissant comme un filtre spatial travaillant en transmission à l'entrée et en réflexion à la sortie.

L'instrument possède ainsi une luminosité environ 25 fois meilleure que celle d'un spectromètre à fente classique de résolution identique. La grille est constituée d'un ensemble de zones alternativement réfléchissantes et transparentes limitées par des hyperboles dont l'espacement minimum détermine la résolution recherchée [8]. Cette résolution est atteinte en modulant l'orientation du miroir parabolique collimateur au foyer duquel est situé la grille. La dispersion du flux est assurée par un réseau plan comportant 58 traits par mm. Son angle de miroitement est de 63 degrés et il travaille pour des angles d'incidence compris entre 53 et 70 degrés. Dans la suite de ce texte, l'angle du réseau étant repéré par un codeur, nous utiliserons soit l'angle du réseau  $\theta$ , soit l'angle codeur AC défini par :



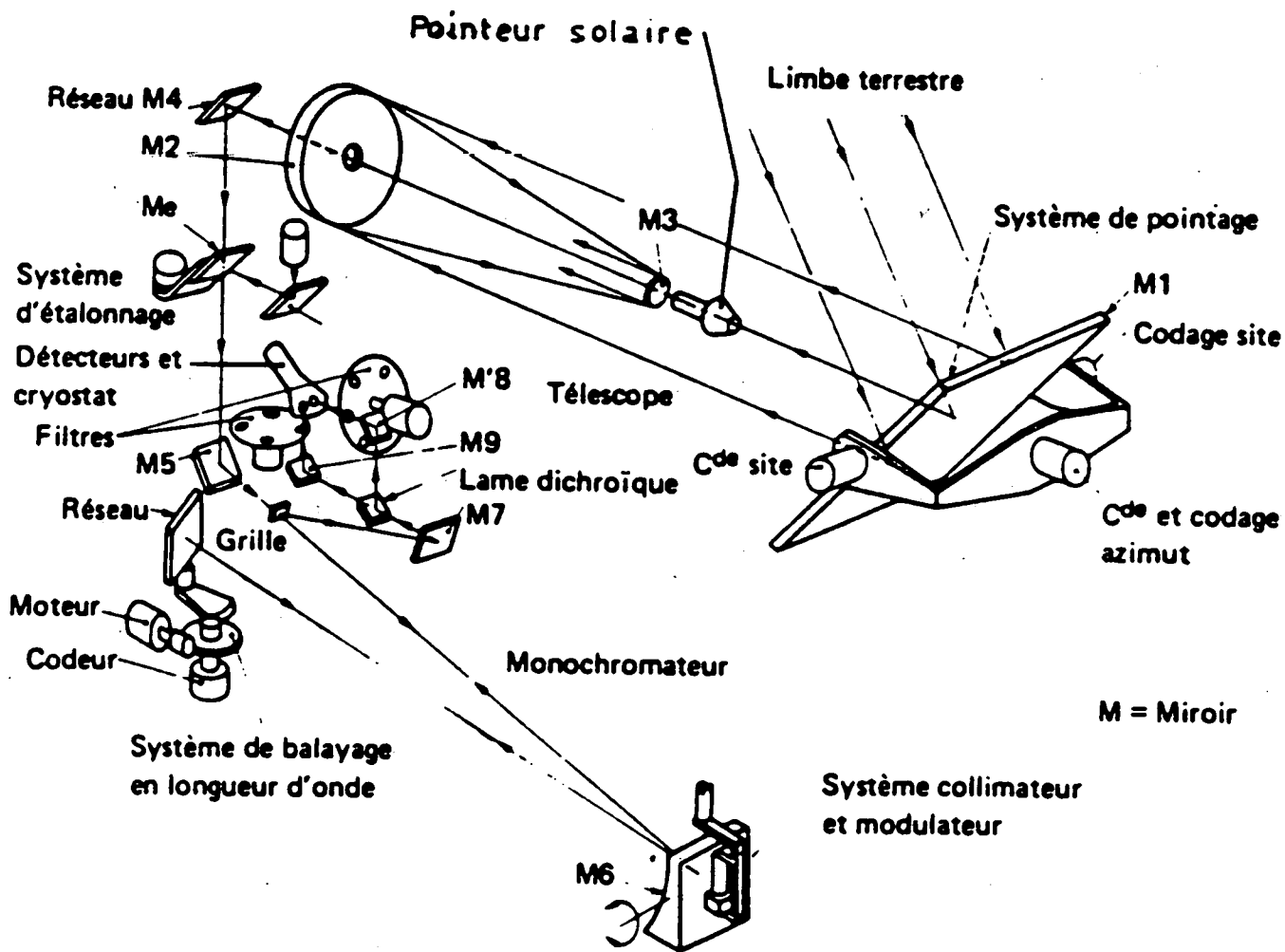


FIG. 2. — Schéma optique.

$$AC = 30,79^* (6378 - 100^* \theta)$$

(1)

où  $\theta$  est exprimé en degré. Cette valeur de AC est codée sur 16 bits et dans le cas où le résultat de l'équation (1) est négatif, la valeur 65535 + AC (complètement à deux) sera utilisée.

La vitesse de balayage du réseau est de dix éléments spectraux par seconde de sorte qu'un temps et une hauteur tangente bien définis soient attribués à chaque petit intervalle spectral balayé.

A la sortie du monochromateur, le flux est partagé par une lame dichroïque et reçu par deux détecteurs indépendants, un détecteur InSb sensible de 2,5 à 5,5 microns (voie 1) et un détecteur HgCdTe sensible de 2,5 à 10,5 microns (voie 2). Les deux détecteurs sont montés dans un cryostat unique et refroidis à la température de l'azote liquide par un dispositif à détente Joule-Thomson. Une roue à filtres est placée devant chaque détecteur afin de sélectionner les ordres voulus du réseau. Les filtres interférentiels correspondants sont au nombre de huit sur chaque voie de détection. Un gain programmable peut être choisi pour chacune des voies et est repéré par un code qui apparaît dans le tableau 2.

TABLEAU 2 : Correspondance entre le code et la valeur effective du gain.

Code	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Gain	1	2	4	8	6	12	24	28	13	26	52	104	78	156	312	624

Les huit filtres sont codés de 0 à 7 et peuvent être différents suivant la voie utilisée. Compte tenu des courbes de réponses des détecteurs et des bandes passantes des filtres, les intervalles effectivement utilisables sont données dans le tableau 3.

TABLEAU 3 : Domaines spectraux utilisables avec le spectromètre à grille.

Code	Voie1 SIG1 - SIG2 (cm-1)	Ordre	Voie2 SIG1 - SIG2 (cm-1)	Ordre
0	germanium		verre	
1	3661 - 3835	11(12)	3661 - 3835	11(12)
2	2900 - 3033	9	1040 - 1090	3
3	2220 - 2410	7	2220 - 2410	7
4	2123 - 2163	6	2123 - 2163	6
5	1854 - 1994	6	1854 - 1994	6
6	verre		1545 - 1661	5
7	3921 - 4010	12(11)	2900 - 3033	9

Compte tenu des contraintes propres au logiciel de bord (ECAS - Experiment Computer Application Software), il est nécessaire de définir les intervalles spectraux balayés et les hauteurs tangentes correspondantes par l'intermédiaire de fenêtres (Wnn) et de programmes (Ppp).

Une fenêtre est définie par :

- les valeurs de l'angle codeur de début et de fin pour le balayage du réseau;
- les codes des filtres sur chaque voie;
- les codes des gains pour chaque voie.

Il y a 64 fenêtres utilisables dont 40 (W24 à W63) sont définitivement codées dans les mémoires de l'instrument. Les fenêtres W01 à W23 sont modifiables (éditables) pendant le vol.

Un programme est constitué par :

- la donnée des fenêtres à balayer;
- les zones d'altitudes correspondant à chacune des fenêtres.

Il y a 60 programmes disponibles :

- 20 pour les couchers de soleil SS (P20 à P39);
- 20 pour les levers du soleil SR (P40 à P59);
- 20 pour les mesures en émission EM (P60 à P79).

Seuls les programmes P20, P40 et P60 sont modifiables, les autres ayant été codés définitivement dans les mémoires de l'instrument. Il est cependant possible d'utiliser des programmes supplémentaires codés sous forme de fichiers accessibles par ECAS et stockés sur support magnétique (Mass Memory Unit - MMU). Neuf fichiers MMU sont disponibles, les programmes correspondants seront notés P20.m, P40.m ou P60.m (m =1 à 9). Avec ces fichiers, il existe aussi la possibilité de définir 24 nouvelles fenêtres qui seront notées Wnn.m.

## INTERVALLES SPECTRAUX RETENUS

Le tableau 4 présente les fenêtres sélectionnées. Dans ce tableau apparaissent pour chaque fenêtre, les limites des angles du réseau en degré et en valeur codeur, les codes des filtres et les gains des détecteurs pour chacune des deux voies. Les objectifs scientifiques prioritaires sont également indiqués.

Nous allons maintenant pour chaque molécule discuter le choix des intervalles spectraux.

### MOLECULE NO

Le réseau a été choisi afin d'être optimum pour l'observation de NO sur la voie 1 et celle de NO<sub>2</sub> sur la voie 2 afin de mesurer simultanément ces deux espèces importantes dans les cycles des NO<sub>x</sub>. Un domaine spectral a été sélectionné où apparaissent plusieurs raies de NO dont une bien isolée (W24). Ce domaine a été élargi par rapport au premier vol sur SPACELAB 1 afin d'observer une raie supplémentaire de la vapeur d'eau. Les simulations qui ont été effectuées montrent qu'il devrait être possible d'observer NO jusqu'à des altitudes supérieures à 80 km.

Un domaine dans lequel l'observation de la branche Q de la bande fondamentale de NO est possible a également été choisi. Ce domaine est cependant moins prioritaire.

### MOLECULE N<sub>2</sub>O

L'intervalle retenu pour couvrir les raies de cette espèce est l'intervalle 2237,10 - 2245,29 cm<sup>-1</sup> (W15.3). Il permet de balayer deux raies fortes et relativement isolées de N<sub>2</sub>O qui ont pour positions respectives 2237,657 cm<sup>-1</sup> et 2240,439 cm<sup>-1</sup>. Ce choix est différent de celui fait lors de la mission SPACELAB 1. En effet, il a été observé que le filtre isolant le domaine spectral initialement choisi pour couvrir les raies de N<sub>2</sub>O dans l'ordre 7 est trop large et laisse passer partiellement l'ordre 6 ou l'ordre 8 selon l'angle du réseau. Afin de réduire la lumière parasite correspondante, nous avons réalisé un compromis entre l'intensité des raies dans le domaine sélectionné et la contribution du flux parasite ce qui explique les nouvelles limites.

TABLEAU 4 : Fenêtres en ROM pour ATLAS 1.

Fenêtres en absorption  
gain voie 1 nominal

Numéro de fenêtre	Angles codeur et réseau		Voie	Ordre	Intervalle spectral en cm-1		Code Filtre	Code Gain	Objectif
24	60855	59716	1	6	1913.09	1918.75	5	13	NO
24	65.20	65.57	2	5	1594.24	1598.96	6	15	NO2
25	62056	60763	1	7	2238.01	2245.66	3	12	N2O
25	64.81	65.23	2	5	1598.58	1604.04	6	15	NO2
26	7636	6866	1	9	2974.38	2981.49	2	8	CH4
26	61.20	61.45	2	5	1652.43	1656.38	6	15	H2O
27	26572	25618	1	6	2117.07	2125.04	4	13	CO
27	55.05	55.36	2	3	1058.53	1062.52	2	15	O3
28	3818	2463	1	12	3913.92	3929.49	7	12	HF
28	62.44	62.88	2	9	2935.44	2947.12	7	15	HCl, CH4
29	11639	10622	1	9	3009.92	3019.93	2	8	CH4
29	59.90	60.23	2	7	2341.05	2348.84	3	15	CO2
30	22416	20999	1	11	3813.63	3833.85	1	7	HF, H2O
30	56.40	56.86	2	3	1040.08	1045.60	2	15	O3
31	30791	29929	1	6	2154.08	2161.79	4	13	CO
31	53.68	53.96	2	3	1077.04	1080.89	2	15	O3
32	9853	8867	1	12	3990.72	4003.29	7	12	HF
32	60.48	60.80	2	9	2993.04	3002.47	7	15	HCl, CH4
33	3818	2586	1	9	2936.49	2947.12	2	7	HCl, CH4
33	62.44	62.84	2	5	1631.38	1637.29	6	15	H2O
34	10530	9083	1	7	2329.52	2340.35	3	10	CO2
34	60.26	60.73	2	9	2995.09	3009.03	7	15	CH4
35	11885	10284	1	7	2338.49	2350.74	3	10	CO2
35	59.82	60.34	2	11	3674.78	3694.02	1	15	H2O
36	13055	11639	1	7	2348.84	2359.89	3	10	CO2
36	59.44	59.90	2	11	3691.03	3708.40	1	15	H2O
37	14287	12809	1	7	2357.95	2369.72	3	10	CO2
37	59.04	59.52	2	11	3705.35	3723.85	1	15	H2O
38	15580	14133	1	7	2368.48	2380.25	3	10	CO2
38	58.62	59.09	2	11	3721.90	3740.39	1	15	H2O
39	16781	15457	1	7	2379.24	2390.23	3	10	CO2
39	58.23	58.66	2	11	3738.80	3756.08	1	15	H2O
40	18413	16719	1	7	2389.71	2404.11	3	10	CO2
40	57.70	58.25	2	11	3755.26	3777.88	1	15	H2O
41	13055	11639	1	11	3691.03	3708.40	1	6	H2O
41	59.44	59.90	2	7	2348.84	2359.89	3	15	CO2

TABLEAU 4 : (suite 1).

42	14287	12809	1	11	3705.35	3723.85	1	6	H2O
42	59.04	59.52	2	7	2357.95	2369.72	3	15	CO2
43	15580	14133	1	11	3721.90	3740.39	1	6	H2O
43	58.62	59.09	2	7	2368.48	2380.25	3	15	CO2
44	18813	18259	1	11	3775.80	3783.31	1	6	H2O
44	57.57	57.75	2	7	2402.78	2407.56	3	15	N2
45	2093	58392	1	7	2224.41	2280.67	3	15	CO2
45	63.00	66.00	2	7	2224.41	2280.67	3	15	CO2
46	5049	61471	1	6	1921.87	1971.97	5	15	H2O
46	62.04	65.00	2	6	1921.87	1971.97	5	15	H2O

Fenêtres en absorption  
gain voie 1 divisé par 2

Numero de fenetre	Angles codeur et réseau		Voie	Ordre	Intervalle spectral en cm-1		Code Filtre	Code Gain	Objectif
47	9853	8867	1	12	3990.72	4003.29	7	7	HF
47	60.48	60.80	2	9	2993.04	3002.47	7	15	HCl, CH4
48	62056	60763	1	7	2238.01	2245.66	3	7	N2O
48	64.81	65.23	2	5	1598.58	1604.04	6	15	NO2
49	3818	2463	1	12	3913.92	3929.49	7	7	HF
49	62.44	62.88	2	9	2935.44	2947.12	7	15	HCl, CH4
50	11639	10622	1	9	3009.92	3019.93	2	3	CH4
50	59.90	60.23	2	7	2341.05	2348.84	3	15	CO2
51	22416	20999	1	11	3813.63	3833.85	1	6	HF, H2O
51	56.40	56.86	2	3	1040.08	1045.60	2	15	O3
52	30791	29929	1	6	2154.08	2161.79	4	12	CO
52	53.68	53.96	2	3	1077.04	1080.89	2	15	O3
53	3818	2586	1	9	2936.49	2947.12	2	6	HCl, CH4
53	62.44	62.84	2	5	1631.38	1637.29	6	15	H2O
54	11885	10284	1	7	2338.49	2350.74	3	9	CO2
54	59.82	60.34	2	11	3674.78	3694.02	1	15	H2O
55	13055	11639	1	7	2348.84	2359.89	3	9	CO2
55	59.44	59.90	2	11	3691.03	3708.40	1	15	H2O
56	18813	18259	1	11	3775.80	3783.31	1	5	H2O
56	57.57	57.75	2	7	2402.78	2407.56	3	15	N2

TABLEAU 4 : (suite 2).

## Fenêtres en émission

Numéro de fenêtre	Angles codeur et réseau		Voie	Ordre	Intervalle spectral en cm-1		Code Filtre	Code Gain	Objectif
57	13055	11639	1	7	2348.84	2359.89	3	15	CO2
57	59.44	59.90	2	11	3691.03	3708.40	1	15	H2O
58	51864	50325	1	6	1870.53	1877.01	5	15	NO Q 1-0
58	68.12	68.62	2	5	1558.77	1564.17	6	15	H2O
59	14379	13979	1	11	3719.96	3725.01	1	15	NO Q 2-0
59	59.01	59.14	2	7	2367.25	2370.46	3	15	CO2
60	32854	20999	1	0	Tous les ordres		0	15	Recherche émiss.
60	53.01	56.86	2	3	1040.08	1090.34	2	15	O3
61	8436	46106	1	0	Tous les ordres		0	15	Recherche émiss.
61	60.94	69.99	2	5	1544.75	1660.54	6	15	H2O
62	21030	8406	1	0	Tous les ordres		0	15	Recherche émiss.
62	56.85	60.95	2	7	2324.53	2427.13	3	15	CO2
63	3787	2863	1	12	3918.48	3929.13	7	15	Test labo, HF
63	62.45	62.75	2	9	2938.86	2946.85	7	15	Test labo, HCl



De plus, dans le souci de toujours balayer des domaines d'angles réseau fournissant une information intéressante sur les deux voies, ce choix a été déterminé par la possibilité d'observer simultanément  $\text{NO}_2$  sur la voie 2.

### MOLECULE $\text{NO}_2$

Deux intervalles spectraux ont été sélectionnés pour  $\text{NO}_2$ . Le premier W24 permet d'observer  $\text{NO}_2$  (voie 2) simultanément avec NO (voie 1), le second W15.3 permettant la mesure simultanée de  $\text{N}_2\text{O}$  (voie 1) et  $\text{NO}_2$  (voie 2). Enfin, la fenêtre W33 (voie 2) balayant l'intervalle spectral  $1631,38 - 1637,29 \text{ cm}^{-1}$  est intéressante pour observer  $\text{NO}_2$  aux faibles altitudes bien qu'elle n'ait pas été choisie spécifiquement pour cette molécule.

### MOLECULE CO

Les deux domaines sélectionnés W31 (voie 1) et W27 (voie 2) contiennent des raies fortes et bien isolées. Les simulations ainsi que les résultats de la précédente mission ont montré que le meilleur domaine spectral est celui de la fenêtre W31.

### MOLECULE $\text{O}_3$

L'observation de l'ozone pourra s'effectuer en utilisant les raies fortes de la bande nu3 entre  $1040$  et  $1090 \text{ cm}^{-1}$  sur la voie 2. Trois fenêtres W27, W30 et W31 balayent ce domaine spectral. La fenêtre prioritaire pour explorer la partie haute du profil est W27.

### MOLECULE $\text{CH}_4$

Le méthane est une espèce source produite au niveau de la surface. La détermination de sa distribution verticale et de ses variations latitudinales et longitudinales sont particulièrement intéressantes à étudier. Plusieurs régions spectrales permettent l'observation du méthane. La fenêtre W29 (voie 1) est la région prioritaire pour mesurer l'absorption du méthane. Il est également possible de l'observer au voisinage des raies choisies pour la mesure de HCl. C'est le cas des fenêtres W26 (voie 1), W28 (voie 2), W32 (voie 2) et W33 (voie 1).

L'absorption de  $\text{CH}_4$  dans ces quatre fenêtres est un peu plus faible que dans la région de la branche Q de la bande nu3 couverte par W29. Ces domaines seront utilisés pour les visées dans la basse stratosphère où la branche Q commence à être saturée.

### MOLECULE HCl

La molécule HCl comme la molécule HF sont deux espèces puits dont la mesure est particulièrement importante. Elles sont en effet les produits finaux de la dégradation des chlorofluorocarbures (CFC). Notons qu'il est souhaitable de les observer simultanément afin d'établir le bilan de leurs produits de décomposition. Jusqu'à présent, un nombre limité de profils verticaux de concentration de HCl et HF ont été obtenus sans une très grande couverture en latitude et en longitude.

Quatre domaines spectraux contiennent des raies de HCl : W26 (voie 1), W28 (voie 2), W32 (voie 2) et W33 (voie 1). La fenêtre W28 est intéressante car elle peut être couplée à une observation de HF sur l'autre voie. L'observation de HCl dans le domaine W32 est assez problématique, la raie de HCl étant superposée à une raie de la vapeur d'eau. Cependant, cette fenêtre a été retenue car l'observation de HF est possible sur l'autre voie de détection (voie 1).

### MOLECULE HF

La fenêtre W30 permet de balayer la raie située à  $3833,662 \text{ cm}^{-1}$ . C'est notre domaine prioritaire pour la mesure de HF. Notre seconde priorité est la fenêtre W32 (raie à  $4000,989 \text{ cm}^{-1}$ ) qui apparaît cependant au-delà de la bande passante à 50% du filtre 7. HCl et HF peuvent alors être mesurés simultanément. La fenêtre W28 devrait permettre de le faire également mais dans ce cas, la raie de HF est assez fortement perturbée par une raie de  $\text{H}_2\text{O}$ .

### PROGRAMMES OBTENUS

Les différentes fenêtres retenues s'articulent en programmes conservés en mémoire de l'instrument ou stockés sous la forme de fichiers enregistrés sur la bande magnétique de vol (MMU). Les programmes ont été sélectionnés afin d'optimiser l'observation de chaque espèce moléculaire tout en utilisant à bon escient les deux voies (InSb et HgCdTe) disponibles. Le tableau 5 contient les programmes retenus ainsi que les fenêtres et les gammes d'altitude correspondantes. L'objectif scientifique prioritaire y figure également.

Remarquons qu'à chaque programme P2... ou P3 (coucher de soleil) correspond un programme P4... ou P5... (lever de soleil) où les altitudes balayées le sont dans l'ordre inverse. Nous ne citerons, pour simplifier, que les programmes correspondant aux observations au coucher du soleil, de type P2... ou P3...

Lors du vol SPACELAB 1, diverses difficultés avaient rendus les altitudes des transitions de zone incertaine et les programmes enregistrés à l'intérieur de l'instrument minimisent les transitions de fenêtre. Les programmes stockés en MMU : P20m ou P40m, permettent de balayer la fenêtre inférieure du programme entre 160 et 200 km d'altitude. Ceci permettra d'obtenir des spectres solaires hors atmosphère qui seront utiles pour mieux restituer le profil des espèces recherchées. Nous indiquerons à côté du nom initial P2p le nom correspondant P20.m dans la discussion qui va suivre.

Le programme P21 a été choisi afin de déterminer le profil de  $\text{CO}_2$  en utilisant des raies d'intensités différentes. Il lui est associé le programme P20.1 afin de couvrir tous les intervalles spectraux correspondants pour obtenir le fond continu hors atmosphère.

Les programmes P22 et P23 permettent de mesurer CO de 0 à 200 km sur la voie 1 et l'ozone sur l'autre voie. Le meilleur profil de CO devrait être obtenu avec le programme P22 prioritaire alors que le programme P23 est prioritaire pour l'observation de l'ozone.

Le programme P24 (P20.2) est notre programme prioritaire pour mesurer l'absorption du méthane. Il contient deux fenêtres. La fenêtre W26 choisie pour couvrir les altitudes entre 0 et 50 km est un bon domaine spectral pour mesurer HCl.

Le programme P25 balaye des raies représentatives de NO entre 0 et 200 km afin d'obtenir le profil vertical de concentration pour cette espèce sur la gamme d'altitude la plus étendue. Il est également le programme prioritaire pour l'observation de  $\text{NO}_2$  sur l'autre voie.

Le programme P26 (P20.3) est constitué de la fenêtre W25 pour les basses altitudes et de la fenêtre W24 aux altitudes élevées. Il est le seul programme où il est possible de mesurer  $\text{N}_2\text{O}$ . Il permet également d'étudier la signature spectrale de  $\text{NO}_2$  sur toute la gamme d'altitude et celle de NO à haute altitude.

TABLEAU 5 : Programmes en absorption en ROM et MMU Pour ATLAS 1.

Num. progr.	Numéros de fenêtres et (HSup,Hinf) en km					
P21	W35 (200,120)	W36 (120,100)	W38 (100,60)	W39 (60,40)	W40 (40,0)	
P41	W40 (0,40)	W39 (40,60)	W38 (60,100)	W36 (100,120)	W35 (120,200)	
P20.1	W00.1 (200,160)	W35 (160,120)	W36 (120,100)	W38 (100,60)	W39 (60,40)	W40 (40,0)
P40.1	W40 (0,40)	W39 (40,60)	W38 (60,100)	W36 (100,120)	W35 (120,160)	W40 (160,200)
P22				W31 (200,0)		
P42				W31 (0,200)		
P23				W27 (200,0)		
P24				W29 (200,50)	W26 (50,0)	
P44				W26 (0,50)	W29 (50,200)	
P20.2	W26 (200,160)		W29 (160,50)	W26 (50,0)		
P40.2	W26 (0,50)		W29 (50,160)	W26 (160,200)		
P25				W24		

TABLEAU 5 : (suite 1).

P30	W34 (200,100)	W33 (100,0)	
P50	W33 (0,100)	W34 (100,200)	
P20.6	W33 (200,160)	W34 (160,100)	W33 (100,0)
P40.6	W33 (0,100)	W34 (100,160)	W33 (160,200)
P31	W43 (200,60)	W44 (60,0)	
P51	W44 (0,60)	W43 (60,200)	
P20.7	W44 (60,0)	W43 (200,60)	W44 (60,0)
P40.7	W43 (60,200)	W44 (0,60)	W43 (60,200)
P32	W42 (200,60)	W40 (60,0)	
P52	W40 (0,60)	W42 (60,200)	
P20.8	W40 (200,160)	W42 (160,60)	W40 (60,0)
P40.8	W40 (0,60)	W42 (60,160)	W40 (160,200)
P20.9		W00.1 (200,0)	
P40.9		W00.1 (0,200)	
P33	W41 (200,60)	W37 (60,0)	

TABLEAU 5 : (suite 2).

P45	W24		
	(0, 200)		
P26	W24	W25	
	(200, 80)	(80, 0)	
P46	W25	W24	
	(0, 80)	(80, 200)	
P20.3	W25	W24	W25
	(200, 160)	(160, 80)	(80, 0)
P40.3	W25	W24	W25
	(0, 80)	(80, 160)	(160, 200)
P27	W30	W28	
	(200, 60)	(60, 0)	
P47	W28	W30	
	(0, 60)	(60, 200)	
P20.4	W28	W30	W28
	(200, 160)	(160, 60)	(60, 0)
P40.4	W28	W30	W28
	(0, 60)	(60, 160)	(160, 200)
P28		W30	
		(200, 0)	
P48		W30	
		(0, 200)	
P29	W30	W32	
	(200, 80)	(80, 0)	
P49	W32	W30	
	(0, 80)	(80, 200)	
P20.5	W32	W30	W32
	(200, 160)	(160, 80)	(80, 0)
P40.5	W32	W30	W32
	(0, 80)	(80, 160)	(160, 200)
P53	W37	W41	
	(0, 60)	(60, 200)	

Les programmes P27 (P20.4), P28, P29 (P20.5) sont des programmes qui permettent de mesurer les hydracides HF et HCl ainsi que le méthane et la vapeur d'eau de façon moins prioritaire. Enfin, l'ozone est également observable en utilisant ces programmes. Notons que le programme P28 est destiné à la mesure de HF tandis que le programme P27 est spécifique à la mesure de HCl. Le programme P29 est notre seconde priorité pour HF.

Le programme P30 (P20.6) quant à lui, a été établi en vue de mesurer simultanément HCl et HF. Il permet d'observer également le méthane. Aux altitudes supérieures à 100 km, nous avons choisi d'analyser les signatures spectrales de  $\text{CO}_2$ .

Les programmes P31 et P32 ont été choisis pour accéder aux raies des bandes chaudes de la vapeur d'eau et du gaz carbonique. Le programme P31 permet également l'observation d'une raie quadrupolaire de  $\text{N}_2$  qui sera utilisée pour vérifier de façon interne à l'instrument la conversion pression altitude.

#### EXEMPLE DE TRAITEMENT DES SPECTRES ENREGISTRÉS : CAS DE $\text{O}_3$

Lors du vol SPACELAB 1, 24 occultations différentes ou événements (lever ou coucher de soleil) ont été observés. L'analyse de ces observations a conduit à la publication de profils verticaux de concentration pour 7 espèces moléculaires : CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , NO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ([3] et références citées).

L'ozone ne faisait pas partie des espèces analysées jusqu'à présent à cause de certaines difficultés expérimentales rendant plus difficile le dépouillement des spectres correspondants (voir un premier essai de traitement dans la référence [10]) :

- le rapport signal sur bruit pour la voie 2 (HgCdTe) vers 10 microns n'est pas aussi élevé que vers 7 microns sur la même voie ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_2$ ) ou que vers 5,5 microns sur la voie 1 (NO).

- la densité des raies des spectres de l'ozone ne permet pas facilement, à la résolution du spectromètre à grille ( $0,07 \text{ cm}^{-1}$  vers  $1060 \text{ cm}^{-1}$ ), d'accéder au fond continu local, ce qu'il est possible de faire pour des espèces ayant des spectres moins denses ( $\text{H}_2\text{O}$ , CO).

- un pseudo-bruit quasi sinusoïdal de nature instrumentale (de période voisine de  $0,09 \text{ cm}^{-1}$  dans le domaine spectral) est relativement plus important vers 10 microns que dans les autres domaines spectraux.

- le filtre interférentiel utilisé pour isoler la bande spectrale utile produit une sinusoïde résiduelle sur le fond continu hors atmosphère d'amplitude 5% et de période voisine de  $0,8 \text{ cm}^{-1}$ .

Il a été d'abord nécessaire de réaliser une moyenne des spectres pour des hauteurs tangentes (supérieures à 100 km), afin de bien définir un spectre de référence hors atmosphère. Cette référence a été utilisée pour normaliser les spectres, ce qui a permis d'éliminer la sinusoïde due au filtre interférentiel. De plus, en effectuant cette moyenne sur un assez grand nombre de spectres hors atmosphère (à peu près 100 dans notre cas), la sinusoïde de courte période, et de phase aléatoire d'un spectre à l'autre, s'élimine naturellement.

Le programme d'ajustement global des spectres observés dans un intervalle donné, et pour plusieurs situations (ou visées) correspondant à des hauteurs tangentes variables, a été amélioré par rapport à celui qui a été utilisé lors des dépouillements précédents [11].

A ce programme est intégré un algorithme de filtrage par transformée de Fourier qui élimine dans la variance (somme des écarts quadratiques moyens entre spectre observé et spectre calculé), la contribution due au pseudo-bruit de période  $0,09 \text{ cm}^{-1}$ .

Ces améliorations ont permis de restituer le profil vertical du rapport de mélange de l'ozone : la figure 3 montre le profil vertical moyen pour l'hémisphère nord à latitude moyenne (en Décembre), basé sur les mesures d' $\text{O}_3$  effectuées entre  $20^\circ$  et  $45^\circ\text{N}$ . L'accord entre spectre calculé et spectre observé peut être apprécié sur la figure 4, où l'on a représenté les résultats pour 2 situations extrêmes (41.3 km et 60.4 km). Dans la situation correspondant à la hauteur tangente la plus élevée (et donc celle où l'absorption propre à l'ozone est la plus faible), le filtrage par transformée de Fourier n'a pas été appliqué, et le pseudo-bruit de période  $0,09 \text{ cm}^{-1}$  est facilement reconnaissable. Pour la situation correspondant à 41.3 km l'interférence du pseudo-bruit a été minimisée par le filtrage Fourier, comme le montre le résidu défini comme étant la différence point par point entre le spectre calculé et observé. L'accord entre observation et calcul est tout à fait satisfaisant (écart type résiduel étant 2.4%). Cet exemple est représentatif des spectres attendus lors du vol ATLAS-1. Il montre que, même pour la molécule d'ozone dont le dépouillement s'est avéré le plus difficile, le profil vertical pourra être couvert jusqu'à 60-65 km.



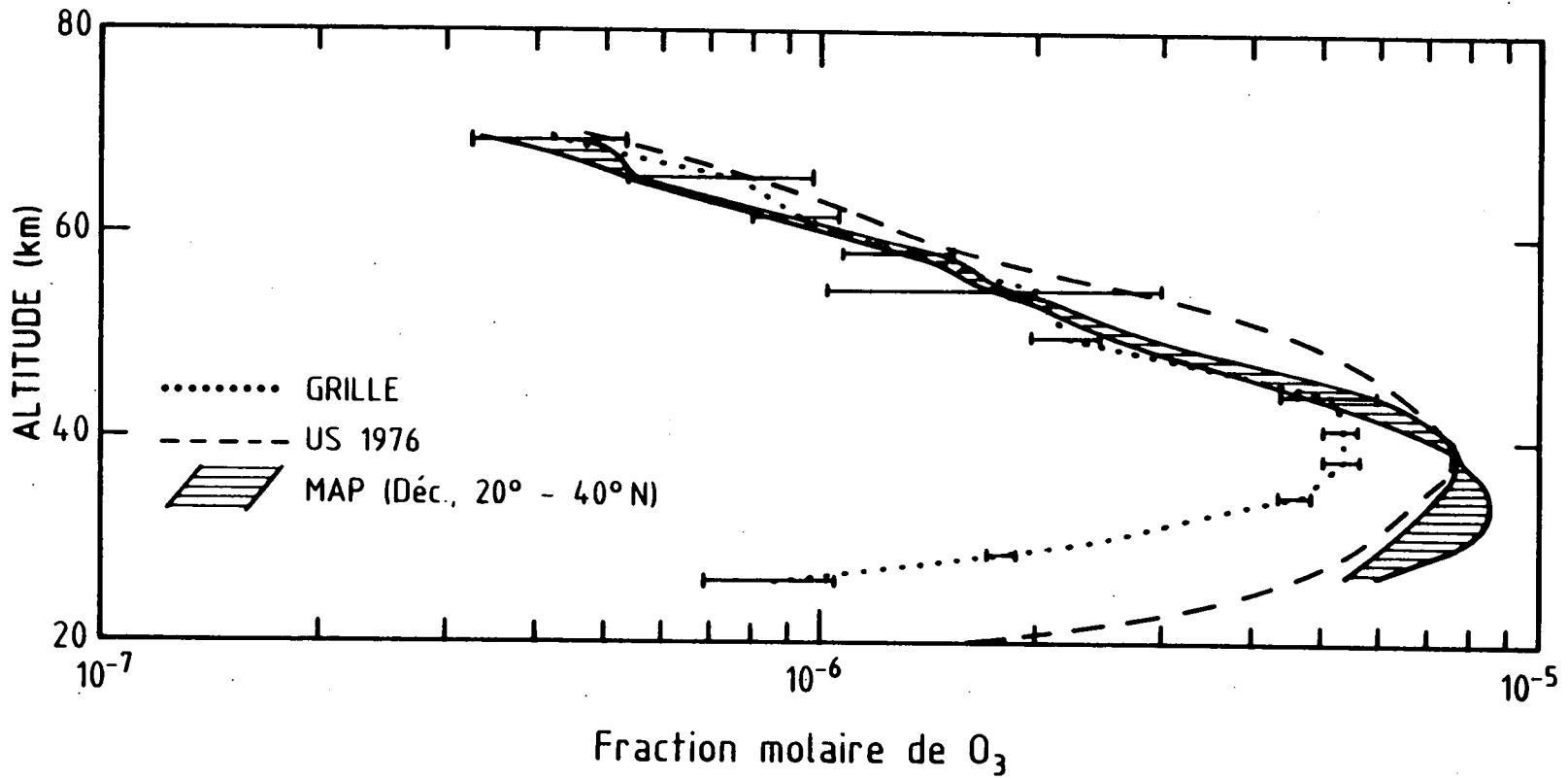
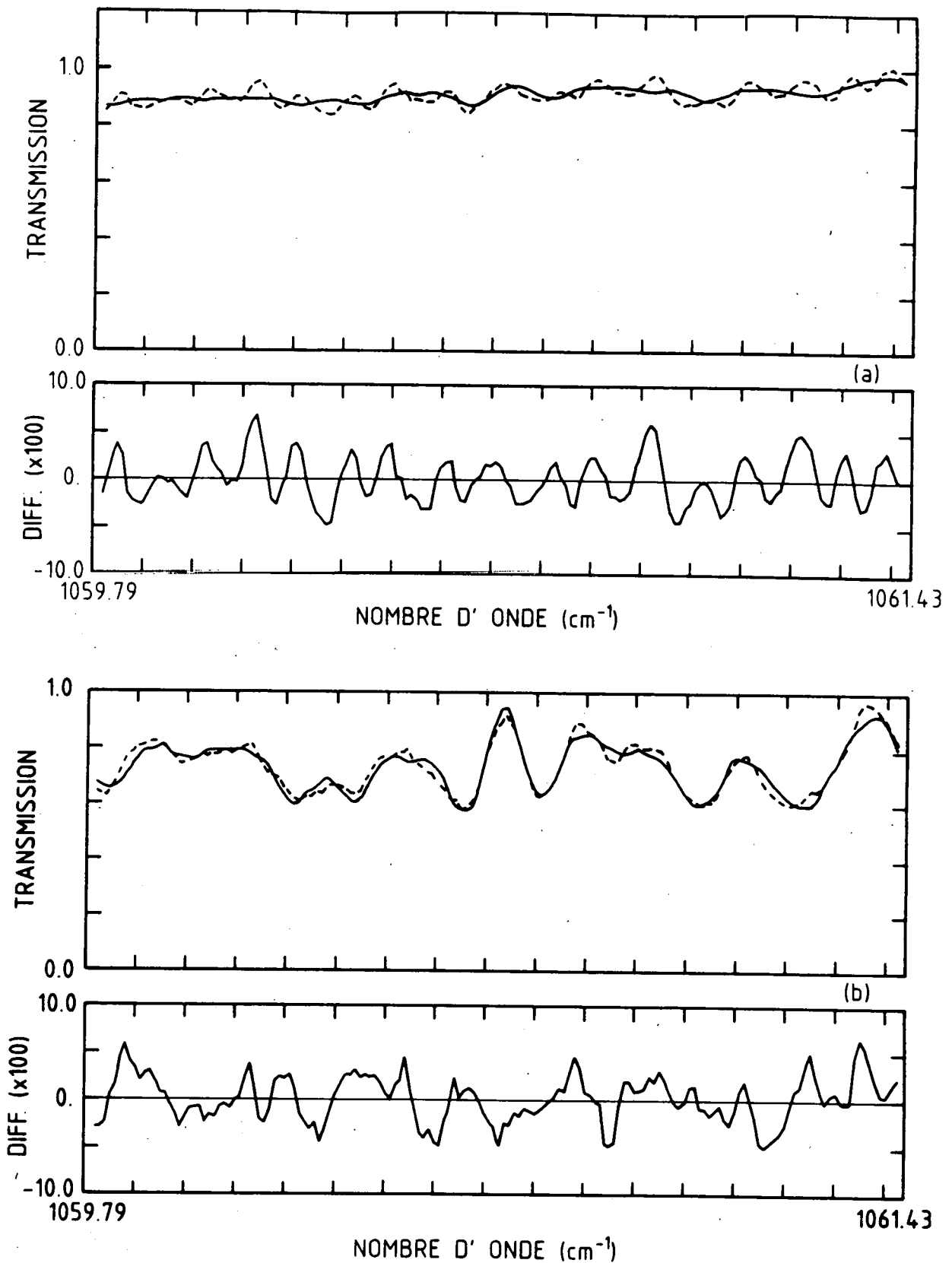


Figure 3 Profil vertical moyen d'ozone pour l'hémisphère nord, latitude moyenne, basé sur les mesures du spectromètre à grille en Déc. 1983, entre 20° et 45°N, en comparaison avec la distribution selon les modèles standard de l'atmosphère US'76 et MAP (Déc., entre 20° et 40°N).



**Figure 4** Exemples typiques de l'accord entre spectres d'O<sub>3</sub> observés et calculés, y compris leur résidu.  
 (a) altitude du point tangent à 60.4 km sans filtrage de Fourier  
 (b) altitude du point tangent à 41.3 km; après filtrage de Fourier.

TABLEAU 6

Fenêtres en émission

Numéro de fenêtre	Angles codeur et réseau		Voie	Ordre	Intervalle spectral en cm-1		Code Filtre	Code Gain	Objectif
57	13055	11639	1	7	2348.84	2359.89	3	15	CO2
57	59.44	59.90	2	11	3691.03	3708.40	1	15	H2O
58	51864	50325	1	6	1870.53	1877.01	5	15	NO Q 1-0
58	68.12	68.62	2	5	1558.77	1564.17	6	15	H2O
59	14379	13979	1	11	3719.96	3725.01	1	15	NO Q 2-0
59	59.01	59.14	2	7	2367.25	2370.46	3	15	CO2
60	32854	20999	1	0	Tous les ordres		0	15	Recherche émiss.
60	53.01	56.86	2	3	1040.08	1090.34	2	15	O3
61	8436	46106	1	0	Tous les ordres		0	15	Recherche émiss.
61	60.94	69.99	2	5	1544.75	1660.54	6	15	H2O
62	21030	8406	1	0	Tous les ordres		0	15	Recherche émiss.
62	56.85	60.95	2	7	2324.53	2427.13	3	15	CO2
63	3787	2863	1	12	3918.48	3929.13	7	15	Test labo, HF
63	62.45	62.75	2	9	2938.86	2946.85	7	15	Test labo, HCl

## Programmes en émission

Numero de programme	Nombres de balayages et (H, Fenêtre)					Objectif principal
61	2 (120,W60)	2 (100,W60)	2 (80,W60)	2 (60,W60)	2 (50,W60)	Tous ordres et O3
62	2 (120,W61)	2 (100,W61)	2 (80,W61)	2 (60,W61)	2 (50,W61)	Tous ordres et H2O
63	2 (120,W62)	2 (100,W62)	2 (80,W62)	2 (60,W62)	2 (50,W62)	Tous ordres et CO2
64	150 (120,W57)	150 (100,W57)	150 (80,W57)	150 (60,W57)	150 (50,W57)	CO2 H2O
65	150 (50,W57)	150 (60,W57)	150 (80,W57)	150 (100,W57)	150 (120,W57)	CO2 H2O
66	150 (160,W58)	150 (120,W58)	150 (100,W58)	150 (80,W58)	150 (60,W58)	NO 1-0 H2O
67	150 (60,W58)	150 (80,W58)	150 (100,W58)	150 (120,W58)	150 (160,W58)	NO 1-0 H2O
68	150 (160,W59)	150 (120,W59)	150 (100,W59)	150 (80,W59)	150 (60,W59)	NO 2-0 CO2
69	150 (60,W59)	150 (80,W59)	150 (100,W59)	150 (120,W59)	150 (160,W59)	NO 2-0 CO2
70	150 (100,W63)	150 (80,W63)	150 (60,W63)	150 (50,W63)	150 (40,W63)	Fluorescence HF et HCl
71	150 (40,W63)	150 (50,W63)	150 (60,W63)	150 (80,W63)	150 (100,W63)	Fluorescence HF et HCl
72	150 (120,W60)	150 (100,W60)	150 (80,W60)	150 (60,W60)	150 (50,W60)	Tous ordres et O3
73	150 (50,W60)	150 (60,W60)	150 (80,W60)	150 (100,W60)	150 (120,W60)	Tous ordres et O3
74	150 (120,W61)	150 (100,W61)	150 (80,W61)	150 (60,W61)	150 (50,W61)	Tous ordres et H2O
75	150 (50,W61)	150 (60,W61)	150 (80,W61)	150 (100,W61)	150 (120,W61)	Tous ordres et H2O
76	150 (120,W58)	150 (120,W59)	150 (120,W58)	150 (120,W59)	150 (120,W58)	NO a 120 km
77	150 (100,W58)	150 (100,W59)	150 (100,W58)	150 (100,W59)	150 (100,W58)	NO a 100 km
78	150 (80,W58)	150 (80,W59)	150 (80,W58)	150 (80,W59)	150 (80,W58)	NO a 80 km
79	150 (60,W58)	150 (60,W59)	150 (60,W58)	150 (60,W59)	150 (60,W58)	NO a 60 km

## TENTATIVE DE MESURE EN EMISSION

Alors que les détecteurs HgCdTe et InSb utilisés pour analyser le rayonnement infrarouge sont refroidis à la température de l'azote liquide, l'instrument lui-même (téléscope et monochromateur) n'est pas refroidi et se maintient, en orbite, à une température moyenne voisine de la température ambiante. Il n'est donc pas possible de mesurer dans de bonnes conditions l'émission thermique de l'atmosphère. La mesure de l'émission portera essentiellement sur les phénomènes d'excitation et spécialement sur le refroidissement de la thermosphère inférieure par le monoxyde d'azote.

## CONCLUSION

La mission doit apporter une moisson intéressante de résultats scientifiques sur la répartition verticale de constituants présents à l'état de trace dans l'atmosphère. Les résultats attendus constitueront une contribution très significative au processus de validation-invalidation des modèles photochimiques de l'atmosphère dans leur état actuel, et à l'élaboration de modèles améliorés, dont le caractère prédictif sera rendu plus crédible.

## PUBLICATIONS

1. M. ACKERMAN, Possibilité de détection de constituants atmosphériques mineurs par absorption infrarouge entre 35 et 40 km d'altitude, *Aeronomica Acta B* n°1 (1963).
2. M. ACKERMAN and D. FRIMOUT, Mesure de l'absorption stratosphérique du rayonnement solaire de 3,05 à 3,7 microns, *Bull. Acad. Roy. Belgique, Cl. Sci.*, 55, 948 (1969).
3. A. GIRARD, J. BESSON, D. BRARD, J. LAURENT, M.P. LEMAITRE, C. LIPPENS, C. MULLER, J. VERCHEVAL and M. ACKERMAN, Global results of grille spectrometer experiment on board SPACELAB 1, *Planet. Space Sci.*, 36, 291 (1988).
4. N. PAPINEAU, C. CAMY-PEYRET and M. ACKERMAN, Monitoring of the middle atmosphere : Grille spectrometer experiment results on board SPACELAB 1 and scientific program of ATLAS 1 Mission, *SPIE* (1989).
5. M. ACKERMAN, D. FRIMOUT, C. MULLER, D. NEVEJANS, J.C. FONTANELLA, A. GIRARD, L. GRAMONT and N. LOUISNARD, Recent stratospheric spectra of NO and NO<sub>2</sub>, *Canad. J. Chem.*, 52, 1532-1535, 1974.
6. A. GIRARD, G. FERGANT, L. GRAMONT, O. LADO-BORDOWSKY, J. LAURENT, S. LE BOITEUX, M.P. LEMAITRE and N. LOUISNARD, Latitudinal distribution of ten stratospheric species deduced from simultaneous spectroscopic measurements, *J. Geophys. Res.*, 88, 5377 (1983).
7. J. BESSON, A. GIRARD, M. ACKERMAN et D. FRIMOUT, Spectrométrie pour la première mission SPACELAB, *La Recherche Aérospatiale*, 6, 343 (1978).
8. M.P. LEMAITRE, J. LAURENT, J. BESSON, A. GIRARD, C. LIPPENS, C. MULLER, J. VERCHEVAL and M. ACKERMAN, Sample performance of the grille spectrometer, *Science*, 225, 171 (1984).
9. A. GIRARD, P. JACQUINOT, Principles of instrumental methods in spectroscopy, *Advanced Optical Technics*, edited by A.C.S. Van Hell, North Holland (Amsterdam), pp. 73-121 (1967).
10. M. DE MAZIERE et al., Stratospheric ozone concentration profiles from SPACELAB 1 solar occultation infrared absorption spectra, *AGU* (1991).
11. C. ALAMICHEL, J. LAURENT, D. BRARD and F. MENDEZ, An automatic program for retrieving atmospheric mixing ratio profiles from occultation spectra, *Annales Geophysicae*, 4, 201 (1986).