



Assemblée générale

Distr. GENERALE

A/AC.105/614
8 novembre 1995

FRANÇAIS
Original : ANGLAIS

COMITE DES UTILISATIONS PACIFIQUES
DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHERIQUE

**APPLICATION DES RECOMMANDATIONS DE LA DEUXIEME CONFERENCE
DES NATIONS UNIES SUR L'EXPLORATION ET LES UTILISATIONS PACIFIQUES
DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHERIQUE**

**Coopération internationale dans le domaine des utilisations pacifiques
de l'espace : activités des Etats Membres**

Note du Secrétariat

TABLE DES MATIERES

	<i>Page</i>
INTRODUCTION	2
REPONSES RECUES DES ETATS MEMBRES	3
Etats-Unis d'Amérique	3

INTRODUCTION

1. Le Groupe de travail plénier chargé d'évaluer l'application des recommandations de la deuxième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE 82) a formulé, dans son rapport sur les travaux de sa neuvième session (A/AC.105/605, annexe II), des recommandations concernant l'élaboration de rapports et d'études par le Secrétariat et la compilation d'informations provenant des Etats Membres.

2. Au paragraphe 9 de son rapport, le Groupe de travail a recommandé que le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, étant donné le développement et l'évolution continus des activités spatiales, devrait prier tous les Etats, en particulier ceux dotés de capacités importantes dans le domaine spatial et les domaines connexes, de continuer à informer le Secrétaire général tous les ans, le cas échéant, des activités spatiales qui faisaient ou pourraient faire l'objet d'une plus grande coopération internationale, en mettant plus particulièrement l'accent sur les besoins des pays en développement.

3. Le Sous-Comité scientifique et technique a adopté, à sa trente-deuxième session (A/AC.105/605, par. 22) le rapport du Groupe de travail dont les recommandations ont été approuvées par le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique à sa trente-huitième session¹.

4. Par la suite, dans une note verbale en date du 4 août 1995, adressée à l'ensemble des représentants permanents auprès de l'Organisation des Nations Unies, le Secrétaire général a prié tous les Etats Membres de communiquer au Secrétariat, au 31 octobre 1995 au plus tard, les informations demandées dans les recommandations susmentionnées.

5. Dans sa note verbale, le Secrétaire général a également appelé l'attention des gouvernements sur la recommandation suivante du Comité, à savoir que le Secrétariat invite les Etats Membres à présenter des rapports annuels sur leurs activités spatiales. Outre les renseignements sur les programmes spatiaux nationaux et internationaux, ces rapports pourraient contenir des informations présentées suite à des demandes du Groupe de travail plénier ainsi que des informations sur les retombées bénéfiques des activités spatiales et sur d'autres sujets, en fonction des demandes du Comité et des organes subsidiaires².

6. Conformément à la recommandation du Comité, le Secrétaire général a suggéré, dans sa note verbale, de présenter les informations dans un rapport unique sur les activités spatiales nationales en réponse à ces demandes, ainsi que les informations qui répondent spécifiquement aux demandes du Groupe de travail, notamment en ce qui concerne :

a) Les activités spatiales qui faisaient ou pouvaient faire l'objet d'une coopération internationale accrue, en insistant en particulier sur les besoins des pays en développement;

b) Les retombées bénéfiques des activités spatiales;

c) Les activités de recherche nationales et internationales concernant la sûreté des satellites équipés de sources d'énergie nucléaires;

d) Des études menées sur le problème de la collision des sources d'énergie nucléaires avec des débris spatiaux;

e) La recherche nationale sur les débris spatiaux.

7. Le Secrétariat a établi le présent document en utilisant les informations reçues des Etats Membres au 31 octobre 1995, sur les thèmes mentionnés aux alinéas a) et b) du paragraphe 6 ci-dessus. Les réponses reçues

¹ *Documents officiels de l'Assemblée générale, cinquantième session, Supplément N ° 20 (A/50/20), par. 27.*

² *Ibid.* par. 156.2.

après cette date feront l'objet d'additifs au présent document. Des renseignements concernant les thèmes faisant l'objet des alinéas c) à e) du paragraphe 6 ci-dessus seront présentés dans un document distinct (A/AC.105/619).

REPONSES RECUES DES ETATS MEMBRES*

ETATS UNIS D'AMERIQUE

[Original : anglais]

A. Astronomie et physiques spatiales

Au cours de l'exercice budgétaire 1994, les spécialistes des sciences spatiales ont continué à enrichir nos connaissances sur l'univers par des renseignements obtenus non seulement par des instruments situés sur la Terre, mais aussi par les instruments embarqués sur des satellites situés au-dessus du milieu déformant que constitue l'atmosphère de la planète Terre. Ainsi, les scientifiques travaillant dans l'équipe du télescope spatial Hubble ont fait un certain nombre de découvertes importantes; ils ont notamment pu prendre des images de l'explosion d'une étoile (Nova Cygni 1992). Un grand nombre de ces découvertes ont précédé la réussite de la mission de service de décembre 1993, lorsque les astronautes embarqués sur le système de transport spatial STS-61 ont remplacé plusieurs pièces défectueuses et installé un dispositif de correction optique très perfectionné pour compenser l'aberration de sphéricité du miroir principal du télescope spatial Hubble. Des miroirs de la taille d'une pièce de monnaie placés sur la chambre grand angulaire 2 (WF/PC) et les "Corrective Optics Space Telescope Axial Replacements Units" ont servi depuis de "lentilles de contact" pour le télescope spatial Hubble. Comme ce télescope a toujours permis de visionner le ciel sans être gêné par la brume de la Terre, les scientifiques ont pu depuis réaliser tous les objectifs astronomiques initialement prévus pour l'observatoire le plus perfectionné qui ait jamais été construit. En même temps, la première mission de service du télescope spatial Hubble a prouvé que les astronautes très entraînés de la NASA peuvent réaliser des prouesses dans l'espace.

Grâce à leurs efforts, un astronome de l'observatoire d'astrophysique Smithsonian (SAO), à la tête d'une équipe internationale, a utilisé la chambre grand angulaire 2 en mai 1994 pour prendre des images de la Supernova 1994I, découverte par des astronomes amateurs en avril 1994 dans les régions intérieures de la galaxie "Whirlpool" M51. En effet, le télescope Hubble est le seul à pouvoir imager et mesurer le spectre des supernovae lointaines en lumière ultraviolette. Au fur et à mesure que la supernova M51 vieillit, Hubble pourra "voir" plus en profondeur l'intérieur de l'étoile en explosion. Ceci permettra aux astronomes d'évaluer la composition chimique des débris et de mieux connaître le type d'étoile qui a explosé. L'équipe de scientifiques espère apprendre quelles étoiles explosent et deviennent des supernovae, quels éléments chimiques sont éjectés et comment utiliser ces phénomènes de luminosité comme étalon de mesure pour déterminer les dimensions de l'univers.

En juin 1994, deux scientifiques ont découvert grâce à Hubble des disques de poussière protoplanétaire autour des étoiles situées dans la région de la nébuleuse d'Orion, dans la galaxie de la Voie lactée. Ceci indique que la formation des planètes est peut-être relativement commune dans la Voie lactée et dans les autres parties de l'univers. Ces disques récemment trouvés contiennent un grand nombre d'éléments chimiques de base analogues à ceux qui composent les planètes de notre système solaire. Comme les planètes sont les seuls corps célestes qui, à notre connaissance, permettent la vie, l'existence de planètes autour d'autres étoiles donne à penser que la vie existerait peut-être dans d'autres parties de l'univers.

* Ce présent document a été reproduit sous la forme dans laquelle il a été reçu.

Par la suite, en juillet 1994, une équipe internationale d'astronomes utilisant la Chambre de prise de vues pour astres faibles de Hubble ont confirmé que l'hélium est répandu partout depuis l'univers primordial, hypothèse essentielle de la théorie du "Big Bang". La découverte de l'hélium dans la constellation de la Baleine, située à 13 milliards d'années de lumière, donne aux scientifiques des informations intéressantes sur les conditions existant au moyen de l'évolution initiale de l'univers. De plus, cette découverte confirme les idées des scientifiques sur l'évolution chimique de l'univers. En effet, ils estiment que l'hydrogène et l'hélium se sont formés dans les trois minutes qui ont suivi l'explosion primordiale alors que les éléments plus lourds, comme l'oxygène et le carbone, sont apparus plus tard.

Dans d'autres domaines, les scientifiques ont analysé les données fournies par l'Observatoire Compton en rayons gamma (CGRO) lancé en avril 1991, et trouvé de nouvelles preuves que les émissions brusques de rayons gamma s'étendent jusqu'aux régions les plus reculées de l'univers et sont donc une preuve de son expansion. Les explosions très intenses viennent de toutes les directions, ce qui donne à penser qu'elles ont une origine cosmologique; jusqu'à cette découverte, on estimait que les émissions brusques ne se produisaient qu'à l'intérieur de la galaxie de la Voie lactée. Mais comme elles viennent de si loin, elles témoignent de la "dilatation du temps", un effet qui se produit lorsque le temps paraît s'écouler plus lentement à la source des émissions qu'à leur destination, puisqu'on estime que l'univers est lui-même en expansion.

Dans le même ordre d'idée, le télescope expérimental à rayons gamma pour l'étude des hautes énergies (EGRET) du CGRO a fourni la première carte détaillée, pour l'ensemble du ciel, des objets produisant des rayons gamma très puissants et a répertorié plusieurs types de sources de rayons gamma. Les savants estiment, par exemple, que l'interaction de particules de rayons cosmiques et de gaz interstellaire produit des émissions diffuses de rayons gamma à partir de la Voie lactée. Les pulsars et d'autres sources non identifiées de rayons gamma entrent dans cette catégorie. Les astronomes qui ont analysé les données d'EGRET ont aussi repéré ce qu'ils pensent être des trous noirs massifs au milieu de galaxies lointaines qui émettent des rayons gamma en direction de la Terre.

De façon analogue, le satellite explorateur pour l'étude de l'ultraviolet lointain (EUVE), lancé en juin 1992, a donné la première carte pour l'ensemble du ciel dans quatre bandes de fréquences extrêmes de l'ultraviolet. Cette étude a permis de repérer un grand nombre d'étoiles très chaudes, comme les naines blanches et les étoiles à couronne active. A des fins de comparaison, les scientifiques ont également étudié une zone située le long du plan de l'écliptique.

Les astrophysiciens utilisant SAMPEX (pour l'exploration des particules solaires anormales et magnétosphériques), lancé en juin 1992, ont découvert une ceinture de rayons cosmiques anormaux "piégés" dans la magnétosphère. Ils ont précisé la composition chimique et la charge électrique de ces rayonnements dans la région de la haute atmosphère de la Terre où le champ magnétique de celle-ci exerce une influence sur les particules chargées. En outre, ils ont pu étudier les effets des électrons dans la haute atmosphère. SAMPEX a pour mission d'observer les électrons énergétiques et les ions atomiques du Soleil et de l'espace interplanétaire, interstellaire et magnétosphérique.

Les astrophysiciens ont aussi réalisé des percées dans le domaine de la modélisation informatique. En particulier, la modélisation numérique complexe a permis de se faire une représentation très précise de la magnétosphère terrestre. Par conséquent, les savants peuvent maintenant prévoir le "temps spatial" qui résulte des effets terrestres de l'activité solaire. Grâce aux simulations informatiques, les chercheurs ont également une meilleure connaissance de l'héliopause, c'est-à-dire la limite de l'héliosphère le long de laquelle les flux de vent solaire sont équilibrés par la densité du milieu interstellaire. Les paramètres de ce modèle seront confirmés ou non lorsque les deux vaisseaux spatiaux Voyager parviendront dans cette région et transmettront des données à la Terre au cours de la prochaine décennie. (Voyager 1 a été lancé en septembre 1977 et Voyager 2 en août 1977.)

SPARTAN 201-2, un petit satellite lancé puis retiré quelques jours plus tard par la navette spatiale Discovery en septembre 1994, a examiné l'atmosphère extérieure chaude du Soleil, ou couronne étendue, et le vent solaire, c'est-à-dire les flux d'ions chargés provenant du Soleil. Au cours de la deuxième des quatre missions prévues sur la navette, SPARTAN contenait deux instruments, le coronographe à lumière blanche conçu par la NASA, pour mesurer la densité et la répartition des électrons dans les trous coronals et les plumes polaires du Soleil, ainsi que

le "Ultraviolet Coronal Spectrometer" conçu par l'observatoire d'astrophysique Smithsonian (SAO). Ensemble, ces deux instruments peuvent déterminer la vitesse du vent solaire qui augmente au sortir du Soleil, si bien que les scientifiques savent maintenant quand et comment le Soleil produit ce vent, ainsi que la forme et la spectroscopie de la couronne solaire. Les mesures prises par SPARTAN 201 seront utilisées en liaison avec celles provenant du vaisseau spatial Ulysse, lancé en octobre 1990, qui a détecté le vent solaire provenant de la couronne polaire méridionale, alors que SPARTAN a observé la région source de ce vent, ainsi que d'autres portions de la couronne solaire. Les données provenant de SPARTAN 201 permettront d'étalonner les mesures que prendra l'observatoire solaire et héliosphérique ASE (NASA) de l'Agence spatiale européenne, dont le lancement est prévu pour 1995. Les savants espèrent, grâce à ces missions, obtenir des informations pratiques précises sur la façon dont le vent solaire produit des orages magnétiques à proximité de la Terre qui peuvent perturber les systèmes de communication et provoquer des coupures de courant entraînant des pertes estimées à 100 millions de dollars par an dans le monde entier.

Dans l'intervalle, Ulysse a été le premier vaisseau spatial à survoler une région polaire du Soleil lorsqu'en juin 1994, il a commencé sa mission essentielle d'observation du vent solaire à des latitudes solaires élevées. Construit par l'ASE et équipé d'instruments européens et américains, Ulysse prendra des mesures directes de nombreux phénomènes solaires complexes que l'on ne peut pas observer à distance. Les scientifiques veulent en savoir davantage sur les champs magnétiques polaires du Soleil qui changent de polarité tous les 11 ans en liaison avec le cycle solaire; car ils jouent un rôle important dans la couronne solaire et le vent solaire. La composition ionique du vent solaire, mesurée par Ulysse, indique que la température de sa source dans le gaz coronal s'élève à un peu plus d'un million de degrés centigrades. Ceci n'est pas assez chaud pour donner au vent une vitesse aussi élevée, ce qui montre donc qu'un processus électromagnétique inconnu se produisant près du Soleil est responsable de l'accélération du vent solaire.

A l'occasion d'une autre étude, les chercheurs de l'Université de l'Alaska à Fairbanks ont enregistré des éclairs spectaculaires en atmosphère haute qui se produisent au-dessus des orages électriques. Depuis de nombreuses années, les pilotes ont remarqué ces éclairs bleu et rouge vif qui ne durent que quelques millièmes de secondes. A l'aide de caméras spéciales montées sur deux petits avions, les scientifiques ont récemment enregistré pour la première fois ces éclairs sur vidéo. Ils se produisent jusqu'à 100 km de hauteur et certains ont même traversé la couche d'ozone jusqu'à l'ionosphère. Après avoir coordonné leurs résultats avec des collègues d'autres institutions, les chercheurs en sont venus à penser que ce phénomène est un type de décharge électrique. Ils prévoient de l'étudier plus avant pour comprendre son origine et déterminer ses effets sur la sûreté des avions. De façon plus générale, ce phénomène montre qu'il existe un rapport entre le temps qu'il fait dans les couches inférieures de l'atmosphère terrestre et dans les couches supérieures, qui constituent la frontière de notre planète avec l'espace.

Dans le domaine des autres sciences spatiales ayant un rapport avec le temps, la NASA a effectué en 1994 une série de vols de fusées-sondes afin d'étudier les aurores polaires en Alaska. Les physiciens de l'espace s'intéressent à ces phénomènes lumineux colorés connus sous le nom d'"aurores boréales" parce qu'ils sont causés par des variations de l'interaction du vent solaire avec le champ magnétique de la Terre. Equipées de charges utiles très perfectionnées, ces fusées-sondes ont volé directement à travers les aurores, ce qui a permis aux savants de mesurer directement la charge énergétique des ions. Les chercheurs espèrent mieux comprendre d'où proviennent l'accélération et l'énergie de ces particules. Les huit vols de cette campagne ont été un des aspects importants des 41 vols organisés par la Division de la physique spatiale en 1994.

En raison de leur luminosité extrême en lumière maximum, les supernovae de type Ia sont utiles pour mesurer à la fois la vitesse locale d'expansion de l'univers et la vitesse du changement de cette expansion. Les récents travaux de Mark Phillips à l'Observatoire interaméricain de Cerro-Tololo au Chili ont montré l'étalement considérable de l'énergie de rayonnements intrinsèques en lumière visible de ce sous-type important de supernova, qui peut déformer les amas de supernovae lointaines, et conduire à des estimations erronées de la décélération universelle. Phillips et ses collaborateurs ont constaté une corrélation entre le taux de déclin avec le temps du débit lumineux des supernovae et leur éclat maximum. Ils ont aussi constaté que les paramètres d'absorption du silicium détecté dans le spectre des supernovae sont en étroite corrélation à la fois avec leur taux de déclin et l'éclat maximum. La force des observations spectroscopiques permet d'estimer plus précisément l'éclat intrinsèque de chaque supernova et par conséquent la distance où elle se trouve. L'utilisation de cette technique fait maintenant des supernovae les plus

précises des bougies standard, qui peuvent servir de sondes lointaines pour mesurer des paramètres relatifs à l'univers primordial.

Une série d'observations effectuées systématiquement par des astronomes a depuis longtemps donné à penser qu'il existe un "Great Attractor", c'est-à-dire une concentration de masse qui attire vers elle un flux massif de galaxies. Les scientifiques ont découvert ce flux à grande échelle en comparant le mouvement du groupe local par rapport aux amas et le mouvement par rapport au rayonnement électromagnétique cosmique qui est censé être une référence "stationnaire". La force de ces flux à grande échelle permet d'établir une distinction entre les modèles expliquant la formation des galaxies et des amas dans l'univers primordial. Plus récemment, les astronomes ont commencé à examiner de vastes volumes d'espace pour étudier les structures et les flux sur des échelles encore plus grandes. Les travaux de Todd R. Lauer (National Optical Astronomy Observatories) et de Marc Postman (Space Telescope Science Institute), qui ont utilisé des télescopes de 4 et de 2,1 m du Kitt Peak National Observatory en Arizona et le télescope de 1,5 m de l'Observatoire interaméricain de Cerro-Tololo au Chili donnent à penser que l'on peut identifier des flux massifs à des distances d'environ 600 millions d'années de lumière, c'est-à-dire presque trois fois plus qu'au cours des recherches précédentes.

On a utilisé les galaxies ayant l'éclat le plus fort pour mesurer les distances et la vitesse de 199 amas et établir un référentiel pour les amas. Le mouvement du groupe local de galaxies déduit par rapport aux amas galactiques était sensiblement différent de celui déduit par rapport au rayonnement électromagnétique cosmique. Ceci donne à penser que toutes les galaxies se trouvant dans le volume d'espace défini par ces amas se meuvent à une vitesse de quelque 700 km à la seconde et que n'importe quel "attracteur" doit se situer au-delà des limites des recherches initiales. Une structure de cette dimension ne peut être expliquée par aucun des modèles théoriques actuels et ouvre donc des perspectives intéressantes pour la connaissance de l'échelle des structures les plus vastes de l'univers.

L'application de la sismologie à l'étude de la structure interne du Soleil a progressé presque uniquement grâce à la prévision et à la mesure des fréquences des oscillations solaires. Messieurs Thomas L. Duvall (Centre de vol spatial Goddard), Stuart Jeffries (Bartol), Jack W. Harvey (Observatoire solaire national, Tucson) et Martin A. Pomerantz (Bartol) ont montré qu'il était aussi possible de mesurer directement le temps de propagation et le parcours de certaines ondes acoustiques, ce qui est essentiel en matière de sismologie terrestre. L'idée fondamentale est simple : à la surface, une onde venant de l'intérieur et se propageant vers le haut est réfléchi vers le bas à la suite d'une modification brutale de la densité du gaz à la surface du Soleil. Lorsque l'onde se propage vers l'intérieur, sa trajectoire est courbée en direction de la surface en raison de la réfraction provoquée par la température qui augmente considérablement avec la profondeur. Si l'onde montante provoque un éclaircissement à la surface du Soleil, il y aura un autre éclaircissement lorsqu'elle reviendra ultérieurement à la surface. En mesurant cette différence chronologique en fonction de la distance entre les deux emplacements en surface, il est possible d'établir un graphique de la durée de propagation par rapport à la distance de séparation, ce qui est un schéma courant en sismologie terrestre. Les premiers travaux ont montré que les ondes acoustiques dont les fréquences d'oscillation sont supérieures à une valeur critique prévue en fonction des conditions physiques de l'atmosphère solaire ne sont pas vraiment reflétées par l'atmosphère, puisque leur coefficient de réflexion est inférieur à 2 %. Cette approche ouvre la voie à des études sismiques des phénomènes solaires locaux tels que les inhomogénéités situées sous la surface solaire, près des taches solaires. Elles devraient aussi permettre de raffiner les modèles de la vitesse des gaz sous la surface solaire.

Joseph Taylor et Russell Hulse, de l'Université de Princeton, ont reçu le prix Nobel de physique en 1993 pour leur découverte, grâce au télescope radio d'Arecibo à Porto Rico, du pulsar binaire PSR B1913+16 et pour les études et l'analyse qu'ils ont faites de cet objet par la suite. Leurs travaux ont démontré de façon convaincante qu'il est juste de considérer la relativité générale comme une théorie de la gravitation dans des conditions extrêmes et confirmé indirectement le rayonnement gravitationnel prédit par Albert Einstein. Grâce à une utilisation plus récente du télescope radio d'Arecibo, le minutage continu du pulsar binaire milliseconde PSR B1257+12 par celui qui l'a découvert, à savoir M. Alexander Wolszczan de l'Université d'Etat de Pennsylvanie a confirmé l'hypothèse annoncée précédemment selon laquelle une planète serait en orbite autour de cet objet; les observations ont aussi montré les effets que la gravité mutuelle des planètes exerce sur leur mouvement orbital. Elles ont également révélé la présence d'un troisième corps planétaire, dont la masse représente 1,5 % de celle de la Terre qui est en orbite autour des étoiles à neutrons situées au centre à une distance qui ne dépasse pas 0,2 unité astronomique.

L'observation des nuages gazeux associés au quasar dont le spectre présente un fort décalage vers le rouge PC 1643+4631A avec les télescopes radio de 42 et de 12 m de l'Observatoire radio astronomique national (NRAO-Kitt Peak, Arizona) ont révélé la présence d'une émission de monoxyde de carbone. Des nuages de ce genre ont été identifiés précédemment comme étant les ancêtres des galaxies actuelles. Le décalage vers le rouge des raies spectrales moléculaires indique qu'elles ont été émises lorsque l'univers avait encore un cinquième de son âge actuel. Les observations de David T. Frayer, du directeur adjoint du NRAO Robert L. Brown et du directeur du NRAO Paul A. Venden Bout sont capitales dans la mesure où elles indiquent une masse moléculaire de 4,5 trillions de masses solaires ce qui est l'équivalent de la masse stellaire d'une grande galaxie, mais les matériaux sont apparemment dans un état étendu, gazeux et préstellaire. Remarquables aussi sont les quantités considérables de carbone et d'oxygène qui constituent les molécules du monoxyde de carbone; ces éléments doivent avoir été produits par une formation violente et massive d'étoiles ayant précédé l'état protogalactique observé.

Le Centre de recherche astrophysique en Antartique (CARA) de la Fondation nationale des sciences (NSF) a fait des observations astrophysiques en hiver à partir de l'Observatoire de la NSF au pôle Sud pour la première fois au cours de l'hiver austral de 1994. Le télescope SPIREX (South Pole Infrared EXplorer) du CARA a pu, en raison de son emplacement exceptionnel, fournir davantage d'images des impacts de la comète Shoemaker-Levy 9 avec Jupiter que tout autre instrument. Aussi, les mesures des sites effectuées par SPIREX ont confirmé que le ciel est au moins trois fois plus sombre au pôle Sud que dans tout autre site précédemment observé. Une autre expérience de CARA a porté sur l'anisotropie du rayonnement électromagnétique cosmique; à la fin de 1994, l'expérience utilisait deux télescopes dénommés PYTHON et VIPER. PYTHON a effectué des mesures au pôle Sud au cours des deux derniers étés australs et il fonctionne maintenant pour la première fois au cours de l'hiver. Il a considérablement corroboré à l'anisotropie du rayonnement électromagnétique cosmique mesurée d'abord par le satellite Explorer pour l'étude du fond cosmique (COBE) lancé en 1989 et il a commencé à établir une carte du rayonnement électromagnétique cosmique à une échelle bien plus fine qu'il n'est possible de le faire avec les antennes plus modestes de COBE. Les conditions atmosphériques calmes régnant au pôle Sud ont permis à PYTHON de faire des mesures d'une sensibilité inconnue jusqu'à présent.

Avec les nouvelles données fournies par ASCA (satellite avancé de cosmologie et d'astrophysique lancé par le Japon en février 1993) sur deux restes de supernova (E0519-69.0 et N103B) situés dans le Large Magellanic Cloud, une équipe nationale d'astronomes conduite par John P. Hughes du SAO, a découvert des quantités considérables de fer, de calcium et d'autres éléments nouvellement synthétisés. ASCA donne aux astronomes un meilleur instrument pour observer directement les émissions de nombreux atomes y compris l'oxygène, le silicium, le calcium et le fer dans le gaz éjecté par les supernovae, qui durent pendant de nombreuses centaines d'années après l'explosion ayant créé la supernova. Les scientifiques estiment que les explosions qui sont à l'origine des restes se sont produites il y a entre 500 et 1 500 ans. La présence évidente d'émissions de fer associée à l'absence d'une forte émission d'oxygène donne à penser que ces restes proviennent du groupe d'explosions de supernova qui ont produit la masse de fer existant dans l'univers, selon Hughes. Une étude plus approfondie des nouvelles données devrait aider les astronomes à affiner les modèles actuels d'explosions de supernova, et "en raison de la présence du fer partout dans l'univers" Hughes pense que ces résultats auront une grande influence sur l'astronomie en général.

Deux autres scientifiques du SAO, Dong-Woo Kim et Giuseppina Fabbiano, ont découvert un vaste halo gazeux et chaud entourant une galaxie lointaine, apportant peut-être la preuve de la présence à la fois de matières obscures et de ce qu'on appelle des flux de refroidissement. Ces observations peuvent contribuer à déterminer si l'univers est ouvert ou fermé. Les deux astronomes ont utilisé le satellite ROSAT anglo-américano-allemand lancé en juin 1990 pour observer une galaxie elliptique brillante à rayons X, NGC 507, située à quelque 300 millions d'années de lumière de la Terre. En mesurant les températures du gaz chaud émetteur de rayons X, ils ont observé une diminution constante de la chaleur vers le centre de la galaxie. Ils estiment que cette chute de température peut être due à des flux de refroidissement dans la région centrale. En outre, l'incertitude concernant les mesures de la masse de NGC 507 laisse supposer la présence éventuelle de grandes quantités de matières obscures. Les observations indiquent que la matière baryonique (masse vue sous forme d'étoiles et de gaz dans toutes les longueurs d'ondes) représente quelque 15 % de la masse totale estimée de la galaxie. Puisque les théories cosmologiques actuelles prévoient que la masse baryonique doit être inférieure à 5 % pour "fermer" l'univers, cette découverte a des incidences sur la cosmologie. Toutefois, il faudra effectuer des mesures analogues pour bien d'autres systèmes avant que les savants puissent déterminer si l'univers est ouvert ou fermé.

B. Exploration du système solaire

Plus près de nous, les scientifiques ont aussi fait de nouvelles découvertes sur notre système solaire. Ainsi, des observations au sol effectuées au titre du programme consacré aux objets proches de la Terre ont permis de détecter la comète Shoemaker-Levy 9 en 1993 et de prévoir son impact sur Jupiter en juillet 1994. Cet événement a constitué l'un des résultats les plus spectaculaires d'une étude télescopique détaillée à long terme du ciel nocturne effectuée à l'Observatoire du Mont Palomar en Californie par le géologue du Service géologique des Etats-Unis, Eugène M. Shoemaker et deux volontaires, Carolyn S. Shoemaker et David H. Levy. C'est la première comète totalement fragmentée qui ait jamais été observée et la première dont on ait pu constater l'impact sur une planète. Pour la première fois, la communauté scientifique du monde entier a pu prévoir et suivre cette collision. Grâce à la plupart des observatoires au sol et à toute une série de vaisseaux spatiaux allant de Galileo (lancé en octobre 1989) au télescope Hubble et à l'Observatoire embarqué Kuiper (KAO), les astronomes se sont procurés toute une série de données intéressantes et révélatrices sur la structure des comètes et de Jupiter y compris sur toute une série d'effets de la collision sur l'atmosphère et le plasma de cette planète. Au total, pendant une semaine, 21 fragments observables sont entrés en collision avec Jupiter. L'impact, observé dans les régions du spectre électromagnétique allant de l'ultraviolet aux ondes longues, a produit des boules de feu qui ont laissé de grandes traces visibles sur la planète; montrant ainsi la nécessité de faire l'inventaire des comètes et des astéroïdes qui pourraient un jour entrer en collision avec la Terre. Au cours des derniers mois de l'année 1994, les scientifiques, qui avaient un contrat avec la Defense Nuclear Agency (DNA), ont tiré parti de leurs connaissances en simulation et en modélisation des effets nucléaires sur l'atmosphère terrestre pour expliquer les données relatives au renforcement des radioémissions obtenues par des mesures dans diverses bandes de fréquence de la magnétosphère de Jupiter au cours de l'impact. Le résultat de leurs recherches, en conformité avec un modèle d'accélération du choc, donne à penser que l'effet a été plus grand qu'on ne le supposait auparavant. A la fin de l'année 1994, ils ont affiné leurs calculs avec la collaboration de plusieurs spécialistes de la radio et de l'optique. En prévision de la collision de la comète avec Jupiter, les divisions des sciences astronomiques et des sciences atmosphériques de la NSF et la division de l'exploration du système solaire de la NASA avaient patronné un programme spécial destiné à financer les recherches théoriques et les observations du mécanisme de dépôt d'énergie dans les différentes régions de l'atmosphère de Jupiter. Des modèles théoriques rendent compte de la quantité et de la vitesse des matériaux éjectés au cours des collisions, ainsi que des réactions chimiques qui se produisent par suite de l'interaction de ces matériaux avec les éléments neutres et ionisés de l'atmosphère de Jupiter. On pense que l'impact a créé de la poussière qui, une fois chargée après exposition à l'environnement ionisé, formera de nouveaux anneaux de poussière autour de la planète. Les données fournies par toute une série d'instruments répartis de façon stratégique, afin d'observer les effets des impacts, permettront de vérifier les prévisions théoriques.

Les scientifiques de la NASA ont également fait des progrès très intéressants dans le domaine des études sélénologiques lorsqu'ils ont travaillé pour la mission Clementine patronnée par le Département de la défense. Cette mission, pour laquelle la recherche sélénologique ne représentait qu'un objectif parmi d'autres a été effectuée par le Naval Research Laboratory, avec l'appui de la NASA, du Lawrence Livermore National Laboratory et du Jet Propulsion Laboratory en Californie. Lancé le 25 janvier 1994, le vaisseau spatial Clementine est entré dans l'orbite lunaire le 19 février 1994. Pendant les deux mois et demi qui ont suivi, quatre caméras ont pris 1,8 million d'images à la surface de la Lune dans 11 longueurs d'onde discrètes sur la plus grande partie de la surface lunaire, permettant ainsi d'établir la première carte numérique complète de cette surface. En outre, les scientifiques de la NASA sont très satisfaits d'avoir obtenu des données multispectrales sur la surface, couvrant 11 couleurs, dans les spectres visible et infrarouge. Divers instruments - un télémètre à laser, un télescope pour la détection des particules chargées, des images thermiques perfectionnées et un système de poursuite radio - ont également permis de se procurer des informations nouvelles importantes sur la topographie de la Lune, la composition de sa surface et l'environnement de particules chargées. Ainsi, le système lidar a mis au point une carte complète des élévations lunaires et permis de découvrir à cette occasion un cratère d'impact de 12 km de profondeur au pôle Sud de la Lune. Une expérience en vol utilisant un amplificateur de communication pour effectuer des mesures actives bistatiques a permis d'obtenir des éléments confirmant, sans être pour autant concluants, l'existence de glace dans les ombres permanentes des cratères situés près des pôles de la Lune. La NASA a prévu de patronner plusieurs subventions pluriannuelles à des scientifiques pour leur permettre d'étudier les données sélénologiques de Clementine afin de faire progresser les connaissances sur la formation de la Lune. Le Service géologique des Etats-Unis a commencé à traiter les données Clementine en vue d'établir des cartes numériques globales. Une mission secondaire de Clementine, à

savoir la rencontre dans l'espace profond avec l'astéroïde 1620 Geographos, n'a pas pu être réalisée en raison d'un problème intervenu après l'achèvement de la mission de cartographie de la Lune.

En revanche, Galileo a pu réaliser sa rencontre avec l'astéroïde Ida qui lui a permis de confirmer, pour la première fois, la présence d'une lune autour d'un astéroïde. Il s'agit d'un satellite naturel de 1,5 km de diamètre intitulé Dactyl. Bien que les scientifiques aient cru auparavant à l'existence probable de satellites naturels des astéroïdes, ils peuvent maintenant affirmer que ces lunes sont peut-être plus répandues qu'on ne le pensait auparavant. A la fin de l'année 1994, les chercheurs continuaient à étudier les données relatives à la lune d'Ida pour savoir comment les deux corps se sont formés. Il se pourrait que cette lune provienne de l'explosion d'un astéroïde plus grand, de composition hétérogène, qui aurait également donné naissance à Ida. L'analyse spectrale effectuée par le spectromètre de cartographie dans le proche infrarouge a montré que Dactyl est constitué de composés spécifiques en quantités bien plus diverses qu'Ida, et donc qu'il ne provient pas directement de ce dernier. En examinant les paramètres orbitaux de Dactyl, les scientifiques, notamment les spécialistes de la NASA et du Service géologique, peuvent mieux déterminer la masse d'Ida. La combinaison de ces informations avec les données dont ils disposaient déjà sur les dimensions d'Ida permettra aux scientifiques de déduire la densité et la composition de l'astéroïde. Au cours de son trajet en direction de Jupiter, Galileo a également examiné un autre astéroïde, Gaspra, qui comme Ida se trouve dans la principale ceinture d'astéroïdes en orbite autour du Soleil entre Mars et Jupiter.

Au cours d'une autre exploration planétaire, le vaisseau spatial Magellan, lancé en mai 1989, a montré que Vénus est encore active géologiquement. Après avoir terminé la cartographie de la surface de la planète, Magellan a commencé à rassembler des informations sur sa densité. En suivant la vitesse précise du vaisseau spatial au-dessus de régions spécifiques de la planète, les contrôleurs au sol ont calculé la force de gravité à ces emplacements et par là même la densité de la couche sous la surface. Ces données indiquent que les régions vénusiennes de haute gravité correspondent aux régions de haute élévation, contrairement à ce qui se passe sur la Terre où les chaînes de montagnes correspondent à des dépressions gravitationnelles. Dans le même ordre d'idées, le Service géologique des Etats-Unis a terminé la première mosaïque radar globale à haute définition de Vénus (à une échelle de 1:1 500 000); une série de 170 CD-ROM contenant les données de Magellan était en préparation à la fin de 1994. Presque la moitié des quadrangles de la carte géologique au 1:1 500 000 ont été terminés afin de compléter le programme de la NASA sur la cartographie géologique de Vénus.

En outre, le Service géologique des Etats-Unis a participé à la planification de missions que la NASA se propose d'envoyer sur Mars, y compris Pathfinder (sonde équipée d'une petite jeep prévue pour 1996-1997), au moins deux sondes orbitales dénommées Mars Global Surveyor et une série de sondes Mars Surveyor. Des géologues du service géologique participaient à l'équipe de prise d'images de Pathfinder et ils ont contribué à préparer toute une série d'expériences et d'observations géologiques pour Pathfinder, y compris la sélection d'un site d'atterrissage à l'embouchure d'un grand canal de Mars. Le personnel du Service géologique a également participé à la planification des missions des sondes orbitales Surveyor et des autres sondes, qui devraient avoir lieu entre 1998 et 2005.

C. Autres sciences de l'espace

Les recherches de la NASA sur la microgravité et les sciences de la vie ont beaucoup progressé au cours de l'année budgétaire 1994, grâce notamment à la mission Spacelab en sciences de la vie-2 (SLS-2) d'octobre 1993. Quatorze expérimentations devraient permettre d'étudier les réactions physiologiques de l'homme et de rongeurs à la microgravité et leur réadaptation ultérieure à la gravité terrestre. Dans le prolongement de la mission SLS-1 de juin 1991, la recherche effectuée sur SLS-2 a essentiellement porté sur l'identification et la caractérisation des modifications des systèmes physiologiques pendant et après le vol spatial et sur l'approfondissement des mécanismes en jeu en vue de minimiser ou de neutraliser les changements préjudiciables à la santé de l'homme avant que la station spatiale internationale ne soit mise en service. Au nombre des résultats à porter au crédit de SLS-2 figure la démonstration apportée indépendamment par trois équipes différentes de chercheurs que les modèles actuellement utilisés pour élucider les effets de la gravité sur le coeur, les poumons et la circulation ne permettaient pas de prédire les réponses physiologiques observées en cours de vol spatial. Ces études aideront à mieux comprendre la régulation de la pression sanguine chez des sujets sains et malades et les troubles cardio-pulmonaires. Les chercheurs ont appris aussi que l'exposition à la microgravité s'accompagnait d'un degré surprenant de plasticité neurale. Ces

résultats permettront d'élucider l'adaptation du système nerveux au changement. La recherche sur le rôle que la gravité joue dans le maintien de la fonction musculaire - combinant des mesures anatomiques, biochimiques et fonctionnelles - complétera le programme sur la physiologie du muscle exécuté par les instituts nationaux de la santé et la NASA.

Le vol d'un cosmonaute sur STS-60 en février 1994 a ouvert la Phase 1 de la station spatiale internationale. En août, le premier lancement de matériel de recherche américain à bord d'une fusée Progress russe emportait un système de mesure des accélérations destiné à appuyer les programmes de recherche américains et russes. Du matériel américain supplémentaire est actuellement testé et expédié en Russie pour être lancé à bord de fusées Progress l'année prochaine. Enfin, un institut international de recherche et de technologie spatiales est prévu pour parrainer de nouvelles équipes interdisciplinaires réunissant des biologistes, des technologues, des physiciens et des spécialistes des matériaux pour faire des recherches sur la Terre et dans la station spatiale, en vue d'en retirer des aperçus nouveaux et des méthodologies applicables aux problèmes auxquels l'homme est confronté.

En mars 1994, la NASA a lancé le USMP-2- exposé à l'environnement spatial dans le compartiment de la charge utile de la navette qui fournit l'énergie, assure le refroidissement et collecte les données pour différentes expérimentations. L'expérimentation sur la croissance dendritique isotherme a fait progresser la science des matériaux. La croissance dendritique est la forme courante de la croissance des cristaux qu'on observe au moment où des métaux, alliages et beaucoup d'autres matériaux se solidifient dans la plupart des processus industriels. L'étude de la formation des dendrites sur orbite a démontré que les théories fondamentales de la formation et de la croissance de la dendrite ne pouvaient être testées de manière rigoureuse que dans des conditions de microgravité de haute qualité et de longue durée. Ces théories sont nécessaires pour prédire et réaliser dans des matériaux solidifiés les microstructures désirées dont dépendent nombre de leurs propriétés physiques et chimiques, telles que leur résistance mécanique et leur résistance à la corrosion. L'expérimentation sur la croissance des cristaux de semi-conducteurs de solutions solides au moyen du four automatique perfectionné pour la solidification dirigée a réalisé, à sa première mission, la croissance d'un cristal d'alliage de tellure de cadmium mercuré, qui est un semi-conducteur, pour étudier la physique de la convection entraînée par le surcroît thermique et la composition au cours de la croissance des cristaux. Le suivi sur place réalisable dans l'appareil MEPHISTO (matériel français pour l'étude des phénomènes intéressant la solidification sur Terre et en orbite) a permis d'étudier les phénomènes cinétiques au cours de la croissance des cristaux d'alliage d'étain/bismuth. Le four MEPHISTO, développé par l'Agence spatiale française et utilisé conjointement par les Etats-Unis et les chercheurs français dans le cadre d'un accord de coopération, offre la possibilité unique d'étudier la formation de microstructures dans des matériaux en cours de solidification pour aider à comprendre comment les métaux acquièrent leurs propriétés physiques. L'expérimentation de diffusion de la lumière par fluide critique a étudié les phénomènes de changement de phase à proximité du point critique de l'élément, xénon. Par l'étude d'un secteur connu des physiciens comme celui des phénomènes critiques dynamiques, cette expérimentation a fourni aux théoriciens des indications nouvelles pour modéliser la manière dont des systèmes caractérisés par divers degrés de liberté répondent aux fluctuations. Ces modèles peuvent aider à interpréter des phénomènes aussi variés que la turbulence atmosphérique, la dynamique des populations humaines et la supraconductivité.

Après IML-1, IML-2 a poursuivi en juillet 1994 l'exploration des effets de la gravitation sur les systèmes biologiques, physiques et chimiques. Quelque 82 investigations mises sur orbite par 75 chercheurs principaux représentant 13 pays ont montré comment des laboratoires spatiaux habités pouvaient être utilisés de manière très efficace dans des investigations internationales comme celles qui doivent être faites sur la station spatiale. Sur IML-2, 11 grandes expérimentations américaines sur la microgravité ont utilisé de nouveaux appareils de vol mis au point par les partenaires internationaux de la NASA. Quatre équipes de chercheurs américains ont utilisé l'installation de traitement sans creuset électromagnétique allemande (TEMPUS) pour étudier la nucléation dans la solidification tout en mesurant les propriétés thermophysiques. Un chercheur des Etats-Unis a utilisé l'équipement perfectionné de cristallisation des protéines de l'ASE, embarqué pour sa première mission de longue durée, pour étudier la cristallisation de macromolécules en utilisant la "technique de diffusion liquide-liquide". Un autre chercheur des Etats-Unis a mené à bien les protocoles d'étude du phénomène de sintérisation en phase liquide - procédé utilisé pour produire des alliages de composition nouvelle à partir de matériaux à haute température - à la National Space Development Agency (NASDA). Deux équipes de chercheurs américains ont étudié les interactions en phase liquide en utilisant l'unité bulles, gouttes et particules de l'ASE et un groupe de chercheurs des Etats-Unis a étudié les

changements de phase en employant l'installation pour le point critique de l'ASE. Au nombre des résultats préliminaires de la mission figurent de nouveaux aperçus sur le transport de la masse et de l'énergie dans des systèmes au point critique vapeur-liquide - condition unique de la matière qui aidera à comprendre des systèmes complexes à des échelles allant de l'atome à la météorologie mondiale ainsi que des changements subtils comme la magnétisation d'une barre de fer ou la manière dont les substances passent de la conductivité à la supraconductivité; et des observations sur les mouvements de gouttes et de bulles produits par la tension superficielle dans des conditions thermiques et de transfert de moment d'inertie étroitement liées. Les études biologiques ont mis en évidence la présence de lésions cellulaires résultant de l'exposition à l'environnement spatial. On a observé chez des nématodes un nombre important de mutations comparé aux spécimens témoins mais aucun changement en matière de reproduction. Les études sur les animaux et les plantes ont permis de constater les effets de la microgravité et des rayonnements sur la croissance, le matériel génétique, le développement osseux, la différenciation et la reproduction cellulaires et l'efficacité des antibiotiques. Premier cas de reproduction de vertébrés étudié dans l'espace, on a obtenu l'accouplement et l'éclosion d'oeufs de poissons Medaka. Un alevin issu de la fécondation dans l'espace est effectivement éclos et a survécu; il en a été de même avec des oeufs préfécondés. Deux oeufs de tritons mis en orbite ont survécu et une forte proportion d'oeufs sélectionnés avant la mise sur orbite ont donné des embryons et des larves viables. Dans une autre première spatiale, des chercheurs ont établi un seuil de gravité, le point où les effets de la gravité sont observables, pour deux organismes - l'euglène et la méduse. Des mouches à fruits exposées à la microgravité ont donné des signes d'hyperactivité par rapport aux spécimens témoins sur la Terre, ce qui correspond à un processus de vieillissement accéléré dans l'espace.

A la demande des gouvernements de l'Ukraine et de la République de Géorgie, les biologistes de la NASA, associés au Laboratoire radar-2 ont reçu des données en octobre 1994 sur les passages de la Navette au-dessus des deux pays. Ces données appuieront les développements technologiques et le suivi de l'environnement en réponse aux inquiétudes de ces gouvernements sur la pollution et la lutte contre la maladie.

La NASA a continué en 1994 de progresser dans le domaine de la télémédecine, exercice de la médecine à distance à l'aide d'une ligne téléphonique, d'un satellite, de micro-onde ou d'un autre moyen de télécommunication. Le pont spatial avec le projet de démonstration de la télémédecine de Moscou, programme pilote commencé en novembre 1993, utilise la vidéo interactive bidirectionnelle entre des consultants cliniciens à l'hôpital de Moscou et quatre sites cliniques aux Etats-Unis. L'aide pour le diagnostic à distance de cas couverts par ce projet constitue un suivi réussi du pont spatial avec l'Arménie en 1988.

La recherche a débouché sur des progrès importants dans la mise au point de nouveaux revêtements résistants en utilisant des techniques d'application courante dans l'industrie. La NASA a engagé cette recherche pour combattre ou prévenir la formation de micro-organismes médicalement nuisibles dans les systèmes de contrôle de l'air, de l'eau et de contaminants à l'état de trace des vaisseaux spatiaux habités. Les résultats préliminaires confirmés indépendamment par le Center of Biofilm Engineering à l'Université de l'Etat de Montana indiquent une réduction de 50 à 90 + pour cent de la prolifération d'un organisme commun constituant une pellicule biologique lorsque le revêtement est appliqué à la matière plastique ou au métal. La surface revêtue est isotherme, ce qui permet la stérilisation et la réutilisation. A noter en outre que la surface revêtue est également extrêmement facile à nettoyer. Ces revêtements peuvent trouver une application dans la prévention de la constitution de pellicules biologiques dans un certain nombre de secteurs commercialement importants. D'après les estimations préliminaires très conservatoires du Center for Biofilm Engineering et de l'EPA, le potentiel commercial de ces technologies se chiffrait à des centaines de millions de dollars.

La NASA a également continué de coopérer étroitement avec d'autres organismes de recherche gouvernementaux. Un programme de biotechnologie exécuté conjointement par la NASA et le NIH a mis l'accent sur l'établissement de centres communs pour accélérer le transfert des technologies de la NASA et permettre leur application à la recherche biomédicale, développant notamment des techniques perfectionnées de culture tissulaire applicables à la recherche biomédicale et à la biologie du développement; des technologies perfectionnées de cristallisation des protéines pour promouvoir la biologie structurale et la conception de médicaments; la technologie de détection précoce de la cataracte. A la fin de l'année budgétaire, la NASA avait conclu 18 accords de coopération avec 10 instituts du NIH ainsi qu'avec la Bibliothèque nationale de médecine. Au titre d'un accord entre la NASA et le NIH, un centre de culture tissulaire tridimensionnelle a été établi à l'Institut national de la santé de l'enfant et

du développement humain. Cet accord appuie le transfert au NIH de la technologie des bioréacteurs de la NASA, son développement avec l'appui de la NASA, de nouvelles expérimentations en vol sur la croissance des cristaux de protéines et de nouvelles investigations sur la culture cellulaire en microgravité. En outre, la NASA et le NIH ont choisi 22 chercheurs qui participeront aux expérimentations biologiques en vol sur la Navette spatiale au cours de la période 1994-1996, les premières du genre; les 34 chercheurs pour Neurolab, une mission Spacelab prévue sur la Navette en 1998 et consacrée à l'étude du cerveau et aux sciences comportementales. La NASA a, en outre, signé des accords avec l'Institut national du cancer, la Bibliothèque nationale de médecine et l'Institut national de la santé de l'enfant et du développement humain en vue de recherche dans des domaines d'intérêt commun. En 1994, la NASA a reçu, en réponse à une annonce de recherche, 141 propositions concernant la biotechnologie. Des études effectuées par des pairs, l'année budgétaire 1995, permettront de déterminer celles auxquelles il sera donné suite. La NASA et l'Institut national du cancer appliqueront la technologie de l'imagerie utilisée à HST et ailleurs au diagnostic et au traitement du cancer du sein. Trois projets notamment ouvrent la perspective de développer des systèmes de mammographie digitale directe ayant un pouvoir de résolution élevé et un large champ. Avec l'Institut national de la santé mentale, la NASA aidera à appliquer les récents progrès des sciences informatiques et de l'information à l'étude du cerveau et aux sciences de la santé apparentées.

Dans un domaine voisin, la NASA, les forces aériennes, et la GTE Corporation ont récemment achevé un programme étudiant la croissance de l'arséniure de gallium dans l'espace. La NASA finance aussi un programme de croissance des cristaux de protéines au Naval Research Laboratory et dans le cadre d'un accord avec le Département de la défense, l'Institut de recherche Walter Reed a effectué des recherches sur les cultures cellulaires dans un système de vol. Un protocole d'accord entre la NASA et la NSF a engagé ces deux organismes à collaborer à des recherches sur la transduction signalétique et la différenciation cellulaire dans des plantes en réponse à la stimulation écologique, notamment la gravité. Dans le cadre d'un autre accord conclu entre la NASA et l'Association américaine pour la sclérose en plaques, on appliquera la technologie mise au point pour les systèmes de refroidissement dans les combinaisons spatiales à des combinaisons analogues destinées à des malades souffrant d'un dérèglement de la température corporelle interne. Le Centre de recherche Ames de la NASA et le projet Antarctic Analog du système d'équipement de vie en milieu clos du NST ont collaboré pour mettre au point une technologie d'équipement de vie régénérateur qui trouvera son champ d'application le plus large à la NASA et qui prévoira aussi un système de recyclage à l'intention des chercheurs de l'Antarctique. Conçu pour améliorer l'habitabilité de la station de recherche Amundsen-Scott au pôle Sud et pour aider les Etats-Unis à remplir leurs obligations internationales concernant le maintien de l'environnement antarctique dans son état primitif, ce projet permettra à la NASA qui a besoin d'une expérience de longue durée dans un environnement semblable, de tester des techniques d'équipement de vie régénérateur pour des habitats planétaires en déployant des systèmes régénérateurs pour les aliments, l'eau et le traitement des déchets, utilisables au pôle Sud.

D. Navette spatiale

Durant l'année 1994, la navette spatiale a continué d'avoir pour fonction principale la mise en orbite terrestre basse (180 à 600 km au-dessus de la Terre) de gens et de fret. A la fin de l'année, la flotte de la NASA comptait quatre orbiteurs en service : Columbia, Discovery, Atlantis, et Endeavour. Cette même année, Atlantis a été immobilisé pour entretien dans l'installation prévue à cet effet à Palmdale, Californie. Pendant cette période, il a fait l'objet des aménagements nécessaires à son amarrage à la station spatiale russe Mir, la première mission d'assemblage étant prévue pour le premier trimestre de 1995. A la fin de l'année, on s'apprêtait à envoyer l'orbiteur Columbia à Palmdale où il devait à son tour être immobilisé pour entretien.

Au cours de l'année, la NASA a entrepris de reconfigurer le réservoir extérieur afin de réduire le poids structurel, ce qui améliorera la performance du système de navette. Elle prévoyait à cette occasion de substituer du lithium d'aluminium à l'alliage d'aluminium actuel, tirant ainsi parti de la résistance supérieure par unité de poids du nouveau matériau. Le premier lancement du système superléger qui en résultera s'effectuera à la fin de l'année 1997.

Le programme du moteur principal de la navette spatiale a poursuivi vigoureusement au cours de l'année budgétaire 1994 le développement et la mise en oeuvre d'améliorations au plan de la sécurité et de la fiabilité. On a amélioré cinq grandes composantes de l'actuel moteur en procédant à deux changements de module. Le module I contient la nouvelle tête de puissance de la phase II+, l'échangeur de chaleur à transformateur unique et la

turbopompe d'admission du comburant sous haute tension alternative. Le module II reprend les améliorations du module I et ajoute la turbopompe à combustible à haute tension alternative et la principale chambre de combustion à large col. Les ingénieurs ont effectué à l'appui des programmes de développement et de vol en cours 101 essais au sol l'année budgétaire 1994 pendant un total de 47 775 secondes. A l'heure actuelle, la turbopompe à comburant a satisfait les impératifs établis et la première des deux unités d'homologation officielle a effectué avec succès la série de 20 tests. Le premier moteur du module I qui contenait la deuxième unité de turbopompe à comburant a commencé les essais en octobre 1994. A la fin de l'année budgétaire le premier vol du module I était prévu pour juin 1995. Les ingénieurs chargés du développement de la turbopompe à comburant ont résolu tous les problèmes techniques importants rencontrés au début de l'opération. Devant ce résultat, le Congrès a approuvé la reprise du travail de développement de la turbopompe à combustible qui avait été mis en veilleuse depuis 1991. Les essais pour le développement de la turbopompe à combustible étaient en cours à la fin de l'année budgétaire et il était prévu que la configuration du module II entre en service en septembre 1997. Le programme du principal moteur de la navette spatiale a également obtenu des résultats qui ont démontré l'intérêt des changements introduits dans le fonctionnement du moteur du module II - dans le cadre du programme d'amélioration générale de la performance de la navette conformément aux objectifs de la station spatiale.

Un propulseur à poudre a appuyé avec succès les huit vols de la navette commencés au cours de l'année 1994. On a procédé à la mise à feu expérimentale statique d'un moteur d'appoint lourdement équipé. On a commencé de s'employer à transférer la production de tuyères de propulseur à poudre de conception nouvelle de l'Utah à l'ex-site de construction de propulseurs à poudre perfectionnés dans le nord-est du Mississippi. L'élimination de substances appauvrissant la couche d'ozone s'est poursuivie. Les ingénieurs ont conçu deux améliorations de la performance du propulseur dans le cadre du programme global d'amélioration de la performance qui va dans le sens des objectifs de la station spatiale. Le prolongement du cône d'échappement de la tuyère augmentera l'impulsion spécifique sous vide du moteur. Le propulseur léger remplacera les actuels parachutes en nylon par des versions en kevlar et réduira un peu le poids de la structure.

Dans le domaine de l'intégration des systèmes de navette spatiale, le système Day-of-Launch I-Load-Update (DOLILU I) (mise à jour de la charge le jour du lancement I) a été disponible pour toutes les missions de l'année budgétaire 1994. Le système met à jour la trajectoire de vol pour tenir compte des vents effectifs le jour du lancement. Le système DOLILU II, qui intégrera les tables de commande du moteur principal, les données pour le réglage de la fusée à poudre et les données pour le contrôle aérodynamique le jour du lancement, optimisera la trajectoire ascendante de la navette. La NASA pensait que le premier vol bénéficiant de cette amélioration aurait lieu en mai 1995. Les efforts d'intégration effectués durant l'année budgétaire 1994 ont aussi inclus des analyses des charges structurales; la correction d'anomalies en vol, des suppressions et des changements; le développement et l'essai de logiciels pour le contrôle de chaque mission. Afin de répondre aux besoins des missions internationales des stations spatiales, la NASA a pris des mesures pour identifier les améliorations souhaitables de la performance de la Navette, et faire les études et les réalisations appropriées. Les ingénieurs ont établi des plans d'intégration de systèmes pour assurer leur exécution cohérente dans le programme de la Navette spatiale. Des analyses étaient en cours à la fin de l'année pour assurer la compatibilité de modifications de conception du réservoir extérieur, du moteur principal, des propulseurs de fusées à poudre et de l'orbite elle-même. Les ingénieurs ont spécifié les analyses conceptionnelles et les tests nécessaires pour la définition des marges de vol. Toutes les améliorations ont été spécifiées pour appuyer le premier vol d'une station spatiale internationale prévu pour décembre 1997.

En 1994, l'équipe chargée de la préparation au sol de la Navette spatiale a réalisé plusieurs innovations qui ont augmenté l'efficacité, amélioré le calendrier et réduit les coûts. Un programme d'entretien centré sur la fiabilité a continuellement ajusté les procédures basées sur les données de performance effective et sur l'expérience opérationnelle. Un système de contrôle du travail intégré, encore en cours de développement, a déjà rationalisé et automatisé les fonctions de contrôle de plus de 10 000 tâches majeures accomplies pour la préparation de 22 grands systèmes de vol d'une sonde orbitale. Il a préparé des paquets de travaux, assuré la notification automatisée des besoins de pièces et de matériaux et réduit ainsi le nombre des tâches où se produisent des retards. Une autre amélioration des opérations au sol consiste à choisir un chef d'équipe dans une unité de travail, à le former et à définir ses responsabilités et son autorité depuis la planification jusqu'à l'achèvement des tâches lui incombant. Ce système permet de résoudre les problèmes au niveau opérationnel le plus bas tout en structurant l'effort et en assurant sa cohésion. Il a amélioré la préparation des navettes, facilité le travail d'équipe, minimisé les retards et amélioré

la qualité. Il a été appliqué avec succès à tous les domaines d'activité après que plus de 4 400 membres du personnel de la NASA et sous-traitants aient reçu la formation appropriée.

E. Satellites

A la suite de la perte de Landsat-6 en octobre 1993, la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a continué d'utiliser Landsat-5 en service depuis 1984. La série Landsat a fourni des observations régulières de la surface de la Terre pendant deux décennies et suivi les ressources renouvelables et non renouvelables. Les applications de ces données appuient des programmes concernant par exemple la recherche sur les changements à l'échelle mondiale, le suivi du littoral, la gestion du bois d'oeuvre, la planification régionale et la surveillance de l'environnement. Le 10 mai 1994, la Maison-Blanche a annoncé la stratégie de télédétection par Landsat, qui assure la continuité des données fournies par le Landsat actuel et par ceux qui suivront. La responsabilité du programme Landsat-7 était assumée conjointement par la NASA, la NOAA (Agence nationale d'études de l'atmosphère et des océans) et l'USGS (Service géologique des Etats-Unis). La NASA reprenait au DoD la responsabilité du développement de Landsat-7. La NASA et la NOAA développeront conjointement le système au sol que la NOAA exploitera avec l'USGS. Le Centre de données du système d'observation des ressources terrestres (EROS) de l'USGS gardera la responsabilité des archives gouvernementales de Landsat et d'autres données de télédétection se rapportent à la Terre. Landsat-7, dont le lancement est prévu en décembre 1998, transportera un système de relevés thématiques amélioré (ETM-Plus).

Le lancement réussi le 13 avril 1994 du satellite géostationnaire opérationnel d'études de l'environnement (GOES)-I, rebaptisé GOES-8 lorsqu'il a été mis en orbite, a fourni des observations météorologiques plus précises et plus rapides et des données sur l'atmosphère. Sa conception caractérisée par une stabilisation sur trois axes permet aux détecteurs du satellite d'observer la Terre en continu, alors que les satellites actuels stabilisés par rotation ne peuvent l'observer que pendant 5 % du temps. Le premier d'une série de cinq satellites météorologiques avancés qui vont être lancés sur plusieurs années, GOES-8 a été vérifié et son réglage a été affiné par la NASA pendant les six mois qui ont suivi son lancement. De ce fait, la NOAA n'a obtenu le contrôle du satellite qu'après la fin de l'année budgétaire. Pendant les vérifications, le satellite était positionné à la longitude 90° ouest, mais il était prévu qu'il passe à la longitude 75° ouest une fois qu'il deviendrait opérationnel et que GOES-7, encore opérationnel sept ans après son lancement, passe de la longitude 112° ouest à la longitude 135° ouest, afin que les deux satellites assurent ensemble une couverture continue de l'hémisphère occidental. La NASA qui se charge des lancements et des vérifications de la série GOES et assure leur conception, leur développement et leur lancement, prévoyait de lancer GOES-J en 1995 en remplacement de GOES-7 qui a déjà dépassé sa durée de vie prévue. La NOAA se charge des opérations, notamment du commandement et du contrôle, de la réception des données, de la génération et de la distribution des produits.

Dans un domaine tout à fait différent la NOAA a annoncé au début de l'année civile que deux nouvelles stations au sol avaient été ajoutées au réseau de recherche et de sauvetage par satellites qui couvre tous les Etats-Unis. Installées à Guam et à Porto Rico elles étaient les dernières d'une série comptant six installations nouvelles, entièrement automatisées, conçues pour améliorer le système de recherche et de sauvetage par satellites en vue d'une aide d'urgence aux marins, aux utilisateurs basés au sol et aux pilotes en détresse. Les stations et quatre autres installées aux Etats-Unis au cours des dix-huit mois précédents font partie d'un système international de recherche et de sauvetage par satellites désigné par l'appellation COSPAS-SARSAT (d'un acronyme russe signifiant système spatial de recherche de vaisseaux en détresse et d'un acronyme anglais pour Rescue Satellite-Aided Tracking System). Le système permet de recevoir les signaux de détresse de navires ou d'avions et de réagir plus rapidement qu'avant. Il utilise un total de six satellites environnementaux de la NOAA et satellites d'aide à la navigation russes, plus un réseau de stations au sol pour capter les signaux radio et les signaux de balise envoyés par des personnes en perdition et les transmettre, en passant par des centres de contrôle comme celui de la NOAA dans le Suitland, Maryland, à des centres de coordination des secours. Depuis la mise en place du système en 1982, 4 310 vies avaient été sauvées au 30 septembre 1994, dont 960 au cours de l'année civile 1993.

Le système-2 déployable à laisse non récupérable (SEDS-2) conçu par le SAO, constituait une charge utile secondaire sur une fusée Delta II lancée à 22 h 40 Est le 9 mars 1994 de cap Canaveral AFS, Floride. Avec une longueur de près de 20 km, c'était l'objet le plus long qui ait jamais été mis dans l'espace. A 23 h 45 le second étage

de Delta a éjecté le SEDS-2 de 23 kg, en utilisant un dispositif chargé sur ressort. Le mini-satellite a atteint une longueur déployée finale de 19,8 km en 1 h 48 min, réalisant l'objectif principal de l'expérimentation qui était de suspendre cette charge utile avec un minimum d'oscillations. Ensuite, SEDS-2 est resté dans l'espace afin qu'on puisse déterminer la résistance de son polyéthylène en tresse aux micrométéorites, aux débris spatiaux et à l'oxygène atomique. La laisse a apparemment été sectionnée (par un micrométéorite ou par des débris) le 15 mars. Par la suite, l'extrémité est rentrée dans la haute atmosphère et a brûlé, tandis que de 10 à 12 km de la laisse restaient attachés au second étage de la fusée et en orbite jusqu'au 8 mai 1994. C'est la troisième laisse développée par la SAO qui a été lancée l'année passée, chacune ponctuellement et avec un objectif de plus en plus ambitieux.

F. Station spatiale

Des réalisations considérables sont à porter à l'actif du programme de stations spatiales international au cours de l'année budgétaire 1994. En octobre 1993, le programme a officiellement établi une première série de spécifications à laquelle il a intégré des éléments russes. En décembre 1993, les 12 pays participant à la station spatiale Freedom (Etats-Unis, Canada, Italie, Belgique, Pays-Bas, Danemark, Norvège, France, Espagne, Allemagne, Royaume-Uni et Japon) ont officiellement invité la Russie à se joindre à eux et celle-ci a accepté. Le programme Navette/Mir a alors été élargi et a constitué la phase I du programme de stations spatiales international. En février 1994, l'activité de la phase I a officiellement commencé lorsque Sergei Krikalev a été le premier Russe à bord de la navette spatiale. Les astronautes de la NASA Bonnie Dunbar et Norm Thagard s'entraînent depuis mars 1994 au centre de formation de cosmonautes russes à Star City. Le premier Américain devait monter à bord d'un vaisseau spatial russe en mars 1995. Tous les partenaires du programme de stations spatiales internationale ont participé à une réunion d'étude de la conception des systèmes au Johnson Space Center (JSC), Texas, en mars 1994. Le 23 juin 1994, Daniel S. Goldin, administrateur de la NASA, et Yuri N. Koptev, directeur général de l'Agence spatiale russe ont signé un accord intérimaire NASA/ASR sur la station spatiale et un contrat de 400 millions de dollars. Aux termes de l'accord les Russes participent désormais aux organismes de gestion du programme commun et le contrat spécifie les équipements et les données fournis par les Russes dans les premières phases du programme (essentiellement pour les activités de la Navette/Mir). En outre, le 31 août 1994, la NASA et la compagnie Boeing ont signé un protocole d'accord définissant la teneur et le coût maximum du contrat principal qui devait être signé à la fin de 1994. Toujours en août, le programme a achevé un examen de l'architecture du véhicule. Enfin, le 28 septembre 1994, le Conseil de direction de la station spatiale a revu l'examen en question et ratifié les modifications recommandées pour la séquence du montage et les besoins d'éléments de la station spatiale.

La conception remaniée de la station spatiale qui a résulté de ces activités retenait ce qu'il y avait de mieux dans le logiciel et les capacités du précédent programme de la Station spatiale Freedom tout en améliorant la capacité de recherche et la souplesse au niveau des utilisateurs. La nouvelle Station spatiale internationale coûte 5 milliards de moins que Freedom. Elle a adopté une structure de gestion simplifiée et a notablement réduit l'effectif du personnel et le nombre d'adjudicataires. Elle a adopté une approche par équipe utilisant les compétences des fonctionnaires civils pour mettre au point un certain nombre d'éléments de manière plus économique et plus efficace, épargnant ainsi des millions de dollars. En outre, la Coopération russe a accru la capacité de la Station spatiale internationale et encore réduit les coûts pour les Etats-Unis, donnant à la station un rôle important dans les relations qui s'instaurent entre les deux pays. A cette date, le programme a produit 12 000 kg d'équipement pour la station spatiale - près de 1 000 kg de plus que prévu. Un certain nombre de réunions ont permis des échanges techniques fructueux avec les Russes et la Russie a commencé la livraison des articles figurant dans le contrat signé en juin. Avant la fin de l'année budgétaire, une équipe de liaison de la NASA était en place à Moscou et la NASA travaillait avec les Russes à l'établissement de leur bureau de liaison à Houston. A une réunion d'échanges techniques tenue en août 1994, la NASA et l'ASR sont tombées d'accord sur un certain nombre de problèmes importants d'intégration et de fonctionnement sur la question par exemple de savoir comment les ordres de commandement et de contrôle seraient envoyés à la station spatiale. L'équipe de gestion conjointe a poursuivi les discussions à Moscou le mois suivant et élargi le terrain d'entente, aboutissant à un accord sur certaines conditions indispensables pour travailler ensemble telles que l'utilisation de l'anglais comme langue commune.

Par ailleurs, le nouveau Gouvernement canadien a récemment réaffirmé son appui à la Station spatiale internationale. Le Canada a restructuré les dépenses du gouvernement pour réduire sa dette. Face à des décisions budgétaires difficiles, le Gouvernement canadien n'est pas revenu sur sa décision de développer le système de soutien

logistique mobile qui fournira la robotique externe de la station spatiale. Le Canada a en outre prévu de développer le manipulateur à usage spécial pour des opérations robotiques plus délicates. L'ASE a continué de mettre au point Columbus (COF - laboratoire pressurisé) et l'équipement de laboratoire à usage scientifique. L'ASE a également mis au point le véhicule de lancement Ariane V et les véhicules de transfert associés; à la fin de l'année budgétaire 1994, elle a discuté avec la NASA du rôle que ces véhicules pourraient jouer dans le réapprovisionnement logistique de la station spatiale. L'ASE a conduit un exercice de conception à coûts optimisés sur COF, coordonnant étroitement avec la NASA les changements techniques et de gestion. Les Européens ont indiqué qu'ils examineraient les possibilités de fournir un véhicule de sauvetage de l'équipage ainsi qu'un véhicule de transfert automatisé avec le réapprovisionnement en propergol et repulsion. Le Japon a mis au point le module d'expérimentation japonais consistant en un élément de laboratoire pressurisé à usages multiples, une installation exposée non pressurisée, un système de manipulation à distance et des modules logistiques pour les expérimentations. Le programme du Japon a bien progressé, 63 % de ses fonds pour le développement allant à des activités effectuées en sous-traitance.

G. Energie nucléaire

Jusqu'à maintenant, les Etats-Unis ont utilisé 37 générateurs thermoélectriques à isotopes (RTG) sur plus de 20 lancements. Ces générateurs sont des appareils sans pièces mouvantes qui convertissent la chaleur provenant de la désintégration du radio-isotope Plutonium-238 (Pu-238) en électricité. Les RTG ont fait preuve de la souplesse et de la capacité nécessaires pour fonctionner au-delà de la durée de vie exigée par diverses missions spatiales. Ainsi, le RTG d'une puissance de plusieurs centaines de watts embarqué sur le vaisseau spatial Voyager 2, lancé en 1977, a continué à fonctionner dans l'espace après avoir dépassé Neptune. Le Département de l'énergie a mis au point un nouveau modèle de RTG équipé d'une source chaude plus efficace appelée source chaude polyvalente. Le RTG à source chaude polyvalente a très bien fonctionné pour les missions de Galileo et d'Ulysse lancées respectivement en 1989 et 1990. En 1994, les activités du programme du Département de l'énergie ont été avant tout consacrées à la production des éléments de la source chaude polyvalente et des convertisseurs thermoélectriques de ces générateurs en vue de satisfaire les besoins énergétiques de la mission Cassini vers Saturne, dont le lancement est prévu en 1997. C'est la centrale de la Savannah River, en Caroline du Sud, qui a traité la plus grande partie du combustible Pu-238 nécessaire pour les trois nouveaux RTG. En 1994, le Laboratoire national d'Oak Ridge au Tennessee a terminé la production de toutes les pièces en iridium qui serviront pour l'enveloppe du combustible Pu-238. Le Laboratoire national de Los Alamos, au Nouveau-Mexique a comprimé les pastilles de Pu-238 du vol initial et les a soudées dans les capsules d'iridium. Le rapport préliminaire de l'analyse de sûreté sera établi vers la fin de 1994. La Société EG&G Mound Applied Technologies de Miamisburg (Ohio), a procédé comme prévu aux activités préparatoires à l'assemblage des générateurs vers la fin de l'année. L'entreprise principale, Martin Marietta AstroSpace, a terminé la production de tous les éléments thermoélectriques destinés aux trois générateurs au cours de l'année et la fabrication des autres pièces s'est déroulée comme prévu. Le Département de l'énergie a également entrepris d'effectuer de nouvelles études de conception pour fabriquer des générateurs thermoélectriques à isotopes plus petits et plus légers destinés à la mission Pluto Fast Flyby dont les spécifications prévoient une alimentation en énergie par ce type d'appareils. Plus tard au cours de l'année 1994, le Département de l'énergie publiera un rapport d'ensemble sur les capacités de production à long terme de ce type de générateurs en réponse à une demande du General Accounting Office. Le Département de l'énergie entend bien conserver les capacités lui permettant de fournir d'autres institutions en sources d'énergie nucléaires spéciales.

H. Autres techniques spatiales

Au cours de 1994, la NASA a réalisé des progrès considérables en ce qui concerne la mesure, la modélisation et la réduction des débris orbitaux. Le Haystack pour l'étude des débris orbitaux, dont la NASA a confié l'exploitation au Laboratoire Lincoln du Massachusetts Institute of Technology, a pu depuis trois ans repérer ces débris et les mesurer. Ce radar puissant peut détecter des débris de la taille d'un petit pois en orbite à 600 km dans l'espace. Sa performance à de faibles altitudes (400 à 600 km) a été moins grande que prévue pour la mesure des débris, ce qui est un bon point pour la station spatiale internationale. Toutefois, à des altitudes plus élevées (800 à 1 000 km) la population de débris était plus importante que ne l'avait prévu la NASA. Comme des objets situés sur des orbites plus élevées ne sont pas beaucoup affectés par les changements de l'activité solaire, leur durée de vie peut dépasser mille ans, ce qui signifie qu'ils ne constitueront pas un danger pour la station spatiale, mais plutôt une

menace pour les satellites scientifiques d'observation de la Terre, les satellites météorologiques et les satellites de télécommunications. Le 9 février 1994, les sphères pour le calibrage radar des débris orbitaux (ODERACS-1) ont été mises en place par la navette spatiale Discovery. Ces six sphères, d'un diamètre de 5 à 15 cm redoivent améliorer les capacités qu'ont les radars au sol de repérer les petits débris. Ces sphères doivent rester en orbite et fournir des données des débris sur le calibrage jusqu'au milieu de l'année 1995. La Nasa a également mis au point un télescope portatif capable de détecter des objets d'environ 1,5 cm de diamètre à des altitudes allant de celles de la station spatiale (400 à 650 km) à des altitudes héliosynchrones (800 à 1 000 km) et des objets de 5 à 10 cm à une altitude géosynchrone (36 000 km). La conception de ce télescope à miroir de métal liquide (LMMT) est fondée sur les recherches de E.F. Borra, de l'Université Laval de Québec (Canada) sur les miroirs en mercure liquide. Le prototype LMMT de trois mètres de diamètre fonctionnant actuellement au Centre spatial Johnson de la NASA est le dix-septième télescope du monde par ordre de grandeur. Il a coûté environ 500 000 dollars, à savoir un centième du coût de télescopes astronomiques comparables. Pour en réduire les coûts de construction, la NASA a conçu le LMMT de façon à ce qu'il puisse être placé dans un silo à céréales disponible dans le commerce. Les coûts du logiciel opérationnel ont été réduits du fait que l'on a modifié un logiciel élaboré auparavant pour le télescope à dispositif à charge couplé du Centre spatial Johnson.

En vue de prévoir la météorologie spatiale et d'évaluer les risques de dégâts encourus par les satellites, les scientifiques de l'University Rice ont mis au point des modèles informatiques très perfectionnés permettant de calculer la densité et l'énergie des particules à n'importe quel point de l'espace. Ils ont établi des cartes analogues à celles utilisées par les météorologues indiquant les flux de plasma dans l'ionosphère et les caractéristiques des ions et des électrons qui se précipitent dans l'atmosphère. Grâce à la haute définition, ils ont calculé la façon dont les flux de plasma évoluent en fonction du vent solaire, et établi une représentation graphique des résultats, analogue à un film. Plus de 50 chercheurs ont effectué des campagnes d'observation coordonnées en vue de valider les résultats du modèle.

I. Satellites de télécommunications

Trois nouveaux satellites commerciaux ont été lancés pour les Etats-Unis au cours de l'année 1994. Le premier, Galaxy 1R(S), lancé le 19 février 1994, assurera des services vidéo jusqu'à la prochaine décennie. Ce satellite en remplaçait un autre qui approchait de la fin de sa vie utile; il est situé à une longitude de 133° ouest. General Dynamics Commercial Launch Services a pu lancer le satellite de télécommunications Telstar 401 à partir de cap Canaveral à bord d'un IAS Atlas le 15 décembre 1993. Le contrôle des systèmes et les essais en orbite ont été terminés à une longitude de 89° ouest en janvier 1994, et le satellite a été placé à une longitude de 97° ouest pour qu'il puisse commencer à fournir des services de télévision et de communications à ces clients américains dès le début de février. Malheureusement, le 9 septembre 1994, le lancement de Telstar 402 par un lanceur Ariane à partir de Kourou, (Guyane française) n'a pas réussi. Le lancement lui-même s'est bien passé, mais les opérateurs ont perdu contact avec le satellite après qu'il eut commencé à faire la vrille en passant au-dessus de l'océan Indien. La Fox Broadcasting et ABC continueront à utiliser Telstar 401 jusqu'au lancement de Telstar 403 qui est une nouvelle monture de Telstar 402R.

Deux autres satellites de télécommunications ne rentrant pas dans la catégorie des satellites nationaux mais fournissant des services aux utilisateurs ont été les premiers Satellites de diffusion directe (DBS). Lancé par Ariane de Kourou (Guyane française) le 17 décembre 1993, DBS-1, nom donné au satellite par ses copropriétaires DirecTv et United States Satellite Broadcasting, offre quelque 75 à 80 canaux de télévision depuis avril 1994 aux abonnés américains ou à ceux qui achètent le matériel de réception nécessaire. Situé à une longitude de 101° ouest, le satellite HS 601 construit par Hughes Space and Communications Company a fourni des services de radiodiffusion à 48 Etats. Il a été suivi le 3 août 1994 par DBS-2 lancé à partir de l'AFS du cap Canaveral par Martin Marietta Atlas IIA, permettant ainsi de porter à 150 le nombre de canaux disponibles. Un autre satellite de télécommunications a été placé en orbite au cours de l'année 1994 à savoir PanAmSat PAS-2 appelé PAS-4 par la Federal Communications Commission (FCC). Une fusée Ariane 4 l'a lancé dans l'espace à partir de Kourou (Guyane française) le 8 juillet 1994. Ce satellite de 2 920 kg qui a été construit par Hughes Aircraft Co. est devenu le premier satellite international privé de PanAmSat pour la région de l'océan Pacifique, assurant des services de télévision de l'ouest des Etats-Unis au continent asiatique. Il est le second de quatre satellites qui devraient constituer le système de satellite mondial de la PanAmSat, dont le début a été marqué par le lancement de PAS-1 en juin 1988 qui fournit

des services à la région de l'océan Atlantique. Un autre satellite HS 601 de Hughes, PAS-4, peut transporter plus de 320 canaux numériques transmis par les répéteurs 16 63-watt en bande Ku et 16 34-watt en bande C.

L'Organisation internationale des télécommunications par satellite (INTELSAT), consortium créé en 1964 et comprenant, en septembre 1994, 134 pays membres possède et entretient le système de télécommunications mondiales par satellite le plus important du monde qui fournit des services à plus de 200 pays et territoires; elle a lancé son satellite INTELSAT 701 le 22 octobre 1993, à bord d'une fusée Ariane 44LP. Le premier dans la série des INTELSAT VII à haute puissance, INTELSAT 701, a commencé à fonctionner de façon commerciale le 15 janvier 1994, lorsqu'on lui a transféré le trafic du satellite INTELSAT 510 lancé en mars 1985. Situé à une longitude de 174° est, le satellite Space Systems/Loral a commencé à fournir des services de téléphone, de télévision, etc., aux clients d'INTELSAT dans la région de l'océan Pacifique, y compris la côte ouest de l'Amérique du Nord, les Iles du Pacifique et la côte est de l'Asie. La plupart des porteuses à grande distance des services de téléphone de l'Amérique du Nord et de la région d'Asie et du Pacifique ont commencé à utiliser ce nouveau satellite, qui transmet 90 000 appels téléphoniques instantanément, contre 75 000 pour le satellite 510. En outre le 701 transmet trois canaux de télévision à la fois au lieu des deux canaux transmis par INTELSAT 501.

Le 17 juin 1994, INTELSAT a lancé le deuxième des neuf satellites VII-VII-A commandés par Space Systems/Loral à bord d'un lanceur Ariane 44LP à partir de Kourou, en Guyane française. Après avoir quitté son emplacement d'essai en orbite, INTELSAT 702 a commencé à fournir des services commerciaux le 13 août 1994 à une longitude de 359° est, remplaçant ainsi INTELSAT 512 qui était d'une capacité inférieure. Seule liaison directe à un seul bond entre le sous-continent indien et l'Amérique du Nord et du Sud, INTELSAT 702 assure des services de communication étendus aux clients d'INTELSAT en Afrique, en Europe, sur le sous-continent indien, au Moyen-Orient, à l'Est des Etats-Unis et en Amérique du Sud.

Ce nouveau satellite est le cinquantième lancé par INTELSAT; 22 d'entre eux fonctionnent encore et assurent des services commerciaux internationaux (vidéo, téléconférence, télécopieur et télex).

L'Organisation internationale de télécommunications mobiles par satellite (Inmarsat), organe international basé à Londres qui comprenait 75 pays membres à la fin de 1994, n'a rien ajouté à son système de quatre INMARSAT II et de sept satellites plus anciens qui assurent des télécommunications mobiles par satellite dans l'espace aérien, sur terre et sur mer à presque 40 000 utilisateurs de terminaux mobiles dans plus de 165 pays. Parmi les exploits réalisés par cette organisation en 1994, on doit citer la première liaison vocale par satellite avec un téléphone cellulaire dans le monde, qu'Inmarsat a annoncée en mars 1994. Cet événement s'est produit au cours des essais en vue de la mise en place, à l'avenir, d'un système téléphonique mondial d'appareils tenant dans la main; ces essais étaient destinés à tester les marges énergétiques nécessaires pour assurer la transmission des signaux de paroles entre 1998 et l'an 2000. Entretemps, en septembre 1994, un grand magasin londonien a commencé à vendre le téléphone satellite en mallette INMARSAT-M. Le couvercle de la mallette sert d'antenne au téléphone qui se trouve à l'intérieur. La même année, la United States Communications Satellite (Comsat) Corporation, qui possède environ 23 % des parts Inmarsat, a ouvert une nouvelle station à Kuantan (Malaisie) le 1er juillet 1994. Elle est venue compléter les stations existant déjà à Santa Paula en Californie et à Southbury, Connecticut, et fait de Comsat le premier fournisseur de services Inmarsat à assurer des services mobiles numériques par satellite dans le monde entier.

J. Réseau spatial de communications

Le 29 novembre 1993, la NASA a repositionné son premier Satellite de repérage et de retransmission des données (TDRS-1), lancé en 1983 et qui fonctionnait déjà au-delà de sa durée de vie de 10 ans, pour récupérer les données scientifiques de l'Observatoire à rayons gamma de Compton (GRO), lancé en 1991. Sans cela, une grande partie des données GRO auraient été perdues, un magnétophone étant tombé en panne à bord du vaisseau spatial. Pour assurer le contrôle de TDRS-1, la NASA a installé un terminal au sol très automatisé, le GRO Remote Terminal System (GRTS), à sa station du Réseau de communications avec l'espace lointain située en Australie. Ce terminal est télécommandé à partir des stations au sol du système TDRS au Nouveau-Mexique. TDRS-1 a commencé à relayer les données de façon opérationnelle le 6 décembre 1993, au moment où il a été positionné dans son nouvel emplacement, un an après le début du projet. TDRS-1 était en position à 85° est de longitude, au-dessus de l'océan Indien, dès le 7 février 1994 et la NASA a déclaré le GRTS opérationnel le 1er avril 1994, avec un coefficient

d'efficacité de plus de 97 %. Avec TDRS-1 et le GRTS, la NASA a pu étendre la recherche des données en temps réel à l'orbite complète pour l'Observatoire à rayons gamma de Compton qui étudie l'évolution de l'univers, la nature des objets astronomiques inhabituels et les processus produisant des rayonnements à très haute énergie.

La NASA a entrepris de mettre le système TDRS à la disposition de l'industrie américaine pour lui permettre de faire gratuitement des expériences et des démonstrations de techniques et de projets novateurs en matière de télécommunications par satellite. L'objectif du programme MOST (Système mobile de communications par satellite via le système TDRS) est de renforcer la compétitivité de l'industrie américaine dans le domaine des télécommunications mondiales par satellite. Le système TDRS permet de tester des terminaux de communications par satellite légers, mobiles, tenus dans la main, dans des conditions environnementales très variées. Le système de poursuite a déjà été utilisé pour faire des démonstrations de radiodiffusion par satellite d'une qualité comparable à celle des disques compacts, afin d'effectuer des mesures de la diversité de trajet pour les télécommunications mobiles par satellite à usage commercial. Parmi les applications des technologies validées par le programme MOST, on peut citer l'audition d'une radio de qualité comparable à celle des disques compacts au cours des voyages en voiture, la communication par des appareils sans fil tenus dans la main partout dans le monde, quelles que soient la distance et la communication avec les randonneurs dans les régions lointaines en cas d'urgence. Le programme MOST n'interfère en aucune manière avec la mission essentielle du système TDRS, à savoir la transmission de commandes au vaisseau spatial et la récupération des données collectées par celui-ci.

K. Réseaux au sol

La NASA utilise des installations de télécommunications au sol pour fournir des services de télémétrie, de commande et de navigation à un certain nombre de vaisseaux spatiaux de la NASA, d'autres vaisseaux spatiaux américains et internationaux, comme la Navette spatiale, d'autres vaisseaux spatiaux en orbite autour de la Terre, des orbiteurs de planètes, comme Galileo et Magellan, ainsi que Voyager et Pioneer qui parcourent les espaces les plus lointains de notre système solaire.

On utilise également les installations des réseaux au sol pour assurer des services de repérage et d'acquisition des données aux fusées sondes, aux ballons en haute altitude et aux missions de recherches aéronautiques. Ces capacités mondiales ont permis aux opérateurs des missions de diriger les vaisseaux spatiaux, de les configurer aux fins d'observations scientifiques et de récupérer les données scientifiques collectées. Au cours de l'année passée, la récupération des images supplémentaires de la rencontre effectuée en 1993 par le vaisseau spatial Galileo avec l'astéroïde Ida a révélé que cet astéroïde avait une lune. Magellan, qui fournissait des données scientifiques sur Vénus depuis plusieurs années, a terminé sa mission par une dernière expérience quand son orbite a décliné, au moment où il est dans l'atmosphère de la planète. En outre, les images radar collectées par le vaisseau spatial Clementine ont permis d'établir des cartes détaillées de la surface de la Lune et les données de la mission solaire internationale Ulysses ont fourni des données d'observation importantes sur l'hémisphère Sud du Soleil.

L. Etudes terrestres et applications

Les études terrestres couvrent une large gamme d'activités. Au cours de l'année budgétaire 1994, la NASA a fait la démonstration de deux techniques nouvelles d'observation de l'environnement à partir de l'espace. La première utilisait un radar à polarisations et à fréquences multiples - le radar civil le plus complexe qui ait jamais été placé dans l'espace - pour étudier l'écologie, les cycles de l'eau, le couvert végétal, ainsi que l'océanographie, la géologie et la volcanologie. En concertation avec l'Italie et l'Allemagne, le laboratoire radar spatial a été embarqué sur la navette spatiale Endeavour en avril (SRL-1) et en septembre-octobre 1994 (SRL-2). Ces missions ont permis à une équipe de 52 scientifiques et à des équipes au sol dans le monde entier d'observer les limites fluctuantes entre forêts tempérées et forêts boréales (septentrionales), ainsi que d'autres phénomènes naturels. Les données obtenues seront reportées sur des cartes, étudiées et interprétées. L'USGS par exemple a commencé l'étude du Sahara en Afrique du Nord, de la partie sud de l'Afrique, de l'Asie et du Sud-Ouest des Etats-Unis en utilisant des images du SRL. Comme les signaux radar pénètrent le sable sec et produisent des images de caractéristiques géologiques autrement cachées par le sable entraîné par le vent dans les régions désertiques, les images du laboratoire radar sont utilisées pour établir la carte de la distribution de différents indicateurs géologiques du changement climatique et des ressources non exploitées, notamment celles qui sont liées aux anciens systèmes fluviaux asséchés.

En avril et en mai 1994, la NASA et le Gouvernement canadien ont effectué une étude de l'atmosphère-écosystème boréale (BOREAS); il s'agissait d'une vaste étude au sol et par télédétection des échanges d'énergie, de chaleur, d'eau, de gaz carbonique, et d'autres gaz à l'état de trace entre les forêts et l'atmosphère. SRL-1 a donné à maintes reprises des images des sites de BOREAS, ce qui a permis aux scientifiques de comparer les données spatiales avec les résultats des investigations au sol et en avion. Il s'est avéré que les taux d'évaporation dans les forêts boréales (septentrionales) du Canada central étaient extrêmement faibles. Ces données corrigeront les modèles actuels qui surestiment l'humidité atmosphérique. Dans un domaine voisin, la NASA, la NOAA et l'Agence spatiale canadienne sont parvenues en août 1994 à un accord final sur la politique arrêtée pour le vaisseau spatial Radarsat. Une fois lancé, Radarsat établira la carte de la Terre, rassemblant des données tous temps particulièrement intéressantes sur la calotte glaciaire et les océans. Etant donné le programme, le satellite devra basculer pour pouvoir fournir la carte complète de l'Antarctique qui constitue l'un des objectifs de sa mission.

La seconde des techniques nouvelles de la NASA pour l'observation de l'environnement est lidar - utilisant un laser de la même manière que le radar puisqu'il est renvoyé par des objets (par exemple nuages, polluants, surface de la Terre), ce qui permet d'effectuer des mesures à partir de l'énergie réfléchie. L'expérimentation de la technique spatiale lidar (LITE) embarquée sur la navette Discovery en septembre a permis d'observer des nuages invisibles pour les satellites météorologiques classiques, des nuages de poussière au-dessus de l'Afrique et la structure d'un super typhon dans le Pacifique, y compris le niveau sommital des nuages et l'oeil du cyclone.

En juin 1994, la NASA a annoncé qu'elle avait engagé par appel d'offres deux équipes spécialisées pour construire, lancer et exploiter deux satellites expérimentaux - chacun pas plus grand qu'un poste de télévision à panneau de contrôle communément appelés "Lewis and Clark" - dans le cadre de la démonstration de la technologie des engins spatiaux miniaturisés de la NASA. Le processus d'adjudication n'a duré que 70 jours au lieu des six mois à un an qui sont la règle. "Lewis" sera le premier système d'imagerie "hyperspectrale" spatiale; il aura de larges applications dans les sciences de la Terre et ouvrira de nouvelles possibilités commerciales. "Clark" aidera les urbanistes et les directeurs d'aménagement à évaluer les sites et les besoins en matière de construction par l'utilisation d'un élément optique à très haute définition spatiale et la capacité de produire des images stéréo. Les deux engins spatiaux embarqueront des instruments supplémentaires qui fourniront des informations sur la dynamique de la pollution atmosphérique mondiale pour la Mission Planète Terre de la NASA (MTPE).

La MTPE a une composante éducation et sensibilisation, le but étant de faire en sorte que la population soit suffisamment informée pour appuyer à l'avenir la mise en place de politiques prudentes eu égard au changement environnemental mondial. Des efforts sont en cours au niveau fédéral, à celui de l'Agence et à la MTPE pour mieux coordonner et faire connaître les résultats du programme. De son côté, la NASA qui veut agir comme catalyseur de progrès, a commencé à faire de l'éducation à plusieurs niveaux : formation de la prochaine génération de spécialistes des sciences de la Terre qui aborderont le changement global dans une perspective interdisciplinaire; formation d'enseignants du secondaire pour leur donner les moyens d'enseigner la science du système Terre; éducation de la population au niveau de la société pour renforcer la confiance dans les méthodes scientifiques et améliorer leur compréhension. Une des priorités du programme de recherche sur le changement mondial des Etats-Unis (USGCRP) concerne l'éducation scientifique et la communication. En avril 1994, le Vice-Président Gore annonçait le Programme mondial d'éducation et d'observation pour la défense de l'environnement (GLOBE), initiative nouvelle et importante pour amener les étudiants du monde entier à faire des mesures, à les soumettre à un centre de traitement et à analyser les résultats collectifs. Les scientifiques pourront utiliser les résultats dans leurs recherches sur l'environnement. La NOAA et la NASA ont pris la tête de cet effort auquel se sont ralliés le NSF, l'EPA, le Département d'Etat et d'autres organismes. Les organismes de l'USGCRP ont pu cette année améliorer la coordination de l'éducation et sa portée, y compris mettre au point des aides didactiques destinées aux enseignants, fournir des bourses d'étude pour la recherche sur l'environnement et améliorer l'enseignement scientifique au niveau national.

Parrainée par la NASA, l'analyse des données provenant de Landsat-4 et -5 pour 1978 et 1988 a montré que la déboisement du bassin amazonien au Brésil était inférieur à certaines estimations antérieures. Par contre, le sectionnement de la forêt tropicale humide et les effets marginaux au périmètre de ces sections étaient supérieurs à ce qu'on avait pensé, et pouvaient augmenter la menace d'extinction de certaines espèces. Les forêts tropicales abritent près de la moitié de toutes les espèces végétales et animales de la Terre. Les chercheurs ont conclu que, si

la surface déboisée avait presque triplé en 10 ans, la surface déboisée totale était moindre que ne l'avaient annoncé beaucoup d'études. Travaillant en coopération étroite avec des chercheurs du Brésil, les auteurs de l'étude ont homologué l'utilisation des données de Landsat pour l'estimation du déboisement de l'Amazonie, question précédemment très controversée. D'autres chercheurs ont aussi démontré l'efficacité de Landsat en combinant son imagerie avec la technologie du Système d'information géographique (SIG) pour identifier les types et l'emplacement des éléments du paysage associés au risque de la maladie de Lyme dans le comté de Westchester, New York. En outre, l'analyse de données provenant de Landsat, d'explorateurs aéroportés et basés au sol a continué d'être utilisée dans la lutte contre les dommages infligés par les ravageurs aux vignobles californiens qui se montent à 10 milliards par an. Environ 65 % des vignobles des comtés de Napa et de Sonoma sont plantés en un cépage vulnérable à une nouvelle variété de phylloxera, un aphidien qui tue les plants en suçant le suc des racines. L'analyse spatiale et spectrale des analyseurs de Landsat permet de détecter les dommages avant que les vigneron ne les constatent.

Dans un ordre d'idée voisin, le Centre de données EROS de l'USGS est le Centre d'archivage et de distribution actif (DAAC) pour les données concernant les processus terrestres qu'il faut réunir et distribuer à l'appui du système d'observation de la Terre (EOS). Au nombre de ses fonctions figurent le stockage, la gestion et la distribution des données provenant du spectromètre imageur à moyenne résolution et du radiomètre perfectionné à émission et réflexion thermiques, qui seront embarqués sur la première station d'EOS en 1998, et de Landsat-7. Le Centre de données EROS prévoyait aussi d'archiver et de distribuer d'autres séries de données en passant par son DAAC, y compris des données provenant du radiomètre perfectionné à très haute résolution (AVHRR) embarqué sur les satellites en orbite polaire de la NOAA, des données numériques d'analyseurs à balayage, des données numériques topographiques et des données auxiliaires associées. La composante DAAC du Centre de données EROS du système de données et d'information d'EOS (EOSDIS) Version zéro, est devenue opérationnelle l'année budgétaire 1994, donnant aux utilisateurs accès aux réseaux électroniques, aux catalogues compatibles et aux moyens de distribution de données du Centre de données EROS et d'autres DAAC. Le centre s'est employé à transférer les données de Landsat de médias magnétiques qui vieillissent à de nouvelles cassettes afin de les conserver en vue d'un usage ultérieur. Il a achevé la conversion de 352 000 vues transmises par l'analyseur multispectral Landsat depuis 1979 et en outre d'environ 30 % des données du cartographe thématique Landsat.

Le Centre national de données géophysiques (NGDC) de la NOAA a un centre de traitement, d'archivage et de diffusion de données transmises par le Programme de satellites météorologiques de la défense qui est devenu pleinement opérationnel au cours de l'exercice budgétaire, traitant les données dans les 48 heures suivant leur collecte par l'Air Force et fournissant systématiquement sur Internet des images à consultation rapide. Des utilisateurs beaucoup plus nombreux que l'année précédente avaient aussi accès aux données géophysiques du NGDC disponibles sur Internet. Tout au long de l'année, des employés du NGDC ont tenu dans plus de 30 classes différentes d'écoles locales des réunions sur des sujets tels que les tremblements de terre, les volcans et le géomagnétisme.

La gestion de l'information est l'un des principaux éléments du programme de changement climatique et mondial de la NOAA. Elle fournit à la communauté scientifique les données et l'information nécessaires pour évaluer la variabilité de l'environnement mondial, distinguer entre changement naturel et changement dû à l'homme, et effectuer les évaluations intégrées des changements climatiques et de leur impact sur la société. Le programme porte essentiellement sur le développement de la base de données (préservation, conversion numérique et constitution de séries de données prioritaires); l'accès aux données et la gestion des archives qui fournit les moyens de mettre les séries de données à la disposition des scientifiques; et Pathfinder qui établit des algorithmes acceptés par la communauté pour le retraitement et la diffusion d'énormes séries de données à l'échelle mondiale. Au cours de l'année budgétaire 1994, le programme a appuyé des chercheurs travaillant pour leur gouvernement ou pour une université dans le cadre de 31 projets.

Dans le cadre du Landsat Pathfinder program, l'USGS a produit des séries de données par analyseur multispectral standardisé remontant à trois périodes (1973, 1986 et 1992) pour appuyer le programme de caractérisation des paysages d'Amérique du Nord de l'EPA. Au cours de l'année budgétaire 1994, il a produit environ 400 vues sur un total de 4 000 pour des parties des Etats-Unis, du Mexique et de l'Amérique centrale. L'USGS a en outre coopéré avec la NASA et les universités du New Hampshire et du Maryland à la production de séries de données Landsat en trois séries chronologiques semblables pour le projet d'inventaire de la forêt tropicale

humide qui porte sur les régions de forêt tropicale du bassin de l'Amazonie, de l'Afrique centrale et de l'Asie du Sud-Est. Ces séries de données serviront à suivre les changements de la couverture végétale de ces régions au cours des 20 années qui se sont écoulées depuis le début du programme Landsat. Dans un projet distinct utilisant des données satellites à définition moins haute, l'USGS collabore depuis 1992 avec la NASA, la NOAA, l'ASE et plus de 31 stations étrangères de réception au sol à la réunion de données AVHRR (définition 1 km) à chaque survol du satellite à orbite polaire NOAA qui se produit l'après-midi. Le projet avait réuni plus de 93 000 vues AVHRR à la fin de l'année budgétaire. Ces vues étaient utilisées pour établir une carte mondiale du couvert végétal et suivre périodiquement l'état de la végétation (verdure) tout au long de l'année. La production systématique de données composites en l'absence de nuages en vue d'établir un indice de la végétation pour l'ensemble des terres de la planète était également en cours à la fin de l'année. L'USGS coopérait avec l'EPA, la NOAA et le United States Fish and Wildlife Service à l'établissement d'une base de données mondiales multi-échelle sur les caractéristiques de l'environnement et de mécanismes permettant d'identifier, de suivre et d'évaluer les changements. Le système de suivi des caractéristiques de la Terre multidéfinition qui en résultera sera essentiel pour comprendre la dynamique de la Terre en tant que système.

Par une directive de l'OSTP, une équipe d'évaluation et de stratégie scientifique interinstitutions et interdisciplinaire s'est constituée pour fournir des avis scientifiques aux fonctionnaires fédéraux ayant à prendre des décisions sur la remise en état et l'aménagement des bassins fluviaux après les graves inondations des bassins du Haut Mississippi et du Missouri en 1993. L'équipe réunissait des spécialistes de l'USGS, de l'United States Fish and Wildlife Service, de la National Biological Survey, du Soil Conservation Service, du Corps d'ingénieurs de l'armée des Etats-Unis, de l'EPA et de la Federal Emergency Management Agency. Travaillant à l'EROS Data Center, l'équipe a produit de nombreuses cartes et analyses ainsi qu'un important système d'information écologique pour les deux bassins en utilisant des données de télédétection, des données cartographiques et environnementales. Cela inclut une grande variété de données disponibles sur Internet. Le rapport préliminaire de l'équipe appuie les données et l'analyse fournies au Comité interinstitutions d'étude de la gestion des plaines d'inondation, chargé de proposer des recommandations à l'administration.

Dans d'autres activités du département de l'intérieur, le Bureau de la mise en valeur utilisait la télédétection et le système d'information géographique (SIG) à l'appui de la gestion des ressources en eau. Au cours de l'année budgétaire 1994, il a utilisé les photographies aériennes et les données multispectrales fournies par la cartographie thématique Landsat et le satellite pour l'observation de la Terre (SPOT) pour établir la carte des terres irriguées, de la végétation riveraine et des plans d'eau dans un certain nombre de régions de la partie occidentale des Etats-Unis. Il a utilisé ces cartes et d'autres données spatiales dans un SIG comportant des modèles environnementaux pour estimer l'évapotranspiration de l'eau. L'imagerie obtenue par analyseur infrarouge vidéo et thermique a servi à établir la carte de l'habitat fluvial des espèces de poissons menacées d'extinction dans le bassin hydrographique du Colorado, ce qui permet aux gestionnaires de lâcher l'eau des réservoirs de manière à maximiser la survie des espèces en cause.

Le Bureau des affaires indiennes a poursuivi les inventaires de ressources naturelles, les projets de cartographie de la couverture et les services de formation du GPS à l'appui de son programme d'information intégré sur les ressources indiennes. Les analystes ont utilisé les données de télémétrie Landsat pour classer l'utilisation des terres sur plusieurs réserves indiennes en vue d'applications à la gestion des forêts et de la faune et de la flore sauvages. Le Bureau a poursuivi les inventaires du couvert végétal dans les réserves du Nouveau-Mexique et de l'Arizona en mettant l'accent sur l'établissement de modèles du taux de combustion potentielle de différents types de végétations en cas d'incendie. Les données panchromatiques de TM et de SPOT de Landsat ont permis au Bureau d'établir des cartes pour trois réserves, tandis que la formation du GPS appuyait les programmes d'inventaire des ressources.

Le Bureau d'aménagement des terres a utilisé des données de télédétection et le GPS pour suivre l'état des terres publiques et l'efficacité des pratiques d'aménagement basées sur l'écosystème. Les données de Landsat, de SPOT et du satellite AVHRR complétées par les photographies aériennes ont appuyé la gestion des ressources minérales sur la base de l'écosystème; la planification de l'utilisation des terres; la cartographie des combustibles; la caractérisation de l'habitat de la faune et de la flore sauvages; le repérage des matières dangereuses et

l'appréciation de leurs effets dans un certain nombre de sites répartis sur tout le territoire des Etats-Unis. La technologie SIG et GPS a appuyé une bonne partie de ces analyses.

L'enquête biologique nationale, qui remonte maintenant à une année, a poursuivi toutes sortes de projets de télédétection transférés d'autres bureaux du Ministère de l'intérieur. C'est le cas du Gap Analysis Program, exécuté à l'échelle des Etats et du pays pour identifier les secteurs qui ne sont pas encore protégés ni gérés de manière à maintenir la diversité biologique, qui a été transféré du Fish and Wildlife Service. Le programme utilise la cartographie de la végétation naturelle obtenue par TM de Landsat et d'autres données faisant appel à un système de classification de la végétation à l'échelle nationale. Les méthodes de cartographie standardisée et la disposition des données permettent de réunir les informations au niveau des Etats aux fins de comparaison au niveau régional et au niveau national. A la fin de l'année, des projets étaient en cours dans 36 Etats et ceux du Nevada et de Washington s'achevaient. Moyennant un financement adéquat, des séries complètes de données nationales seront disponibles pour 1999.

Le Service des parcs nationaux a mis en route durant l'année budgétaire 1994 un programme complet portant sur plusieurs années pour établir la carte de la végétation dans 235 unités du Système de parcs nationaux à l'exclusion de l'Alaska. Le programme fournira des données numériques de référence cohérentes sur la composition et la distribution de la végétation à l'appui du programme d'inventaire et de suivi du Service des parcs nationaux. Le relevé cartographique sera effectué par interprétation des photographies aériennes en couleurs naturelles et en infrarouge d'échelle moyenne (1/20 000) utilisant un système de classification standard à l'échelle du pays. L'Enquête biologique nationale se poursuit en liaison étroite avec le Service des parcs dans le but de planifier et de diriger le projet en commençant par des études pilotes dans le contexte de différents parcs.

Avec le transfert d'activités de recherche à l'Enquête biologique nationale effectuée l'année budgétaire 1994, le United States Fish and Wildlife Service a commencé de mettre l'accent sur l'utilisation de la cartographie informatisée, de photographies aériennes, ainsi que de données Landsat et SPOT pour les opérations au jour le jour, en particulier la gestion de l'habitat de la faune et de la flore sauvages dans la perspective de l'écosystème. Il a utilisé les données télémétriques et la technologie du SIG pour évaluer les effets des changements de l'habitat sur les oiseaux migrateurs, évaluer les menaces des substances polluantes pour les ressources biologiques comme les espèces menacées d'extinction et identifier les terres les plus précieuses en vue d'en faire de nouveaux sanctuaires, comme la vallée de Canaan, en Virginie occidentale. Le Service a également pris la tête de travaux exécutés par le Comité fédéral des données géographiques pour établir des normes nationales de cartographie des terres humides et a participé à une tentative analogue de définition d'une norme pour la cartographie de la végétation de plateau. Ces activités réduiront les coûts de réunion de données par télédétection et amélioreront l'homogénéité des cartes de ressources établies.

Le United States Bureau of Mines a orienté ses recherches par télédétection vers les applications concernant les régions minières abandonnées. Cette technologie novatrice cherchera à identifier et à caractériser les propriétés minéralogiques des matières résiduelles ainsi que les possibilités d'exhaure acide et de présence de métaux lourds sur ces emplacements. Les applications utilisent les images du satellite de TM Landsat et les données obtenues par analyseur multispectre aéroporté et ont été testées sur le terrain dans le Cripple Creek Mining District, Colorado central. Lorsqu'elle aura été menée à bien, cette recherche fournira une méthode rapide d'inventaire et de caractérisation initiale du matériau résiduel de mines autres que les mines de charbon, et mettra les organismes d'aménagement mieux en mesure de s'employer à restaurer ces sites.

Au Département de l'agriculture (USDA), le programme de télédétection du Foreign Agricultural Service (FAS) est resté une pièce maîtresse de l'analyse de la production, de l'offre et de la demande agricoles intérieures et étrangères - fournissant promptement des estimations exactes et non biaisées de la superficie, du rendement et de la production. L'imagerie satellite, des modèles de culture et des données météorologiques obtenues par téléobservation ont appuyé les évaluations des besoins de produits alimentaires dans les Etats de l'ex-Union soviétique, notamment l'Ukraine touchée par la sécheresse. Le FAS a également établi des analyses détaillées du bilan de la mousson d'été en Inde, des dégâts infligés par le gel à la récolte de café au Brésil et de la sécheresse dans les régions de culture du blé dans l'est de l'Australie. L'annonce précoce grâce aux données fournies par satellite de conditions de culture exceptionnelles a permis de corriger les prix sur les marchés de matières premières et a aidé

à maximiser le rapport pour les agriculteurs des Etats-Unis. De plus, le FAS a utilisé l'imagerie satellite pour suivre les zones de production agricole à usage intérieur et appuyer le travail accompli par l'Agricultural Stabilization and Conservation Service (devenu le Farm Service Agency en octobre 1994).

Le National Agricultural Statistics Service (NASS) a utilisé les données obtenues par télédétection pour établir des échantillons (en utilisant de petits secteurs pris en échantillons pour aider à évaluer les cultures et les superficies) et la cartographie du couvert végétal par culture, estimer directement les superficies cultivées, et évaluer l'état des récoltes. Pour les trois premiers secteurs, les résultats ont été principalement obtenus par TM Landsat-5 et par l'analyseur multispectre SPOT. Pour l'évaluation de l'état des cultures, on a utilisé les données du satellite NOAA-11. En 1994, le NASS a achevé un cadre sectoriel pour la Californie afin de mener les enquêtes de 1994 et des cadres pour New York et la Caroline du Sud aux fins des études de 1995. Entre autres activités, le NASS a amélioré la carte de l'indice de végétation pour la campagne 1994 sur la base des données fournies par AVHRR NOAA-11 qui ont été distribuées aux bureaux du NASS ainsi qu'aux décideurs publics de l'USDA. A l'automne 1993, le NASS a conclu un accord de coopération avec le Conseil agricole intertribal pour réunir des données à l'échelle pilote sur la production des exploitants agricoles indigènes. Il en est résulté notamment une carte du couvert végétal décomposé par cultures des réserves Crow et Cheyenne du Nord dans le Montana, qui a été distribuée en septembre 1994. Le projet de télédétection en Arizona représente une autre application des données des satellites. Il a procédé par régression des données de TM fournies par Landsat mises en ordinateur en fonction des informations au sol pour obtenir des estimations avec une erreur d'échantillonnage réduite pour les superficies de riz, de coton et de soja. Les données obtenues ont fourni pour la campagne 1993 des estimations des superficies sous une forme tabulaire et aussi avec adjonction d'une carte thématique en couleurs. Durant la campagne 1994, le NASS a continué de produire des cartes bimensuelles de l'indice de végétation en utilisant les données de l'AVHRR du satellite NOAA-11. Il a distribué les cartes aux décideurs de l'USDA et à différents bureaux de statistiques du NASS pour faciliter les évaluations de l'état des récoltes. En 1994, le NASS a apporté plusieurs améliorations aux cartes, permettant par exemple la comparaison de la valeur actuelle à un méridien remontant à plusieurs années. Cependant, en raison du vieillissement du satellite NOAA-11 sur lequel un AVHRR a cessé de fonctionner en septembre, et d'une campagne agricole relativement facile, les cartes de 1994 ont donné moins d'informations que celles de 1993 qui rendaient compte des inondations dans le Midwest et de la sécheresse dans le Sud-Est.

Le Service de recherche agricole a utilisé la télédétection et les technologies du système d'information géographique (SIG) pour fournir des informations sur l'ampleur et la dynamique spatiale de l'euphorbe, mauvaise herbe très envahissante dans le Roosevelt National Park, ND; ceci représente une application entre bien d'autres. Néanmoins, les résultats ont permis d'établir un plan de lutte contre l'euphorbe dans le parc et ont permis d'entrevoir des applications des technologies spatiales intégrées pour la gestion des ressources naturelles. D'autres utilisations de la téléimagerie associée aux données obtenues au sol pourraient être citées : cartes de la salinité du sol, de la biomasse, de la gestion des cultures, et des rendements. Ainsi un programme de coopération a été mis en route pour étudier les champs de coton commercial dans la vallée de San Joaquin en Californie et mettre au point des systèmes intégrés de production maximisant le rapport économique, utilisant de manière efficiente les ressources naturelles et minimisant les effets préjudiciables à l'environnement. Les chercheurs du Service de recherche agricole ont aussi mis au point des techniques par fluorescence et un instrument prototype pour discriminer et quantifier les résidus des récoltes. La bonne gestion des résidus de récoltes minimise l'érosion du sol et améliore la qualité de l'eau. Dans le secteur de l'hydrologie, les spécialistes du Service ont, en étroite coopération avec la NASA et le Département du commerce, utilisé des données obtenues au sol et par télédétection pour mieux comprendre comment les conditions présentes dans les bassins fluviaux influencent le climat et le changement climatique. Le Service utilise aussi les signaux spatiaux pour développer des systèmes d'agriculture à haute précision permettant d'adapter le traitement (engrais, pesticides, taux de semis) d'un bout du terrain à l'autre grâce à une connaissance détaillée des lieux.

En 1994, le Service des forêts a utilisé la télédétection et les technologies associées pour aider à lutter contre les incendies dans toute la partie occidentale des Etats-Unis ainsi que pour détecter les zones à haut risque, évaluer les dommages, suivre les écosystèmes nationaux et étrangers, et administrer/gérer plus de 191 millions d'acres de terres et d'ouvrages du système forestier national. Le nombre d'incendies a atteint un chiffre record en 1994 avec plus de 66 000 feux et plus de 3,8 millions d'acres brûlés. Le Service des forêts a employé des analyseurs à balayage aéroportés, y compris Firefly développé par JPL, pour localiser et déterminer la vitesse et la direction des incendies. Tout au long de l'année, le Service des forêts a utilisé des techniques de télédétection telles que l'imagerie de AVHRR

embarqué sur satellites NOAA pour prendre des mesures d'alarme rapide. Une fois que les incendies avaient commencé, le Service intensifiait l'utilisation de l'imagerie par avion. Lorsqu'ils étaient éteints, il recourait à l'imagerie par satellite pour localiser et évaluer les modifications de paysage causées par les incendies. La télédétection a eu d'autres emplois encore : cartographie, classification de la végétation, restauration des écosystèmes, recherche d'émissions de gaz à effet de serre, gestion des sols, identification des habitats d'espèces sauvages menacées, appui à l'application des lois, programmes d'inventaire. Le Service des forêts a institué des partenariats avec des organisations internationales, fédérales d'Etat et privées pour l'évaluation de l'écosystème, débouchant sur une utilisation accrue des données des satellites et sur une meilleure compréhension des processus écologiques mondiaux. C'est ainsi que des échanges techniques se sont poursuivis avec la Russie, le Brésil, l'Indonésie, le Mexique, le Canada, l'Australie et le Kenya, pour ne citer que ces pays. Le Service des forêts a poursuivi la recherche et la mise au point de vidéos, de caméras numériques, de radars et de GPS aéroportés qui ont de nombreuses applications pour la gestion des écosystèmes. L'intégration de données de télédétection au SIG s'est avérée payante pour appuyer les décisions en matière de gestion des sols.

Le Service de conservation des sols (devenu Service de conservation des ressources naturelles ou NRCS en octobre 1994) a adopté l'orthophotographie numérique qui constitue le cadre commun de la collecte et de la gestion des bases de données géospatiales sur les ressources naturelles. Le Service a coopéré avec d'autres organismes fédéraux et d'Etat pour se doter de la photographie aérienne et de l'orthophotographie numérique. En outre, le Service et d'autres organismes de l'USDA sont convenus avec le Département de la défense d'acheter des unités de GPS pour rassembler des références géographiques en vue de l'introduction des données sur les ressources naturelles dans un SIG.

L'Agence de protection de l'environnement des Etats-Unis, essentiellement par le biais de son Laboratoire de systèmes de suivi de l'environnement de Las Vegas, Nevada (EMSL-LV), et avec l'aide de son Laboratoire de recherche atmosphérique et d'évaluation des expositions du Research Triangle Park, NC, a systématiquement conduit des recherches et fourni un appui technique à l'aide de la télédétection dans le cadre de son programme global de surveillance de l'environnement. L'Agence a utilisé sur une grande échelle la photographie aérienne pour collecter des données de caractérisation des sites au cours des mesures correctrices prises au titre du Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act (CERCLA), ainsi que pour appuyer le choix des sites et la surveillance des dépôts de déchets dangereux régis par le Resource Conservation and Recovery Act (RCRA). Elle a développé et utilisé des systèmes de télédétection pour appuyer les dispositions du Clean Water Act. Au cours de l'année budgétaire 1994, le EMSL-LV a achevé environ 150 projets de caractérisation de sites par photographie aérienne sous CERCLA et RCRA et l'imagerie par satellite a joué son rôle pour faciliter aux ingénieurs la caractérisation détaillée des sites. Au cours de la même année, la photographie aérienne et les données des satellites ont également appuyé toutes sortes d'études concernant la pollution, le changement mondial, la prévention de la pollution, la conformité aux lois et le suivi d'autres écosystèmes, comme les habitats en danger de la faune et de la flore sauvages. A l'appui des activités associées à l'identification des impacts et des risques résultant des graves inondations du Mississippi et de ses affluents pour l'année budgétaire 1993, le Centre d'interprétation des photographies de l'environnement de l'EPA (EPIC-branche d'EMSL-LV) a analysé les photographies aériennes obtenues avec l'aide du corps d'ingénieurs de l'armée pour une étude d'impact des inondations sur les installations industrielles et agricoles aux fins d'évaluation des mouvements de déchets dangereux et toxiques et de leur confinement. Une analyse supplémentaire des photographies aériennes pré et postinondation effectuée par l'EPIC l'année budgétaire 1994 a permis d'identifier et de localiser les changements survenus sur des sites de dépôt de déchets connus touchés par les inondations.

M. Etudes atmosphériques

Les activités de suivi de l'appauvrissement de la couche d'ozone menées par la NASA et la NOAA ont continué de montrer les effets de l'éruption du Mont Pinatubo en juin 1991. Des données recueillies à l'aide d'instruments de la NASA tels que le spectromètre d'établissement d'un bilan complet de l'ozone sur le satellite russe Meteor-3 (lancé en 1991) et d'instruments de la NOAA placés à bord de ballons et du satellite NOAA-9 ont permis aux scientifiques d'étudier au niveau de la planète les effets de refroidissement et de perte d'ozone résultant de l'éruption. Il s'agit là des premières mesures précises directes des changements à grande échelle du bilan radiatif de la Terre provoqués par une éruption volcanique. L'ozone, qui est une molécule faite de trois atomes d'oxygène,

forme une fine couche atmosphérique qui absorbe les rayonnements ultraviolets nocifs du Soleil. L'expression "trou d'ozone" recouvre une vaste zone de raréfaction intense de l'ozone qui est observée au-dessus de l'Antarctique de la fin du mois d'août au début du mois d'octobre et disparaît normalement fin novembre. Les scientifiques ont découvert que les substances chlorées dues aux activités de l'homme, telles que la fabrication d'appareils électroniques, la climatisation et la réfrigération, jouent un rôle primordial dans la formation du trou d'ozone. En 1994, la concentration de l'ozone dans l'Antarctique était presque aussi faible qu'en octobre 1993, où elle était tombée à un niveau exceptionnellement bas. La légère amélioration de 1994 est probablement attribuable à une diminution des particules d'acide sulfurique provenant de l'éruption du Mont Pinatubo. Le Bureau des programmes polaires de la Fondation nationale des sciences (NSF) a continué pendant l'année à financer des recherches sur la cause et les effets du trou d'ozone de l'Antarctique dans trois stations permanentes au moyen de ballons pour les mesures *in situ* et d'instruments de télédétection. Un effort tout particulier a été fait à la fin de l'hiver austral et au début du printemps de 1994 pour réaliser des missions aériennes utilisant des avions ER-2 de Christchurch (Nouvelle-Zélande) parrainés par la NASA, afin d'étudier la concentration de l'ozone. La sonde hyperfréquence du limbe (MLS) embarquée sur le satellite de recherche sur la haute atmosphère (UARS, lancé en 1991) a continué pendant ce temps à effectuer des mesures sans précédent des concentrations mondiales de monoxyde de chlore, observant les relations dans l'espace du monoxyde de chlore, de l'ozone, de la température et d'autres variables atmosphériques. Ces mesures ont fourni la première image globale de la forme réactive du chlore qui détruit l'ozone. Les réglementations permettront d'éliminer progressivement la production de chlorofluorocarbones mais l'élimination du chlore de la stratosphère est un processus très long (qui prend des dizaines, voire des centaines d'années) et le chlore stratosphérique continuera d'augmenter pendant au moins quelques années, le temps que le chlore déjà libéré dans la basse atmosphère atteigne la stratosphère. La sonde MLS est le seul dispositif de surveillance mondiale de ce processus durant la période critique où le chlore présent dans la stratosphère atteint des niveaux records.

L'une des principales activités menées en 1994 dans le cadre du Programme de recherche sur la haute atmosphère (UARP) a été la campagne ayant pour objet d'effectuer des expériences/mesures aériennes concernant l'ozone dans l'hémisphère Sud pour évaluer les effets des avions stratosphériques. Le but de cette initiative dans le Pacifique était d'obtenir des mesures *in situ* des gaz en traces atmosphériques liés à l'ozone stratosphérique. L'analyse complète de ces données, étayée de calculs modèles, permettra d'améliorer la compréhension de la chimie et des processus des latitudes moyennes. Des scientifiques de la NASA et de la NOAA ont contribué à l'établissement d'une évaluation de l'appauvrissement de la couche d'ozone en 1994, récemment achevée sous les auspices de l'Organisation météorologique mondiale et du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Ce rapport publié à intervalles réguliers fournit le point de départ scientifique des décisions de politique générale prises par les parties au Protocole de Montréal (accord international limitant l'utilisation et la production des chlorofluorocarbones) et à ses amendements. Les mesures de l'ozone de la NASA sont réalisées dans le cadre du programme MTPE qui comprend diverses activités : mesures réalisées au moyen d'instruments embarqués sur un engin spatial autonome et sur la navette spatiale; observations aériennes, *in situ* et au sol; système complet de données et d'informations qui traite et diffuse les résultats; enfin, activités de modélisation qui permettent de mieux comprendre et de prévoir le fonctionnement et l'évolution du système planétaire et de distinguer les effets du changement climatique naturels et dûs à l'homme. La première phase du programme MTPE prévoit la réalisation par la NASA et d'autres partenaires de plus de deux douzaines de missions jusqu'en 1998. Les données qui en découleront et les autres activités de recherche sur le changement climatique menées au plan international permettront aux décideurs de formuler des politiques prudentes concernant l'avenir de l'environnement mondial.

La deuxième phase du programme MTPE est le programme EOS, réalisé grâce à une série d'engins spatiaux sur lesquels seront embarqués divers instruments sophistiqués pour réaliser les mesures les plus complètes qui aient jamais été faites des éléments interdépendants de l'environnement mondial. Le programme de la NASA fait partie du Système international d'observation de la Terre dans le cadre duquel des satellites et instruments des Etats-Unis, de l'Europe, du Japon et du Canada sont étroitement coordonnés pour fournir des données complémentaires sur différents aspects de l'environnement de la planète. Pour appuyer le programme GOES de la NOAA, la NASA a participé au lancement du satellite GOES-8 réalisé avec succès en avril 1994. Le satellite GOES-8 et les satellites GOES suivants (J-M) sont les premières plates-formes d'observation de la dynamique météorologique et de l'environnement proche de la Terre pour les années 90 et au-delà. Au milieu de 1994, le programme EOS a été reformulé en fonction des réductions budgétaires prévues jusqu'en l'an 2000. Les objectifs de la NASA étaient de préserver l'intégrité scientifique de l'EOS en tant que programme sur le changement mondial et de maintenir le

calendrier de lancement prévu pour les principales missions. Les ajustements apportés ont consisté à faire davantage appel aux partenaires tant nationaux qu'étrangers et à reporter certaines activités de traitement des données et de mesures. Par contre, des activités scientifiques hautement prioritaires ont été ajoutées au programme ou avancées, telles que la mise en place d'un instrument additionnel d'étude des aérosols et gaz stratosphériques (SAGE) en l'an 2000 et l'incorporation d'un instrument de type Landsat sur l'engin spatial EOS AM-2 (AM indiquant que l'engin traverse l'équateur le matin). En septembre, la NASA a sollicité des propositions portant sur une plate-forme banalisée pour plusieurs des vols EOS suivants, la sélection devant avoir lieu en 1995. Dans l'intervalle, les activités se poursuivent en ce qui concerne l'EOSDIS, système qui permettra d'archiver et de diffuser aux chercheurs et autres utilisateurs du monde entier les informations provenant des observations et analyses du MTPE; la NASA a modifié l'architecture prévue d'EOSDIS, afin de rendre le système plus extensible et plus accessible. En août 1994, la NASA a sorti la version O, prototype d'exploitation d'EOSDIS destiné à la communauté générale de recherche scientifique terrestre.

Les pathfinder constituent une récente application des données concernant les sciences de la Terre et d'autres domaines qui ont été expressément mis au point pour étudier l'évolution de l'environnement mondial. Leur principale fonction est de traiter, retraiter, archiver, tenir et distribuer les données existantes pour que les chercheurs puissent en tirer mieux parti. Durant l'exercice budgétaire 1994, la tâche principale du pathfinder commun NASA-NOAA a été de produire des données pour la période de référence comprise entre avril 1987 et novembre 1988, mais d'autres séries de données incluaient TOPEX/Poseidon, un CD-ROM éducatif, la première expérience régionale de climatologie des nuages par satellite et l'UARS. Grâce au pathfinder, les scientifiques de la NASA ont regroupé des données sur la végétation recueillies par NOAA-7, -9 et -11 depuis 1981 pour prévoir les risques de famines et d'infestations acridiennes en Afrique, ce qui permettra à l'Agency for International Development des Etats-Unis de localiser les régions sujettes à la sécheresse et les nuées de criquets. La NASA a aussi sollicité des propositions en vue d'élargir l'application de ses atouts scientifiques et technologiques par Internet. Un nombre significatif des propositions et marchés qui en ont découlé se fondaient sur l'utilisation d'Internet pour rendre l'information en matière d'environnement plus facilement accessible à des fins éducatives.

La NSF a aussi étudié l'évolution de l'environnement mondial. Dans le cadre du programme CEDAR (Coupling, Energetics, and Dynamics of Atmospheric Regions), des scientifiques de l'Université de Tennessee (Urbana) ont organisé une campagne intitulée ALOHA-93 (Airborne Lidar and Observations of the Hawaiian Airglow). Cette campagne, à laquelle ont participé des chercheurs de plusieurs instituts de recherche universitaires et commerciaux, avait pour objet d'étudier la source et la dynamique des ondes de gravité au-dessus du milieu du Pacifique en octobre 1993. Les ondes gravitationnelles sont une source importante de liaison énergétique et cinétique entre différentes couches de l'atmosphère allant de la troposphère à la basse thermosphère. Dans le cadre d'ALOHA-93, des données ont été recueillies par un lidar à sodium, un générateur d'images optiques et un spectromètre, lors de missions aériennes coordonnées avec des survols sélectifs de l'UARS de la NASA (lancé en 1991). La campagne a permis d'obtenir des renseignements importants sur les tempêtes océaniques et sur la génération, la propagation et le filtrage des ondes gravitationnelles dans la mésosphère et la stratosphère. Cela devrait déboucher sur une meilleure paramétrisation des ondes gravitationnelles dans les modèles de circulation mondiale. Les observations aériennes ont aussi fait apparaître une structure horizontale riche dans des couches sporadiques de sodium observée en liaison avec des augmentations sensibles de la température de la mésopause. Ces couches de métal, formées par ablation météorique, semblent être sensibles aux changements atmosphériques mondiaux liés à la modification des concentrations de dioxyde de carbone et de méthane atmosphériques. Le programme CEDAR a aussi financé l'organisation d'un concours visant à encourager la mise au point d'approches techniques novatrices, qui a débouché sur un certain nombre de projets destinés à améliorer l'instrumentation et les techniques.

La NSF a financé des études sur la contribution des variations de l'énergie produite par le Soleil et des effets anthropiques sur le changement mondial. Le programme SunRISE (Radiative Inputs of the Sun to Earth) a pour objet la mise au point et l'installation d'un télescope photométrique de précision destiné à mesurer les taches solaires, facules, et autres caractéristiques qui seraient à l'origine de variations dans la lumière solaire. Le programme prévoit aussi des mesures du diamètre solaire et une analyse des mesures historiques du phénomène de la plage (brillance, granules dans la chromosphère du Soleil), qui sont des indicateurs potentiels de changements dans le rayonnement solaire. Un deuxième domaine d'étude privilégié durant l'année qui vient de s'écouler a été la météorologie spatiale,

les conditions sur le Soleil et dans le vent solaire, la magnétosphère, l'ionosphère et la thermosphère, qui peuvent influencer de manière sensible les résultats et l'intégrité d'importants systèmes technologiques dans l'espace et au sol. La NSF a financé une étude réalisée par des scientifiques de l'Université John Hopkins qui ont utilisé des données fournies par un satellite suédois pour prévoir les courants électriques induits sur un réseau électrique à Chalk Point (Maryland); ils ont ainsi pu établir une corrélation entre les courants électriques intenses dans la ionosphère et les courants induits au sol. D'autres études des courants ionosphériques ont utilisé des réseaux de magnétomètres mis en place par des scientifiques du collège de Boston, du collège d'Augsburg et de l'Université de Michigan. Ces chercheurs utiliseront les données fournies par ces nouveaux réseaux au Canada et au Groenland pour étudier les variations dynamiques des courants ionosphériques qui sont provoquées par l'entrée de particules énergétiques du Soleil dans l'atmosphère terrestre.

Un autre problème atmosphérique et environnemental qui suscite des préoccupations depuis quelques années est le réchauffement de la planète. Dans le cadre du premier effort international et interdisciplinaire qui ait été fait pour étudier la question d'un point de vue général, 37 scientifiques de 10 pays se sont réunis au début de l'exercice budgétaire à l'occasion d'une conférence parrainée par le Département de l'énergie et la NOAA. La conférence est notamment parvenue à la conclusion que si la température moyenne de la planète a augmenté ces dernières décennies, le réchauffement n'est pas véritablement mondial et se produit surtout la nuit. Les scientifiques estiment que la hausse des températures nocturnes pourrait être le résultat combiné d'une augmentation des gaz à effet de serre et du couvert nuageux au-dessus des continents et d'un accroissement des émissions de soufre dues aux combustibles fossiles. M. James Hansen, de la NASA, a mis au point un modèle climatique qui parvient, en intégrant les trois facteurs à une simulation plus juste des variations observées des températures que les modèles précédents. Le réchauffement nocturne pourrait se traduire par un allongement de la saison végétative et une diminution des gelées mais il pourrait aussi entraîner une augmentation des infestations par les insectes, une diminution des superficies cultivables et un accroissement des taux de mortalité liée à la chaleur chez l'homme. Dans une étude concernant ce sujet, le NIST a étudié des mesures isotropiques pour la NASA afin d'identifier et de quantifier la présence de méthane troposphérique (CH_4) qui est, après le dioxyde de carbone (CO_2), la principale cause de réchauffement de la planète. Bien que la part du CH_4 présent dans la troposphère soit réduite (5 %) par rapport à celle de CO_2 , le méthane représente 12 % environ de la hausse de la température mondiale, du fait qu'il est fortement absorbé dans une partie relativement transparente de l'infrarouge. Un travail intense de mesure et de modélisation du CH_4 est mené du fait d'incertitudes importantes dans les données concernant les émissions tant anthropiques que naturelles qui sont critiques pour estimer le bilan mondial de CH_4 . Pour ce faire, la NIST a compilé une base de données des mesures isotropiques mondiales ambiantes et ponctuelles.

N. Etudes océanographiques

Le satellite TOPEX/Poseidon, parrainé conjointement par le Centre national d'études spatiales (CNES) et la NASA (lancement en août 1992) a continué de fournir des renseignements précieux en 1994. Le satellite utilise un altimètre radar qui donne des mesures précises du relief de la surface des mers. L'analyse des données montre que les variations saisonnières du niveau de la mer dans l'hémisphère Nord sont supérieures de 50 % environ à ce qu'elles sont dans l'hémisphère Sud. Cette asymétrie qui n'était pas connue auparavant indique que l'échange thermique air-mer est beaucoup plus important dans l'hémisphère Nord. Les données satellitaires ont aussi permis aux scientifiques de suivre les perturbations provoquées par les effets persistants du phénomène El Niño de 1991-93, le plus long des dernières 40 années. El Niño est un courant côtier chaud qui se déplace chaque année vers le sud, le long de la côte de l'Equateur vers la fin du mois de décembre et qui s'étend tous les 7 à 10 ans jusqu'à la côte du Pérou; il peut être à l'origine de conditions météorologiques catastrophiques dans plusieurs régions du monde, provoquant notamment de fortes pluies et des inondations ainsi que des hivers plus froids que la normale aux Etats-Unis et de graves sécheresses et tempêtes de sable en Australie. Les observations faites par Topex/Poseidon dans le Pacifique Nord ont fait apparaître une dérive vers le nord du Kuroshio, courant rapide au sud-est du Japon, qui a été attribuée au phénomène El Niño de 1982-83. Les météorologues pensent que la position du Kuroshio a une influence très forte sur le temps observé en Amérique du Nord. La NASA, le CNES et la NOAA ont tenu des discussions en 1994 sur une mission de suivi TOPEX/Poseidon (TPFO), dans laquelle la NOAA, qui est le nouveau partenaire, serait responsable des opérations au sol. La TPFO répondrait aussi bien aux besoins opérationnels qu'aux besoins de la recherche.

La NASA a aussi participé au programme international TOGA (Tropical Ocean Global Atmosphere) - COARE (Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment). Des mesures fournies grâce aux avions ER-2 et DC-8 de la NASA ont permis de beaucoup améliorer la compréhension des précipitations, de la convection, des nuages et du rayonnement, des interactions air-mer et des phénomènes océanographiques. Les résultats des activités pratiques menées en 1993 dans le cadre du programme TOGA-COARE dans les domaines de l'océanographie et des effets atmosphériques à long terme seront présentés à Melbourne (Australie) en avril 1995.

Dans l'intervalle, la Division de physique radiométrique de la NIST a continué à collaborer avec le projet SeaWIFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*) de la NASA et d'autres chercheurs. SeaWIFS, dont le lancement est prévu en 1995, doit réaliser des observations mondiales des concentrations de pigments photosynthétiques présents dans les plantes marines microscopiques qui constituent le phytoplancton. Entre autres choses, ces mesures contribueront à évaluer la part du dioxyde de carbone transférée de l'atmosphère à l'océan qui est transformée en biomasse végétale océanique. Un calibrage précis de l'instrument du SeaWIFS est indispensable pour le succès de la mission. En outre, les mesures optiques réalisées en mer pour valider le calibrage après le lancement et les différents résultats des observations satellitaires doivent être également précis. Le rôle de la NIST est de contribuer à faire en sorte que ces observations correspondent aux normes radiométriques et que le calibrage de l'instrument soit réalisé correctement. La NIST a conçu, construit et caractérisé un spectroradiomètre portable multicanaux (*SeaWIFS Transfer Radiometer ou SXR*) permettant de comparer le calibrage des instruments de terrain et de contrôler les sources-étalon dans différentes institutions. Ce dispositif a été utilisé au cours des deuxième et troisième SeaWIFS Round Robins en juin 1993 et septembre 1994. La NIST a aussi utilisé ce dispositif au cours d'une expérience réalisée par la NASA et la NOAA en février 1994 à l'installation d'appui de Marine Optical Buoy (MOBY) à Hawaii. MOBY sera utilisé pour vérifier le calibrage de SeaWIFS après le lancement et d'autres futurs instruments satellitaires d'étude de la couleur des océans qui seront lancés ultérieurement au titre du programme EOS.

Vers la fin de l'exercice budgétaire, la NOAA a annoncé l'achèvement d'une première série d'essais en vol concernant un nouveau système de cartographie de la salinité des eaux côtières. Le nouveau système - radiomètre hyperfréquence à balayage de basses fréquences - est plus petit que les anciens et peut fonctionner à partir d'un petit avion monomoteur au lieu du quadrimoteur C-130. Composé d'un radiomètre hyperfréquence, d'un radiomètre infrarouge, d'un instrument GPS pour localiser les mesures et d'un ordinateur, le nouveau système permet d'établir des cartes de salinité au rythme de 100 km² par heure. Le Service national de données et d'informations satellitaires sur l'environnement (NESDIS) de la NOAA prévoit de collaborer avec d'autres services de la NOAA et des organismes fédéraux et universités dans le cadre d'activités concernant la santé de l'écosystème côtier, l'hydrologie et les prévisions relatives au littoral lorsque les données sur la salinité sont très importantes, notamment pour les études sur la distribution des crevettes grises dans le delta du Mississippi et le golfe du Mexique.

En outre, le Bureau de collecte et de distribution des données de la NOAA/NESDIS collabore avec la NASA pour mettre au point et financer conjointement un système au sol pour faciliter la collecte en temps réel de données diffusiométriques et de données sur la couleur des océans hautement prioritaires, provenant du satellite japonais d'observation terrestre qui devrait être lancé en 1996.