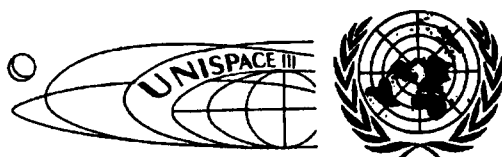


Distr.
LIMITÉE

A/CONF.184/BP/1
25 mai 1998

FRANÇAIS
Original : ANGLAIS



**TROISIÈME CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'EXPLORATION ET LES UTILISATIONS PACIFIQUES DE L'ESPACE EXTRA-ATMOSPHÉRIQUE**

LA TERRE ET SON ENVIRONNEMENT DANS L'ESPACE

Document d'information n° 1

Liste des documents d'information :

1. La Terre et son environnement dans l'espace
2. Catastrophes : prévision, alerte et atténuation des effets
3. Gestion des ressources de la Terre
4. Systèmes de navigation et de localisation par satellite
5. Communications spatiales et leurs applications
6. Sciences spatiales fondamentales, recherche sur la microgravité et leurs avantages
7. Aspects commerciaux de l'exploration spatiale, y compris les retombées bénéfiques
8. Systèmes d'information pour la recherche et les applications
9. Missions de petits satellites
10. Initiation et formation aux sciences et aux techniques spatiales
11. Retombées bénéfiques sur le plan économique et social
12. Promotion de la coopération internationale

Table des matières

	<i>Paragraphes</i>	<i>Page</i>
AVANT-PROPOS		3
RÉSUMÉ		5
I. RELATIONS ENTRE LE SOLEIL ET LA TERRE	1 - 17	6
A. Irradiation solaire totale et variations de son élément UV	1 - 5	6
B. La magnétosphère, l'ionosphère et la haute atmosphère terrestres	6 - 12	7
C. Perturbations de l'ionosphère et de la magnétosphère	13 - 17	9
II. LES EFFETS DU TEMPS SPATIAL SUR L'ENVIRONNEMENT DE LA TERRE	18 - 36	10
A. Effets sur les services à terre	18 - 23	10
B. Effets sur l'être humain et les engins spatiaux	24 - 30	11
C. Prévisions du temps spatial : situation actuelle et perspectives	31 - 36	12
III. CHANGEMENTS CLIMATIQUES MONDIAUX	37 - 46	14
IV. APPAUVRISSEMENT DE LA COUCHE D'OZONE	47 - 54	16
V. CHANGEMENTS DE L'ENCADREMENT MONDIAL DUS À LA TECHNOLOGIE	55 - 65	18
VI. PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET ALERTES AUX CATASTROPHES NATURELLES	66 - 74	20
VII. ASPECTS SOCIAUX ET ÉCONOMIQUES	75 - 80	22
VIII. PROMOTION DE LA COOPÉRATION INTERNATIONALE DANS LE DOMAINE DES SCIENCES DE LA TERRE	81 - 98	23
A. Programmes internationaux de recherche	81 - 82	23
B. Coordination des programmes et des missions de satellites opérationnels et de recherches	83 - 91	24
C. Participation des pays en développement	92 - 98	27

AVANT-PROPOS

Dans sa résolution 52/56, l'Assemblée générale a décidé que l'Office des Nations Unies à Vienne convoquerait la Troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE III), à Vienne, du 19 au 30 juillet 1999, en tant que session extraordinaire du Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique ouverte à tous les États Membres de l'Organisation des Nations Unies.

Les principaux objectifs d'UNISPACE seront les suivants :

- a) Promouvoir des moyens efficaces d'utiliser les technologies spatiales pour faciliter la solution des problèmes d'importance régionale ou mondiale;
- b) Renforcer les capacités des États Membres, et en particulier des pays en développement, d'utiliser les applications des recherches spatiales à des fins de développement économique et culturel.

Les autres objectifs d'UNISPACE III seront les suivants :

- a) Donner aux pays en développement des occasions de définir leurs besoins en ce qui concerne les applications spatiales à des fins de développement;
- b) Étudier les moyens d'accélérer l'utilisation des applications spatiales par les États Membres afin de promouvoir un développement durable;
- c) Régler les différents problèmes liés à l'éducation, à la formation et à l'assistance technique en matière de sciences et de techniques spatiales;
- d) Fournir une occasion de procéder à une évaluation technique des activités spatiales et de susciter une prise de conscience accrue, parmi le grand public, des bienfaits de la technologie spatiale;
- e) Resserrer la coopération internationale en ce qui concerne le développement et l'utilisation des technologies et des applications spatiales.

Dans le cadre des activités préparatoires d'UNISPACE III, le Bureau des affaires spatiales du Secrétariat a préparé à l'intention des États Membres participant à la Conférence ainsi qu'aux réunions préparatoires régionales un certain nombre de documents d'information concernant le dernier état et les tendances des utilisations des technologies spatiales. Ces documents ont été élaborés avec le concours d'organisations internationales, d'agences spatiales et d'experts du monde entier. Il a été publié une série de 12 documents d'information qui se complètent les uns les autres et qui doivent être lus ensemble.

Les États Membres, les organisations internationales et les industries spatiales qui ont l'intention de se faire représenter à UNISPACE III auront intérêt à étudier le contenu du présent document, particulièrement pour décider de la composition de leurs délégations et pour préparer leurs contributions aux travaux de la Conférence.

Pour l'élaboration du présent document d'information, il a été reçu des contributions des organisations ci-après : Centre national d'études spatiales, France; Département de physique de l'Université Obafemi Awolowo, Nigéria; Agence spatiale européenne, siège de Paris; Indian Space Research Organization, Inde; Institut d'astrophysique théorique de l'Université d'Oslo, Norvège; Institut national d'aéronautique et d'études spatiales, Indonésie; National Aeronautics and Space Administration (NASA), États-Unis d'Amérique; Agence

nationale pour le développement des techniques spatiales, Japon; Sous-Commission de la physique solaire du Comité de la recherche spatiale (COSPAR); et Organisation météorologique mondiale.

Les auteurs tiennent à remercier particulièrement le concours de M. M.J. Rycroft, de l'Université internationale de l'espace de Strasbourg (France) et de l'Université de Cambridge (Royaume-Uni) qui a procédé à l'édition technique des documents d'information 1 à 10.

RÉSUMÉ

Le présent document d'information, intitulé "La Terre et son environnement dans l'espace", passe en revue l'état des connaissances scientifiques de la Terre et de son environnement, y compris de l'influence de l'activité solaire sur la magnétosphère, l'ionosphère et la haute, moyenne et basse atmosphère, les changements climatiques, l'appauvrissement de la couche d'ozone et la pollution atmosphérique sous l'effet de facteurs naturels et anthropiques. Il contient également une analyse de l'état de la coopération internationale en matière de sciences environnementales aux échelons mondial, régional et local ainsi que de la participation des pays en développement.

Au XXI^e siècle, la planète Terre risque d'être exposée à des changements climatiques rapides, comme réchauffement de l'atmosphère, augmentation du niveau moyen de la mer, déboisement, désertification et dégradation des sols, appauvrissement de la couche d'ozone, pluies acides et réduction de la biodiversité. Ces changements auront un impact très profond sur tous les pays, mais nombre d'importantes questions scientifiques demeurent sans réponse. Les recherches scientifiques montrent que la Terre a changé avec le temps et continue de changer. L'activité de l'homme a altéré la situation de la planète en reconfigurant le paysage, en modifiant la composition de l'atmosphère terrestre et en soumettant la biosphère à d'innombrables pressions. Tout porte à croire que l'intervention de l'homme accélère les changements naturels. Dans sa recherche d'une meilleure qualité de vie, l'humanité est devenue un moteur du changement sur la planète en exploitant, refaçonnant et modifiant la nature de manières souvent involontaires et imprévisibles.

De plus, nombre d'incertitudes entourent les modèles climatiques, et c'est ainsi, par exemple, que les effets des nuages et des aérosols sur le climat et le rôle des océans dans les changements climatiques sont encore mal compris. Ainsi, l'observation de ces paramètres à partir de l'espace de même que la surveillance des gaz qui causent l'effet de serre revêtent la plus haute importance. L'appauvrissement de la couche d'ozone dans la stratosphère est aujourd'hui un phénomène qui se manifeste dans le monde entier sauf sous les tropiques, sa manifestation la plus évidente étant le trou apparu au-dessus de l'Antarctique. Les observations par satellite ont apporté la preuve de leur utilité pour surveiller l'évolution de la couche d'ozone dans le monde entier et pour observer la répartition dans la stratosphère des gaz rares qui interviennent dans la chimie de l'ozone. Toutefois, les mesures des profils de la couche d'ozone à différentes altitudes devraient être améliorées en termes de précision, de fréquence et de résolution horizontale.

Les changements climatiques sont imputables en partie aux variations de l'irradiation solaire, et les variations des rayons ultraviolets émis par le soleil affectent les réactions photochimiques dans la haute atmosphère. Afin de déterminer quelle est l'influence du Soleil sur la Terre, il est essentiel de surveiller l'irradiation solaire totale et spectrale, les éjections de masse à la couronne solaire et d'autres aspects des fluctuations de l'activité solaire, du vent solaire et des émissions de particules, ainsi que la structure et la dynamique de la basse, moyenne et haute atmosphère. Afin de comprendre le comportement des différentes interactions entre le Soleil et la Terre, la magnétosphère, l'ionosphère et la haute atmosphère doivent être considérées comme un système complexe.

Les observations qui sont nécessaires pour mieux comprendre le système terrestre et ainsi fournir des services de meilleure qualité sont extrêmement diverses et font intervenir un grand nombre de techniques de mesure et de systèmes de traitement de données différents. Les satellites placés sur différentes orbites constituent des plates-formes d'observation d'une importance capitale pour une surveillance complète du système terrestre. Les données recueillies dans l'espace sont volumineuses, et des efforts particuliers doivent être déployés pour mettre en place un système international permettant de les traiter comme il convient, de les archiver et de les diffuser librement.

Les instruments se trouvant à bord des satellites offrent un moyen précieux de procéder à des observations et de suivre des processus à l'échelle mondiale. En fait, ces instruments sont le seul moyen d'étudier plusieurs paramètres critiques. En outre, ils recueillent les informations nécessaires pour établir un modèle du système terrestre et faire des prévisions d'évaluations à court et à long terme pouvant avoir un impact sur la situation économique et sociale. Toutefois, des systèmes d'observation terrestre sont nécessaires aussi pour compléter les systèmes spatiaux. Afin d'harmoniser tous les efforts déployés au plan international dans le domaine de la surveillance de l'environnement, il est indispensable d'établir un système mondial intégré d'observation et de surveillance.

De plus, il est techniquement nécessaire de mettre en place dans les pays en développement une infrastructure appropriée pour qu'ils puissent appliquer les résultats des analyses des observations actuelles et futures, des recherches et des travaux de modélisation (y compris de prédiction) pour mieux gérer leurs ressources et prendre des décisions informées en matière d'environnement et d'activités socio-économiques. Certaines des connaissances acquises peuvent être utilisées directement pour atténuer l'impact de risques naturels, par exemple pour surveiller et contenir de grands incendies de forêt, des inondations ou des sécheresses. À terme, ces connaissances déboucheront sur des prévisions météorologiques et des prédictions climatiques plus fiables. Ce n'est qu'en suivant systématiquement des données synoptiques et en procédant à des observations et à des recherches que des scientifiques peuvent approfondir leurs connaissances de l'environnement mondial et de ses variations de sorte que l'humanité puisse mieux s'adapter aux changements naturels et minimiser ceux qu'entraîne la technologie.

Il va sans dire qu'il faut améliorer les connaissances scientifiques, les observations et la recherche si l'on veut que les pouvoirs publics puissent, formellement ou non, formuler en pleine connaissance de cause des politiques visant à résoudre des problèmes environnementaux qui ont d'innombrables conséquences sur la gestion des ressources, la vie sociale, la santé et le développement économique. Ces questions sont tout aussi importantes aux échelons national, intergouvernemental ou international. Aucun pays ou région ne peut à lui seul prendre à sa charge le coût ou la responsabilité de mettre en oeuvre des programmes et des projets d'observation, de recherche et de développement. Des services mondiaux dans ce domaine sont indispensables si l'on veut pouvoir satisfaire les exigences que suppose un développement durable.

I. RELATIONS ENTRE LE SOLEIL ET LA TERRE

A. Irradiation solaire totale et variations de son élément UV

1. Le soleil est le principal moteur et la principale source d'énergie pour les systèmes de circulation atmosphériques et océaniques et le climat à la surface de la Terre, où les effets conjugués de l'énergie solaire disponible, de l'eau et des nutriments se trouvant dans le sol déterminent dans une large mesure la vie animale et végétale qui peut exister en un endroit déterminé (*voir la section III*). Les rayonnements électromagnétiques du soleil varient beaucoup moins sur les longueurs d'ondes visibles et infrarouges que sur les longueurs d'ondes courtes (rayonnements ultraviolets et rayons X) et radio.

2. L'irradiation UV est une source d'énergie majeure pour l'atmosphère de la Terre, et de légères fluctuations des paramètres atmosphériques (par exemple de légères variations de la concentration totale de l'ozone) peuvent entraîner des variations très considérables dans les rayonnements solaires qui parviennent à la surface de la Terre. L'on sait que l'augmentation des rayonnements UV se traduit par une plus grande incidence des cancers de la peau et peut aussi affecter des systèmes microbiologiques en endommageant ou en altérant leur structure génétique. Si l'on peut mesurer les plus légères variations des rayonnements UV émis par le Soleil, l'on peut mieux comprendre les changements que cela entraîne dans la photochimie, la dynamique et le bilan énergétique dans la moyenne atmosphère. Les variations du spectre solaire sur la gamme de rayons à ondes courtes (UV

et rayons X) sont beaucoup plus marquées que celles de l'irradiation solaire totale. Elles affectent la température et la chimie (par exemple ozone, oxyde d'azote) dans la moyenne et la haute atmosphère. Les changements de la circulation thermosphérique altèrent la structure et l'électrodynamique de la haute atmosphère et, par le biais de l'action dynamo, les processus de couplage magnétosphère-ionosphère.

3. Les données disponibles concernant les isotopes d'origine cosmique font apparaître un cycle bicentenaire d'activité solaire et de luminosité solaire totale. Il se peut qu'il existe une corrélation entre des chronologies plus courtes (de 10 à 30 ans) et les tendances périodiques à long terme à des sécheresses dans certaines régions du monde. La longueur du cycle des taches solaires et les anomalies de la température moyenne sur la surface de la Terre font apparaître une corrélation élevée (0,95) au cours des 100 dernières années. À l'heure actuelle, l'on parle beaucoup des raisons d'une corrélation aussi étroite avec les fluctuations de l'activité solaire, lesquelles, selon les observations effectuées par satellite, paraissent n'être liées qu'à un faible degré aux variations de l'irradiation solaire totale. C'est sans doute entre 1640 et 1720 qu'est apparue la corrélation la plus directe entre les taches solaires et le climat sur la Terre, lorsque l'activité sous forme de taches solaires s'est ralentie et que les températures en Europe septentrionale ont diminué d'environ 1° Celsius. Cette période est parfois appelée la "petite ère glaciaire".

4. Le seul moyen de mesurer l'irradiation solaire totale en dehors de l'atmosphère de la Terre est d'utiliser des instruments à bord de satellites. Ces instruments n'existent que depuis 1978, et la période qui s'est écoulée depuis lors est trop courte pour pouvoir étudier sérieusement le comportement du Soleil à long terme. Toutefois, certaines indications portent à penser que les variations à long terme pourraient être importantes, même si elles n'ont pas encore été détectées au moyen de mesures directes par satellite. Un élément qui a récemment suscité l'intérêt des milieux spécifiques est le fait que la luminosité du Soleil semble avoir changé entre les minimums des cycles solaires 21 et 22 dans une proportion qui pourrait, si ce phénomène se poursuit, entraîner un changement de luminosité de 0,5 à 1 pour cent à l'échelle cosmique nécessaire pour produire des éléments climatiques comme la petite ère glaciaire. Les données recueillies par satellite montrent que l'irradiation solaire totale est tombée en 1986 à son niveau le plus faible, proche du minimum du cycle solaire de 11 ans, a atteint son maximum en 1991 environ et est ensuite retombée à un creux en 1996.

5. Les questions scientifiques et les objectifs les plus importants sont notamment les suivants :

- a) Observations constantes et surveillance à long terme de l'irradiation spectrale solaire;
- b) Modélisation de l'activité solaire et de ses fluctuations;
- c) Évaluation de l'interaction entre les variations des rayonnements solaires et le climat de la Terre;
- d) Quantification, au moyen d'observations et de modèles, de l'impact du Soleil sur la variabilité et le changement climatiques aussi bien à court terme (sur un horizon temporel du temps aux saisons et d'une année sur l'autre) et à long terme (de 10 à 30 ans ou sur une base décennale).

B. La magnétosphère, l'ionosphère et la haute atmosphère terrestres

6. La réaction de l'environnement mondial sous l'effet d'un Soleil constamment changeant est aujourd'hui appelée le "temps spatial". L'impact des perturbations solaires sur la Terre, toutefois, est un phénomène connu depuis longtemps. L'origine solaire des tempêtes géomagnétiques, les fluctuations rapides et irrégulières du champ géomagnétique, qui sont plus intenses dans les régions polaires, et les aurores boréales, qui sont excitées par l'entrée dans l'atmosphère de particules chargées, étaient des phénomènes connus même avant l'ère spatial, mais ce n'est que depuis lors que ces phénomènes, et leurs effets perturbateurs sur les systèmes électriques et les télécommunications, ont commencé à être mieux compris.

7. Le Soleil et son atmosphère changent constamment et ont en un certain sens un "temps" qui leur est propre. Le Soleil traverse des variations "climatiques" à long terme (sur dix ans ou plus), dont on peut citer en exemple le cycle solaire, d'environ 11 ans. Ce cycle s'est manifesté pour la première fois dans le nombre de taches (concentrations foncées de champs magnétiques intenses venant d'au-dessous de la surface du Soleil, dénombrées à la surface solaire au moyen d'un télescope terrestre). Il est apparu rapidement que le nombre de taches à la surface du Soleil variait avec le temps, selon un cycle d'environ 11 ans. Cette augmentation et diminution périodique du niveau de l'activité solaire constitue ce qu'il est convenu d'appeler le cycle solaire.

8. Bien que les taches, en elles-mêmes, n'aient que des effets mineurs sur les émissions solaires, l'activité magnétique qui les accompagne peut varier du tout au tout le niveau des émissions de rayons ultraviolets et de certains rayons X. Des observations spéciales récentes ont montré que les ensembles de taches solaires appelées régions actives constituent la principale source de phénomènes solaires durables comme des émissions renforcées de rayons ultraviolets et de rayons X. Le gaz solaire, retenu par les forts champs magnétiques des régions actives en structures circulaires, est réchauffé jusqu'à atteindre des températures de plusieurs millions de degrés. En période d'activité solaire maximum, le niveau moyen des émissions solaires de rayons ultraviolets peut être plusieurs fois supérieur à celui des émissions en période de Soleil tranquille, tandis que l'intensité des rayons X augmente encore plus. Comme les régions actives durent habituellement plus que la période de rotation solaire de 27 jours, les rayonnements qu'elles émettent varient périodiquement aussi avec la même périodicité.

9. Aux rayons X, le Soleil a une apparence tout à fait différente que celle qu'il a dans le ciel. Les rayons X sont émis par des gaz à très haute température dans l'atmosphère solaire externe, la couronne solaire, où la température atteint quelques millions de degrés, tandis que la température à la surface du Soleil, bien inférieure, de 6 000 degrés seulement n'est pas suffisante pour émettre des rayons X. De ce fait, l'image aux rayons X fait apparaître une couronne brillante et un disque sombre pour la surface du Soleil. Dans la couronne, la configuration et le caractère des gaz surchauffés dépendent des champs magnétiques, tout comme des perles se déplacent le long du fil sur lequel elles sont enfilées. À mesure que le cycle d'activité solaire va du maximum au minimum, le champ magnétique du Soleil, complexe, acquiert une configuration plus simple. Comme les gaz surchauffés du Soleil sont contrôlés par le champ magnétique, les images aux rayons X reflètent l'ensemble de ce changement, pendant lequel la luminosité est 100 fois moindre.

10. Les températures élevées qui prévalent dans la haute atmosphère du Soleil génèrent à la couronne des émissions de gaz ou de plasma, à des vitesses de l'ordre, habituellement, de 800 à 400 kilomètres par seconde. C'est ce que l'on appelle le "vent solaire". Le vent solaire contourne des obstacles comme les planètes, mais celles-ci, qui ont leurs propres champs magnétiques, réagissent chacune différemment. Sous l'influence du vent solaire, les lignes du champ magnétique d'une planète sont comprimées vers le Soleil et étirées en direction du vent, ce qui crée une magnétosphère, c'est-à-dire une cavité complexe en forme de goutte d'eau autour de toute planète ayant un champ magnétique, comme la Terre. Les zones de rayonnement de Van Allen se trouvent à l'intérieur de cette cavité, comme c'est le cas dans l'ionosphère, qui est la couche de la haute atmosphère terrestre où la photo-ionisation causée par les rayons X émis par le Soleil et les rayons ultraviolets d'une intensité extrême crée des ions et des électrons libres.

11. Le champ géomagnétique reflète le vent solaire ainsi que sa rapidité et sa densité et le champ magnétique. Comme le vent solaire varie à des intervalles ne dépassant pas quelques secondes, l'intervalle qui sépare l'espace interplanétaire de la magnétosphère est extrêmement dynamique. Normalement, cet intervalle, appelé la "magnétopause", se situe à une distance représentant l'équivalent de dix rayons de la Terre environ en direction du Soleil. Toutefois, pendant des épisodes de vent solaire à grande densité ou grande vitesse, la magnétopause peut être ramenée à 6,6 rayons de la Terre (c'est-à-dire l'altitude des satellites sur orbite géostationnaire). Comme la magnétosphère extrait de l'énergie du vent solaire, sa forme et sa structure dépendent de l'activité solaire et l'on constate des effets complexes qui ne sont pas encore parfaitement compris.

12. L'aurore boréale est une manifestation visuelle dynamique et délicate de l'activité géomagnétique entraînée par le Soleil. Les particules de vent solaire qui entrent dans la magnétosphère apportent également une énergie nouvelle aux électrons et aux ions qui y sont enfermés. Les particules ayant une énergie suffisante peuvent pénétrer dans la haute atmosphère terrestre, habituellement à proximité des régions polaires. Lorsque ces particules entrent en collision avec les molécules et les atomes de la haute atmosphère, peu dense, certaines d'entre elles commencent à briller de couleurs différentes. En période d'activité géomagnétique intense, les régions dans lesquelles pénètrent les particules chargées d'énergie peuvent s'étendre jusqu'à des latitudes bien plus basses. En pareil cas, l'on peut observer des aurores boréales et d'autres perturbations géomagnétiques pouvant affecter l'activité humaine beaucoup plus loin des pôles que d'habitude (voir la section II.B).

C. Perturbations de l'ionosphère et de la magnétosphère

13. Il y a sur le Soleil deux types différents d'événements qui peuvent entraîner des perturbations dans l'environnement terrestre. Le premier est ce que l'on appelle une "éruption solaire" et son apparition est signalée par une luminosité accrue dans un secteur circonscrit du Soleil. L'autre type est appelé une "décharge corona" et est en fait une énorme éruption de matière qui est éjectée de l'atmosphère solaire dans l'espace interplanétaire. Les éruptions solaires et éjections corona ne sont pas sans avoir des rapports les unes avec les autres mais la plupart des éruptions ne sont pas accompagnées d'éjections, et nombre d'éjections se produisent sans éruption visible.

14. Lorsqu'une éruption se produit sur le soleil, il s'ensuit une augmentation considérable des rayonnements électromagnétiques (principalement des photons dont l'énergie se trouve dans la partie ultraviolet extrême (XUV) et rayons X du spectre énergétique). Ces rayonnements électromagnétiques chargés d'énergie entraînés par les éruptions sur le Soleil se déplacent à la vitesse de la lumière et atteignent ainsi la Terre huit minutes seulement après avoir quitté le site de l'éruption, c'est-à-dire bien avant les particules chargées ou matière corona qu'a pu éjectées l'éruption. La réaction de la haute atmosphère à une augmentation soudaine des émissions d'ultraviolets et de rayons X causée par une éruption solaire est une augmentation temporaire de l'ionisation (ainsi que de la température) dans l'hémisphère éclairé. Ce phénomène, dont la durée peut aller de quelques minutes à plusieurs heures, s'appelle une "perturbation ionosphérique soudaine". L'augmentation de l'ionisation à des altitudes inférieures à 100 kilomètres est particulièrement significative en pareilles occasions.

15. Les éruptions solaires affectent l'ionosphère, mais les éjections se produisent lorsque la magnétosphère est perturbée par du plasma qui se propage dans l'espace interplanétaire et atteint la Terre après des perturbations soudaines du champ magnétique solaire. Une éjection importante peut contenir un milliard de tonnes de matière qui peut atteindre des vitesses de 2 000 kilomètres par seconde, soit une vitesse bien plus grande que la vitesse normale du vent solaire, qui est de l'ordre de 400 kilomètres par seconde. Ainsi, à la différence des éruptions solaires, qui produisent une augmentation des rayonnements XUV/rayons X, les éjections corona créent un "nuage de particules" chargées (ions et électrons) qui, souvent, transporte une partie du champ magnétique solaire et est souvent appelé un "nuage magnétique". Les particules chargées et le champ magnétique affectent le champ magnétique de la Terre lorsque le nuage atteint l'orbite terrestre et cause une tempête géomagnétique.

16. Une activité géomagnétique dans l'environnement terrestre peut également être causée par les fluctuations du vent solaire dues à d'importants mouvements de la surface solaire. La principale source du vent solaire est ce que l'on appelle les trous de la couronne, qui sont des secteurs de la couronne solaire où la densité est inférieure à la moyenne et où la température et la vitesse d'expansion du vent solaire sont plus élevées que la moyenne. Ces secteurs sont appelés ainsi car, du fait de leur faible densité, ils apparaissent comme des taches sombres sur les images aux rayons X de la couronne solaire. Ces trous se trouvent principalement vers les régions polaires du Soleil mais peuvent parfois s'étendre jusqu'à des latitudes inférieures, vers l'Équateur du Soleil. Lorsque, pendant la rotation du Soleil, la frontière entre le vent solaire rapide devenant des trous et le

vent solaire lent atteint la Terre, l'on constate souvent aussi une augmentation de l'activité géomagnétique. Comme les trous de la couronne durent longtemps, ces perturbations peuvent se répéter avec la période de rotation solaire de 27 jours.

17. Les principales études scientifiques à réaliser devront tendre notamment à :

- a) Étudier les plasmas du système solaire et les systèmes et champs magnétiques connexes;
- b) Améliorer l'observation et la compréhension des processus physiques qui régissent la thermosphère, la magnétosphère, l'ionosphère et la haute atmosphère terrestres;
- c) Établir une théorie détaillée et des processus physiques qui constituent l'interface entre le Soleil et la Terre afin d'améliorer la prévision de l'activité solaire pouvant affecter la Terre et d'établir des prévisions du temps spatial;
- d) Améliorer l'observation et la compréhension de la variabilité solaire et des mécanismes par lesquels l'énergie générée au centre du Soleil est libérée dans l'espace;
- e) Identifier la dynamique, les propriétés et la structure du vent solaire qui souffle dans l'espace interplanétaire et, se conjuguant au médium interstellaire local, forme l'héliosphère.

II. LES EFFETS DU TEMPS SPATIAL SUR L'ENVIRONNEMENT DE LA TERRE

A. Effets sur les services à terre

18. Les communications radio sur ondes courtes à haute fréquence (3-30 Mhz), qui sont encore largement utilisées pour les services de télécommunication à longue distance dans plusieurs pays, dépendent de la réflexion des signaux par l'ionosphère terrestre. Les perturbations atmosphériques soudaines ont pour effet d'accroître la concentration locale d'électrons dans l'ionosphère, ce qui peut causer une absorption totale des signaux de radio-communication. Ce phénomène est causé par les rayonnements sur ondes courtes causés par les éruptions solaires, mais les arrivées de particules chargées émises par une éruption et les tempêtes géomagnétiques causent également des perturbations dans l'ionosphère. Les changements qui caractérisent l'ionosphère en période de perturbation accroissent également l'incidence des irrégularités dans la densité des électrons, ce qui se traduit parfois par de sérieuses variations de phase et de puissance des signaux envoyés des stations terrestres aux satellites à très haute et ultra haute fréquence (30 Mhz à 3 Ghz).

19. Les relevés géomagnétiques sont des techniques importantes dans le contexte de l'exploration commerciale des ressources naturelles, par exemple pour la prospection de pétrole et de gaz. Toutefois, les perturbations causées par le temps spatial peuvent créer dans les données recueillies des signaux qui pourraient à tort être interprétés comme dénotant la présence de ressources au-dessous de la surface. Pour éviter cette contamination des données recueillies, il faut modifier le plan d'opération, souvent soudainement et à grands frais.

20. Le système d'aide à la navigation, comme LORAN et OMEGA, sont affectés eux aussi lorsque l'activité solaire perturbe leur longueur d'ondes radio. Le système OMEGA se compose de huit émetteurs situés dans différentes régions du monde. Les avions et les navires utilisent les signaux radio à très basse fréquence émis par ces stations pour déterminer leur position. En période d'événements solaires et de tempêtes géomagnétiques, le système peut indiquer aux navigateurs des positions s'écartant de plusieurs milles de leur

position réelle. S'ils savent qu'une éruption solaire ou une tempête géomagnétique est en cours, les navigateurs peuvent utiliser un système de secours.

21. Ces changements de l'ionosphère terrestre causés par ces perturbations affectent non seulement les communications, mais aussi la vitesse à laquelle les signaux traversent l'ionosphère. Or, des retards normaux peuvent entraîner des erreurs de positionnement et nuire à la précision et à la fiabilité des données transmises par les satellites du Système mondial de positionnement (GPS), très largement utilisé comme aide à la navigation.

22. Pendant les perturbations géomagnétiques, les courants plus forts qui circulent dans le système magnétosphère-ionosphère peuvent affecter aussi les systèmes électriques à terre. Ces perturbations peuvent causer sur les lignes électriques à longue distance des courants d'origine géomagnétique (GIC) presque continus. Pendant la tempête géomagnétique qui a eu lieu le 13 mars 1989, par exemple, ces courants ont entraîné une perte de tension complète sur le réseau Hydro-Québec et une panne d'électricité de neuf heures. Les réseaux qui desservent toute la région nord-est des États-Unis d'Amérique ont été très proches d'un effondrement de tout le système par effet de domino.

23. Des courants générés par le temps spatial circulent également dans les longs conducteurs à terre comme les oléoducs. Ces courants créent des effets galvaniques qui entraînent une érosion rapide des joints des oléoducs s'ils ne sont pas convenablement reliés à la terre. Cette corrosion exige des réparations onéreuses ou peut entraîner des dommages irréversibles.

B. Effets sur l'être humain et les engins spatiaux

24. Si les effets nuisibles des rayonnements et des particules chargées provenant des éruptions solaires sont connus depuis longtemps, certains des aspects des éjections dans la couronne du Soleil de masses qui atteignent la Terre et les engins spatiaux, comme l'impact sur les satellites de communication, ne sont apparus que récemment grâce aux études réalisées dans le cadre du Programme international d'étude de la physique du système Soleil-Terre. Des prévisions fiables de l'ampleur des émissions de masses pouvant atteindre la Terre ainsi que de la probabilité de survenance d'éruptions qui émettent des particules chargées pouvant être guidées magnétiquement jusqu'à la Terre permettraient de donner l'alarme et d'éviter des risques sérieux pour les astronautes ainsi que pour les satellites de communication (qui pourraient alors être soit déconnectés temporairement, soit être conçus de manière à fonctionner au ralenti lorsqu'un nuage de plasma solaire atteint l'environnement terrestre).

25. La haute atmosphère gonfle si elle est réchauffée par des sources d'énergie supplémentaires comme des particules aurorales chargées et des courants ionosphériques résistifs. L'augmentation de densité de l'atmosphère qui en résulte à des altitudes comprises entre 300 et 500 kilomètres accroît considérablement le nombre de collisions entre les satellites et les particules de gaz ambiantes. Cet effet accru de traînée peut suffisamment altérer l'orbite d'un satellite que celui-ci est temporairement hors d'atteinte des stations terrestres de communication. Parfois, ces effets peuvent être suffisamment sérieux pour causer une rentrée prématurée dans l'atmosphère des objets sur orbite, comme Skylab en 1979 et la Solar Maximum Mission en 1989.

26. Les particules chargées d'énergie qui proviennent du Soleil et de la magnétosphère terrestre entrent en collision avec la surface des engins spatiaux. Des particules chargées de beaucoup d'énergie peuvent pénétrer dans les éléments électroniques et inverser des octets ou causer des erreurs dans une séquence de signaux électroniques qui peut donner aux engins spatiaux de faux signaux semblant venir de la Terre. En outre, les instruments se trouvant à bord peuvent générer des données erronées. Ces instructions intempestives ont causé de sérieuses défaillances dans les systèmes de satellite et ont même détourné des engins spatiaux de la Terre en leur faisant perdre le contact radio.

27. Nombre de défaillances auraient probablement pu être évitées si les contrôleurs terrestres avaient eu connaissance à l'avance du risque imminent de collision avec des particules chargées. Pendant les fortes tempêtes solaires, il se peut même que les opérateurs de satellite ne soient pas conscients des anomalies, la tempête géomagnétique elle-même rendant inopérant les liens de communication avec les satellites. Des particules moins chargées contribuent à différents problèmes de charge à la surface des engins spatiaux, en particulier en période de forte activité géomagnétique. En outre, les électrons chargés qui sont à l'origine du phénomène de charge isolante profonde peuvent raccourcir la durée de vie utile des composants internes.

28. L'Administration nationale des océans et de l'atmosphère (NOAA) assemble des données sur les anomalies de fonctionnement des agents spatiaux au moyen de son Centre national de données géophysiques (NGDC) de Boulder, dans le Colorado. Cependant, il est souvent difficile d'obtenir des informations sur les anomalies de fonctionnement des satellites étant donné que nombre d'opérateurs refusent de fournir ce type d'informations. En mars 1989, pendant une période de 25 jours marquée par une forte tempête magnétique, il a été signalé 46 cas de dysfonctions, dont la majorité ont été imputées à des décharges électrostatiques résultant de la charge des aéronefs. De telles défaillances se sont produites aussi dans le cas du satellite japonais de télécommunications sur orbite géostationnaire CS 3B en 1989 et du satellite canadien Anik en janvier 1994. En outre, en janvier 1997, une éjection de masse à la couronne du Soleil a mis hors service le satellite de communications Telstar 401.

29. Les protons solaires chargés d'énergie constituent un risque de rayonnement pour les astronautes lors des vols spatiaux habités. Ils peuvent arriver dans l'environnement proche de la Terre quelques dizaines de minutes après le début d'une éruption solaire. Si les orbites à faible inclinaison profitent de l'effet de bouclier joué par le champ magnétique de la Terre, les orbites à forte inclinaison font passer un engin spatial au-delà des limites de rigidité normales, ce qui accroît l'exposition. La Station spatiale internationale utilisera une orbite à forte inclinaison d'environ 52 degrés. La possibilité de prédire et de surveiller les éruptions solaires et les éjections de masse devraient pouvoir permettre de prendre les précautions essentielles.

30. L'exposition aux rayonnements des passagers d'avions volant à haute altitude et en particulier des membres des équipages qui assurent constamment ce type de vol est également une cause de préoccupation. Bien que l'atmosphère résiduelle se trouvant au-dessus de l'appareil offre une certaine protection contre les rayons cosmiques et les particules solaires chargées qui entrent dans la magnétosphère, il n'en demeure pas moins des risques pour les vols transpolaires en périodes de forte activité solaire. Les censeurs de rayonnement dont sont équipés les avions supersoniques Concorde ont montré que les passagers et les membres de l'équipage reçoivent parfois une dose de rayonnement équivalent à une radiographie thoracique. Pour réduire ce risque pour les équipages et les passagers, des prévisions et des avis sont publiés systématiquement par les voies appropriées pour qu'un avion exposé à un risque potentiel puisse faire le nécessaire pour minimiser l'exposition aux rayonnements.

C. Prévisions du temps spatial : situation actuelle et perspectives

31. Les prévisions du temps spatial sont fondées sur l'observation du Soleil à partir aussi bien de la Terre que de l'espace. En outre, plusieurs satellites surveillent l'environnement terrestre en mesurant des paramètres physiques. Des images du Soleil dans différentes régions spectrales et lignes spectrales sélectionnées permettent d'obtenir des informations sur la survenance d'éruptions solaires et, conjointement avec les mesures du champ magnétique (magnétogrammes solaires), sur la probabilité d'éruptions prochaines. Ces prévisions sont très incertaines étant donné qu'il n'est pas possible de suivre l'évolution des régions actives sur l'hémisphère invisible du Soleil. Certains types de configuration du champ magnétique des régions actives du Soleil ont de plus grandes possibilités de créer une éruption que d'autres. Il est néanmoins impossible de prédire quand une éruption risque de survenir. Les détecteurs spatiaux surveillent également les rayonnements produits par le Soleil. En particulier, le Service de satellites géostationnaires opérationnels de l'environnement (GOES) fournit

des mesures des flux solaires de rayons X. Quelques minutes après la survenance d'une éruption, même si celle-ci n'est pas détectée par les observatoires terrestres du fait de l'obscurité ou du mauvais temps, l'accroissement des flux de rayons X du Soleil donne la première indication de l'importance de l'éruption.

32. Même lorsque des phénomènes solaires actifs sont observés par des observatoires terrestres ou par des satellites, il est très difficile d'estimer les effets qu'ils risquent d'avoir sur l'environnement terrestre. Les éruptions sont sources de rayons X et de particules chargées d'énergie, mais elles n'ont qu'un rapport lointain avec les tempêtes géomagnétiques. Les observations en temps réel des émissions de masse de la couronne sont un bien meilleur moyen de surveiller le temps spatial mais, même si l'on découvre une émission de masse se déplaçant vers la Terre, la distance énorme qui sépare celle-ci du Soleil rend des prévisions très incertaines, et ce pour deux raisons. Premièrement, la force et la vélocité du nuage de particules et de champ magnétique sont très difficiles de déterminer avec exactitude sur la base d'une observation de l'émission elle-même. Deuxièmement, les caractéristiques et la dynamique structurelle du nuage de particules pendant son transit dans l'espace interplanétaire sont encore très mal comprises et ne peuvent être déterminées avec plus de précision que lorsque le nuage parvient jusqu'aux satellites en orbite près de la Terre.

33. Une observation continue en temps réel du vent solaire est indispensable à toute prévision exacte à court terme de nouvelles perturbations. Les données obtenues au point de libration L1 (240 rayons de la Terre), où l'attraction de la Terre est compensée par celle du Soleil, permettent d'avoir un préavis de 30 à 50 minutes du moment où un choc ou une perturbation du vent solaire rencontrera la magnétosphère terrestre. La durée précise de ce préavis dépend de la vitesse du vent solaire, laquelle peut être mesurée par un instrument monté sur satellite près du point de libration L1, qui se trouve bien au-delà de l'influence du champ géomagnétique. Comme ces satellites sont continuellement éclairés, ils peuvent observer le Soleil et le vent solaire pendant 24 heures par jour, tandis que toutes les observations solaires précédentes avaient une orbite terrestre basse et était périodiquement interrompue lorsque les satellites étaient à l'ombre de la Terre.

34. Les deux premiers satellites de surveillance du vent solaire au point de libration (Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) depuis 1995 et Advanced Composition Explorer (ACE) depuis 1997) amélioreront l'exactitude des prévisions du temps spatial. En outre, ils permettront d'approfondir les connaissances sur les mécanismes qui produisent les tempêtes solaires (aussi bien les éruptions que les éjections de masse) et sur les déplacements d'un choc magnétique dans l'espace interplanétaire avant qu'il ne crée une tempête géomagnétique au contact de l'environnement terrestre.

35. Une vingtaine de satellites sur orbite basse ou orbite excentrique ou près du point de libration, ainsi qu'une trentaine d'observatoires terrestres répartis dans le monde, sont utilisés par des scientifiques d'une douzaine de pays pour surveiller les événements géomagnétiques dans le cadre du Programme international de physique des relations Soleil-Terre (ISTP). Ce programme complexe a démontré l'utilité de la coopération internationale et devrait, à terme, déboucher sur des prévisions plus exactes du temps spatial, aussi bien à court terme pour publier des avis qu'à long terme, en constituant une base de données suffisantes pour mieux modéliser les variations de l'activité solaire.

36. Le dernier minimum solaire s'est produit vers la fin de 1996 et le cycle solaire No. 23 a commencé en 1997. Un nombre croissant de régions actives ont commencé à apparaître depuis le début du nouveau cycle et le nombre d'éruptions solaires et d'éjections de masse continuera d'augmenter au cours des quelques prochaines années, de même que l'intensité des événements. Il importe pour la société d'être plus consciente des variations du temps spatial, aussi bien à l'heure actuelle que pendant le prochain maximum solaire, pendant la période 2000-2003.

III. CHANGEMENTS CLIMATIQUES MONDIAUX

37. Le risque de changements climatiques mondiaux sans précédent, causés principalement par l'activité de l'homme, préoccupe beaucoup la communauté internationale. Cette préoccupation s'est reflétée dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (A/AC.237/18 (Deuxième partie)/Add.1 et Corr.1, annexe I). Le Groupe d'experts intergouvernemental pour l'étude du changement climatique (GICC), créé sous les auspices conjoints de l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) en 1988, a publié au cours des quelques dernières années des évaluations scientifiques périodiques sur les changements climatiques mondiaux et leur impact possible. Des modèles de simulation et de prédiction rétrospective confirment l'évolution "observée" de la température dans le monde, c'est-à-dire un réchauffement d'environ 0,5 degré C au cours du siècle écoulé, réchauffement imputé tout au moins en partie aux concentrations accrues de gaz qui causent l'effet de serre et amplifié indirectement par l'augmentation des concentrations de vapeur d'eau. Le GICC a estimé que la température de l'air à la surface du globe augmentera considérablement au cours des 100 prochaines années. Les conséquences probables de ce réchauffement sont notamment des variations de température et de précipitations, une élévation du niveau moyen de la mer et une altération de la répartition des sources d'eau douce. L'impact de cette évolution sur la santé de l'homme, la vitalité des forêts et des autres régions naturelles et la productivité de l'agriculture risque fort d'être significatif aussi.

38. Le climat mondial, à un moment donné, est le résultat d'interactions complexes entre l'énergie solaire que reçoit la Terre, l'atmosphère et la composition de celle-ci, les océans (y compris les courants à moyenne et grande profondeur), le cycle hydrologique (rivières, lacs, nuages, processus de précipitation, etc.), la surface terrestre, la végétation et la biosphère, la cryosphère (neiges et glaces, banquises et glaciers) et la géosphère (topographie continentale, mouvements tectoniques, éruptions volcaniques, rotation de la Terre, etc.). Ces dernières années, deux autres éléments sont venus s'y ajouter, à savoir la chimiosphère (différentes espèces chimiques injectées dans l'atmosphère) et la technosphère (c'est-à-dire les changements apportés à la surface de la Terre, à l'atmosphère, aux océans, etc., par les technologies modernes et/ou les pratiques sociales et culturelles).

39. Le climat mondial ne cessera jamais de changer. Cependant, le fait que l'intensification de l'activité humaine cause des changements climatiques beaucoup plus rapides que par le passé est une source de préoccupation. Il se peut que le temps manque pour qu'il puisse y avoir une adaptation par le biais de processus naturels comme les "migrations" de plantes. Même malgré les progrès de la technologie, de très longues périodes doivent s'écouler pour compenser l'impact éventuel de changements climatiques mondiaux et s'y adapter.

40. La Terre a déjà connu des périodes très chaudes et très froides. Les raisons des changements passés ont probablement été les variations de l'orbite de la Terre autour du Soleil, les fluctuations de l'irradiation solaire, des éruptions volcaniques et d'autres phénomènes naturels. Les données paléoclimatiques que renferment les bulles d'air prises dans la glace de l'Antarctique montrent qu'il existe une corrélation étroite entre les concentrations de gaz carbonique (CO₂) et de méthane (CH₄) et les variations locales de températures au cours des 220 000 dernières années, même si la précision chronologique de l'analyse empêche de déterminer avec exactitude quelle variable cause l'autre.

41. L'évolution récente du climat porte à penser qu'il y a eu un réchauffement de l'atmosphère d'environ 0,5 degré au cours des 100 dernières années, phénomène généralement imputé à l'augmentation de concentrations de gaz qui causent l'effet de serre. Le gaz carbonique est injecté dans l'atmosphère lors de la combustion de combustibles fossiles, le méthane est libéré par l'augmentation, par exemple, de la culture du riz et de l'élevage du bétail, et de l'oxyde d'azote est produit pendant la combustion de combustibles fossiles et peut-être par l'utilisation d'engrais dans l'agriculture. D'autres gaz qui contribuent à l'effet de serre sont les

molécules artificielles appelées chlorofluorocarbones (CFC) utilisées dans la climatisation, dont l'usage est aujourd'hui interdit. L'effet de réchauffement par effet de serre d'une molécule de certains CFC est 10 000 fois supérieur à celui d'une molécule de gaz carbonique. Les CFC causent également un appauvrissement de la couche d'ozone et permettent ainsi à une quantité accrue de rayons ultraviolets-B de pénétrer l'atmosphère pour parvenir jusqu'à la surface de la Terre. Ces produits sont donc doublement dangereux.

42. Les calculs montrent que la température moyenne à la surface de la Terre, qui est de +15°C, serait de -18°C en l'absence des gaz qui causent l'effet de serre. Aujourd'hui, lorsque l'on parle d'effet de serre, l'on pense surtout au réchauffement de l'atmosphère causé par des concentrations croissantes de gaz qui ont été introduits dans l'atmosphère par l'homme, plutôt que l'effet de serre causé par des gaz d'origine naturelle, comme la vapeur d'eau. Au XXe siècle, la combustion de combustibles fossiles et l'activité industrielle ont perturbé l'équilibre qui maintenait la température moyenne de la Terre à +15°C. Les concentrations de gaz carbonique dans l'atmosphère sont passées de 280 parties par million (ppm) en 1860 à environ 360 ppm en 1995. Ces concentrations accrues de gaz carbonique et d'autres gaz ont absorbé de plus en plus de rayons infrarouges, ce qui explique l'élévation de températures comprise entre 0,5 et 1°C enregistrée depuis le XIXe siècle. L'élévation des températures - étés plus chauds et hivers moins rudes - a commencé à faire fondre les glaciers, ce qui a entraîné une élévation du niveau de la mer.

43. S'il est difficile de bien comprendre le réchauffement de l'atmosphère, c'est parce que tant de phénomènes naturels causent des variations climatiques d'une année sur l'autre ou d'une saison à l'autre. L'on peut en citer comme exemple l'oscillation australe d'El Niño (ENSO), les variations périodiques des précipitations qui se produisent dans le Sahel et dans le nord-est du Brésil, la variabilité des moussons d'une année sur l'autre, l'oscillation quasi biennale (QBO) et les interactions décennales et interdécennales entre l'atmosphère et les océans.

44. Les missions d'étude par satellite rendent possibles des observations mondiales clés, à partir de plates-formes sur orbite géostationnaire ou polaire, des structures et de la dynamique de l'atmosphère (par exemple température, champs de vapeur d'eau, eau précipitée, nuages, vent), de la température de la surface de la mer, les caractéristiques superficielles mesurées directement ou dérivées (niveau de la mer, état de la mer, banquise, couverture neigeuse, inondations, indice de végétation, montant des précipitations), des caractéristiques de la surface de la Terre et d'espèces chimiques sélectionnées présentes dans l'atmosphère (ressources, aérosols, etc.). La plupart de ces observations sont aujourd'hui rassemblées systématiquement dans le cadre de sous-systèmes spatiaux de la Veille météorologique mondiale, mais d'autres missions d'étude par satellite demeurent nécessaires. À l'avenir, ces missions permettront de procéder à des observations plus précises, mieux calibrées et géographiquement mieux situées de ces paramètres et, en outre, de surveiller des éléments clés de l'atmosphère comme les gaz qui causent l'effet de serre, les aérosols, les précurseurs chimiques qui peuvent appauvrir la couche d'ozone, les champs thermiques latents, les champs de vitesses du vent, la biomasse présente dans les océans et la couleur des océans.

45. L'on peut citer comme missions d'étude avancée par satellite le Satellite d'observation avancée de la Terre (ADEOS) du Japon, la mission de mesure des précipitations dans les régions tropicales réalisée conjointement par les États-Unis et le Japon, le Système d'observation de la Terre (États-Unis), ENVISAT (Agence spatiale européenne), RADARSAT (Canada) et les Instruments à grand champ d'observation des mers (Sea WIFS) (États-Unis). Toutes ces missions sont conçues de manière à faciliter l'analyse de problèmes environnementaux clés dans le contexte du Programme mondial de recherche sur le climat (PNRC), le Système mondial d'observation du climat (SMOC), le Système mondial d'observation des océans, le Système mondial d'observation de la Terre et d'autres programmes (voir la section VIII).

46. Les études et recherches scientifiques devront tendre principalement à :

a) Identifier et documenter les variations et tendances climatiques à long terme au moyen d'observations mondiales systématiques du système climatique et de ses éléments déterminants externes;

b) Comprendre la nature des principaux paramètres qui déterminent les changements des systèmes climatiques et à identifier les causes des variations climatiques observées et les processus de rétroaction qui déterminent la réaction des systèmes climatiques;

c) Évaluer la prévisibilité de la variabilité des changements climatiques à long terme et de leur impact régional grâce à l'application combinée d'observations et de modèles mondiaux.

IV. APPAUVRISSEMENT DE LA COUCHE D'OZONE

47. L'ozone est le seul gaz qui contribue à l'effet de serre qui absorbe beaucoup les rayonnements solaires à l'extrémité ultraviolet du spectre, principalement dans la stratosphère. La couche d'ozone dans la stratosphère protège la surface de la Terre d'éléments ultraviolets nocifs (et spécialement des ultraviolets B) et joue un rôle important en régulant la température de la stratosphère en absorbant aussi bien les rayonnements ultraviolets arrivant du Soleil que les rayonnements sur ondes longues qui proviennent de la Terre.

48. Une réduction de la couche d'ozone dans la stratosphère peut modifier la température à la surface de deux façons concurrentes : a) des rayonnements solaires accrus proviennent jusqu'au système surface-troposphère et contribuent ainsi à un réchauffement de l'atmosphère à la surface; et b) la stratosphère se refroidit du fait qu'elle absorbe moins de rayons ultraviolets et moins d'émissions sur ondes longues vers la troposphère à la surface, ce qui tend à abaisser la température à la surface. Le réchauffement solaire (qui est fonction de la colonne totale d'ozone) et le refroidissement de la stratosphère (qui est fonction de la répartition verticale de l'ozone) sont d'ampleur similaire. Ainsi, l'augmentation ou la diminution de la température à la surface, et l'étendue de cette différence, dépendent directement de l'ampleur des variations de la couche d'ozone, laquelle, à son tour, dépend directement de l'altitude, de la latitude et de la saison.

49. Comme l'ozone absorbe les rayons ultraviolets et les rayons infrarouges, une variation de la couche d'ozone peut augmenter ou réduire la température à la surface de la Terre, selon la manière dont évolue la couche d'ozone. L'on considère en outre que toute réduction de l'ozone dans la stratosphère risque d'avoir de sérieuses conséquences sur le plan biologique. Une plus grande intensité des rayons ultraviolets B à la surface de la Terre accroîtra sans doute l'incidence du cancer de la peau et réduira la productivité des biotes marins, ce qui affectera la pompe biologique à carbone. Ce dernier effet pourrait se traduire par une augmentation de la concentration de gaz carbonique dans les eaux superficielles et par conséquent dans l'atmosphère. Aussi importe-t-il au plus haut point d'observer et de surveiller le contenu de la colonne totale d'ozone et la répartition verticale de l'ozone. L'ozone qui se trouve dans la stratosphère est soumis à un processus de régulation photochimique et par les gaz de la famille de l'oxygène, de l'hydrogène, de l'azote, du chlore et du brome. La concentration croissante dans l'atmosphère de halocarbones, et en particulier de CFC, est sans doute la principale cause du trou de la couche d'ozone et des mesures de réglementation qui ont été convenues dans le cadre du Protocole de Montréal.

50. Bien que des observations isolées du contenu de la colonne d'ozone aient été effectuées pendant les années 20, ce n'est que vers la fin des années 50 qu'ont commencé les observations mondiales systématiques de l'ozone total pour étudier son évolution à long terme, dans le cadre du Système mondial d'observation de l'ozone, coordonné par l'OMM, qui est aujourd'hui un élément de la Veille atmosphérique mondiale (VAM). Depuis 1950, des observations assez complètes du profil vertical de l'ozone ont été réalisées au moyen de

spectrophotomètres Dobson basés à terre et de mesures réalisées au moyen de ballons sondes dans de nombreuses régions du monde.

51. Lorsque l'on a commencé à observer l'ozone au moyen de satellites, il s'est posé la question difficile de la stabilité et du calibrage des capteurs. Le fait de l'insuffisance du calibrage, l'appauvrissement de la couche d'ozone dans l'Antarctique n'a été découvert que de la fin des années 70 au milieu des années 80, et au moyen d'études terrestres et non d'observations par satellite. Toutefois, cela même démontre la complémentarité indispensable entre les programmes d'observation spatiale et les observations terrestres. Aujourd'hui, les observations par satellite de la couche d'ozone constituent un élément clé de la surveillance au jour le jour de l'évolution de l'ozone dans la stratosphère. Ces observations donnent, pratiquement en temps réel, une image très détaillée de la répartition horizontale de l'ozone. Du fait de leur portée mondiale, ces observations sont indispensables à une modélisation numérique de l'ozone dans la stratosphère et constitue une information précieuse pour comprendre les processus qui appauvrissent la couche d'ozone pendant les printemps antarctique ou arctique.

52. Le Satellite de recherche dans la haute atmosphère (UARS) de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis a recueilli pendant plus de six ans des données mondiales sur les processus chimiques, l'apport d'énergie et la dynamique de l'atmosphère. Ces données ont confirmé l'existence de corrélations incontestables entre l'appauvrissement de la couche d'ozone et l'effet chimique du chlore et ont confirmé aussi que des composés artificiels, principalement les CFC, sont à l'origine du chlore qui, dans la stratosphère, détruit l'ozone par catalyse. Les données recueillies par le spectromètre imageur de l'ozone total (TOMS) monté à bord du satellite Nimbus 7 ont montré que les concentrations moyennes de l'ozone total sont tombées à des niveaux sans précédent au début des années 90.

53. C'est dans le trou qui existe dans la partie de la couche d'ozone se trouvant au-dessus de l'Antarctique que l'on a enregistré en 1993 les plus basses concentrations d'ozone. Pendant la même période, des niveaux records de rayonnements ultraviolets ont été mesurés à la surface de l'Antarctique. D'une station, les rayons ultraviolets B, qui sont la partie du spectre sans doute la plus nocive pour les organismes vivants, avaient augmenté de 44 pour cent par rapport à 1992. En 1994, les concentrations d'ozone ont apparemment été aussi basses qu'en 1993. Les observations par satellite, combinées aux changements mesurés des nuages et des aérosols, ont été utilisées pour calculer l'intensité des rayons ultraviolets B à la surface. À environ 40 degrés de latitude en direction des pôles, l'on a constaté des augmentations statistiquement significatives pendant la période qui s'est écoulée entre 1979 et 1992. Les augmentations les plus marquées de rayons ultraviolets B à la surface ont été enregistrées aux latitudes supérieures, en hiver et au printemps. À 45 degrés de latitude Nord (c'est-à-dire à la latitude de Portland, dans l'Orégon, de Minneapolis, de Montréal, du sud de la France, du nord de l'Italie et de la Bosnie, l'on a calculé qu'au printemps, l'exposition aux rayonnements qui sont nocifs pour l'ADN la dose érythémale de rayonnements (c'est-à-dire des rayonnements qui causent des coups de soleil) ont augmenté de 8,6 et 5,1 pour cent respectivement au cours des 20 dernières années. Au-dessus des régions très peuplées situées à 55 degrés de latitude Nord (au Royaume-Uni, en Scandinavie et en Russie), les augmentations des rayonnements au printemps ont été encore plus marquées.

54. Les études scientifiques prioritaires devront tendre notamment à :

a) Identifier la répartition mondiale de l'ozone, des éléments trace chimiquement actifs comme les oxydants photochimiques et les aérosols et les paramètres météorologiques connexes;

b) Comprendre les processus qui sont à l'origine de la transformation chimique des éléments trace, le rôle des aérosols dans la chimie atmosphérique et le transport des éléments trace entre la troposphère, la stratosphère et la haute atmosphère ainsi qu'entre la troposphère et la surface de la Terre;

c) Établir un modèle quantitatif de la composition des éléments trace dans le système troposphère/stratosphère grâce à une application combinée d'observations et de modèles mondiaux.

V. CHANGEMENTS DE L'ENCADREMENT MONDIAL DUS À LA TECHNOLOGIE

55. Au cours des quelques dernières décennies, les progrès de la technologie ont beaucoup contribué à la facilité des transports et à la mobilité, ont accru la production agricole, ont amélioré les systèmes de distribution, ont accru la disponibilité d'eau, ont facilité la génération et la distribution d'énergie et ont débouché sur l'apparition de l'ère de l'information mais, comme l'on s'en est rendu compte trop tard, à un coût considérable pour l'environnement. L'on sait que nombre de progrès technologiques ont un impact négatif sur l'environnement et sur la santé humaine, végétale et animale.

56. L'on peut citer comme exemple des effets que l'activité de l'homme a sur l'environnement mondial la pollution de l'atmosphère, des eaux et des sols. La pollution atmosphérique, dont la cause la plus visible est l'utilisation de combustibles fossiles comme source d'énergie pour les transports, cause le smog en ville et les pluies acides*, qui non seulement endommagent la végétation, acidifient le sol et causent différents problèmes de santé mais encore polluent les cours d'eau et les lacs et détruisent les forêts.

57. Dans nombre de pays en développement des Tropiques, la combustion de la biomasse est une source majeure de pollution de l'atmosphère, le brûlis des buissons et de l'herbe étant la méthode la plus communément utilisée pour défricher les terres. Les feux de biomasse constituent une source majeure de gaz carbonique, d'oxyde nitreux, d'hydrocarbures et d'anhydride sulfureux dans l'atmosphère. Dans les régions tropicales, la combustion de biomasse est sans doute à l'origine d'un quart des émissions totales de méthane.

58. La pollution de l'atmosphère causée par les émissions d'anhydride sulfureux et de trioxyde de soufre est l'un des problèmes posés par les raffineries dans les pays producteurs de pétrole. Des effluents gazeux nocifs et le gaz brûlé par les raffineries de pétrole contiennent des vapeurs d'hydrocarbures. Les effluents déversés par les industries manufacturières polluent les cours d'eau, les lacs et, de plus en plus, les océans, dont on pensait jadis qu'ils avaient une capacité infinie d'absorber les déchets. Nombre de régions côtières sont aujourd'hui confrontées à des problèmes sérieux.

59. Le progrès des méthodes agricoles a permis d'améliorer considérablement les rendements des récoltes dans certaines régions du monde, mais une utilisation excessive d'engrais et de pesticides pollue les sols et les eaux dans lesquels ils se déversent par émissions, ruissellements et lixiviation. Aussi une gestion rationnelle des ressources est-elle devenue un problème critique partout dans le monde, comme l'a confirmé la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement qui s'est tenue à Rio de Janeiro du 3 au 14 juin 1992.

60. Les problèmes causés par la dégradation des sols et des eaux et de l'environnement ne sont pas dus uniquement à la technique. Dans certains pays en développement, le surpeuplement, le surpacage et l'utilisation de bois de feu ont entraîné un déboisement généralisé et des problèmes tout aussi sérieux d'érosion des sols, de désertification, de contamination des eaux, de perte de biodiversité, etc., autant d'éléments qui ont un impact de plus en plus insoutenable sur l'environnement.

* L'expression "pluies acides" est un terme générique qui englobe toute précipitation acide, même sous forme de neige, de grêle ou de brouillard. Environ 30 pour cent des polluants de l'atmosphère se combinent avec l'eau dans les nuages et retombent finalement sous forme de précipitations. La principale source des pluies acides est l'anhydride sulfureux, mais les oxydes d'azote y contribuent aussi.

61. Des mesures ont été adoptées pour lutter contre les sérieux dommages causés par les CFC qui sont utilisés comme réfrigérants, gaz propulseur d'aérosols, agents moussants et solvants pour le nettoyage. Dans de nombreux pays, l'industrie chimique a mis au point des produits de remplacement des CFC. Nombre de gouvernements ont aujourd'hui le Protocole de Montréal sur des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, adopté le 7 septembre 1987, qui, avec les amendements adoptés à Londres en 1991 et Copenhague en 1992, stipule que la fabrication de CFC devra être progressivement éliminée en 1996 dans les pays industrialisés et en 2006 au plus tard dans les pays en développement. La Troisième Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique, qui s'est tenue au Japon en 1997, a également étudié les autres mesures à prendre pour lutter contre l'appauvrissement de la couche d'ozone dans l'atmosphère et identifier l'effet de serre causé par les CFC et l'ozone.

62. Les systèmes de transports aériens et spatiaux déversent dans les couches supérieures de la stratosphère et dans la basse stratosphère des produits de combustion dont certains peuvent aussi appauvrir la couche d'ozone. Aux altitudes de croisière, les avions émettent des oxydes d'azote qui interviennent directement dans la photochimie de l'ozone. Les avions émettent également d'autres produits chimiques qui influent sur le budget d'irradiation de la Terre, dont de l'eau, du gaz carbonique, des suies et des aérosols. Les gaz d'échappement émis par les avions aux altitudes de croisière persistent beaucoup plus longtemps que ceux qui sont émis près de la surface et constituent par conséquent un problème mondial. Les émissions causées par les avions contribuent également à la formation de couches de cirro-stratus qui empêchent les rayonnements solaires d'atteindre la surface solaire. L'on s'interroge encore sur l'impact précis de ces activités. Il faudra suivre la situation de plus près et mener des recherches plus approfondies pour pouvoir orienter l'action des pouvoirs publics, d'autant qu'une augmentation substantielle du trafic passagers est prévue au cours des 20 prochaines années.

63. Les autres changements dus à la technologie sont notamment l'impact de l'urbanisation, qui crée autour des agglomérations des "îlots de chaleur" qui altèrent le climat local, aggravent les ruissellements et transportent des polluants dans les cours d'eau et le sous-sol avoisinant, tout en augmentant la demande de climatisation dans tous les pays et régions chaudes du monde.

64. Dans la pratique, il est très difficile d'établir une distinction parmi les changements de l'environnement mondial qui sont causés par l'activité de l'homme et ceux qui sont imputables à des changements naturels, comme les effets de l'activité solaire dont il a été question plus haut, les éruptions volcaniques, les tremblements de terre et tsunamis, les ouragans, cyclones et typhons, les inondations, les sécheresses et les phénomènes comme El Niño. L'utilisation de techniques de télédétection pour surveiller de tels effets est examinée plus en détail dans le document d'information relatif à la gestion des ressources de la Terre (A/CONF.184/BP.3).

65. Les études et recherches scientifiques prioritaires devront tendre à :

- a) Surveiller les polluants de l'atmosphère et de la troposphère, les aérosols et les autres produits chimiques;
- b) Observer et surveiller l'évolution des pratiques d'utilisation des sols et de la végétation (y compris le déboisement);
- c) Observer et surveiller les déversements des cours d'eau dans les lacs et les zones côtières;
- d) Comprendre l'interaction entre les sous-produits de la technologie et l'environnement et à modéliser son impact;
- e) Établir un modèle de distribution des polluants aux échelons national, régional et mondial;

- f) Observer et surveiller les effets naturels de l'environnement mondial.

VI. PRÉVISIONS MÉTÉOROLOGIQUES ET ALERTES AUX CATASTROPHES NATURELLES

66. Les prévisions météorologiques ont toujours été importante pour toutes les sociétés, et ce depuis des millénaires. Le temps qui prévaut dans une localité déterminée est le résultats d'interactions complexes entre les aspects locaux, régionaux et mondiaux des rayonnements solaires et la circulation et la dynamique de l'atmosphère. La circulation atmosphérique, à son tour, est déterminée par sa dynamique et des processus thermodynamiques internes et par l'interaction entre l'atmosphère, les océans, la surface de la Terre, la végétation et la cryosphère. Si l'on veut faire des prévisions météorologiques au-delà de quelques heures, les observations doivent porter sur des régions géographiques plus étendues ainsi que sur la dynamique des éléments interactifs des systèmes terrestres comme les océans.

67. Aujourd'hui, pour prédire le temps, il faut procéder à une intégration dans le temps de modèles numériques au moyen des ordinateurs les plus puissants qui soient. Sur la base de modèles mondiaux, l'on utilise des modèles régionaux imbriqués à haute résolution et des modèles à très haute résolution pour définir les caractéristiques plus spécifiques des systèmes météorologiques, comme le volume des précipitations. Si l'on veut étendre les prévisions au-delà de cinq à sept jours, il faut disposer de modèles couplés qui tiennent compte de la dynamique des changements qui se produisent dans les océans. Aujourd'hui, un accent très marqué est placé sur la mise au point de moyens de prévision d'une saison ou d'une année à l'autre, la gestion des ressources naturelles et de l'industrie, de l'agriculture, de l'approvisionnement en eau et de la génération et de la distribution d'énergie exigeant en effet de très longs délais de planification.

68. Tous ces modèles doivent reposer sur des données provenant d'observations mondiales, normalement rassemblées une ou deux fois par jour. Des observations sur place sont réalisées à l'échelle mondiale toutes les six heures environ, les données ainsi recueillies sont transmises à des centres de traitement, où ils sont conjugués avec les données provenant d'observations spatiales, disponibles sur une base continue. Grâce à des techniques perfectionnées d'assimilation des données, des prévisions météorologiques peuvent être faites à un horizon allant de quatre heures à une semaine; l'on peut également faire des prévisions à plus longue échéance, jusqu'à quelques semaines ou un mois. Pour établir des prévisions d'une saison ou d'une année à une autre, qui sont utilisées pour surveiller des phénomènes comme El Niño, l'on utilise des modèles couplés atmosphère-océans, qui exigent des observations beaucoup plus détaillées du système terrestre. Les systèmes de satellites actuellement disponibles décrivent les perturbations et les principaux événements météorologiques et recueillent des données opérationnelles sur la température et le taux d'humidité de l'atmosphère, la température à la surface de la mer, les vents et les nuages.

69. L'exactitude et la rapidité des prévisions météorologiques se sont beaucoup améliorées depuis le lancement de satellites météo. Aujourd'hui, n'importe quelle région du monde peut être observée à intervalles fréquents au moyen de satellites sur orbites aussi bien polaires que géostationnaires. Depuis que le premier satellite météo a été lancé, en avril 1960, les observations spéciales de l'atmosphère terrestre et des systèmes météorologiques se sont rapidement développés en termes aussi bien de qualité que de quantité. Un système constitué par cinq satellites géostationnaires seulement a l'avantage de couvrir presque toute la planète à partir de positions "fixes" au-dessus de l'Équateur. Ces satellites peuvent transmettre des données toutes les demi-heures, voire à intervalles plus rapprochés, pour donner une image de l'évolution de tempêtes. Les caméras et censeurs à infrarouge transmettent des images presque continuellement, jour et nuit. Les pays ou les régions qui ont actuellement des satellites météorologiques géostationnaires sont la Chine (série Feng Yun), l'Europe (série METEOSAT), l'Inde (Indian National Satellite System for Television and Telecommunications

(INSAT)), le Japon (série de satellites météorologiques géostationnaires (GMS), la Fédération de Russie (série Electro) et les États-Unis (service de satellites géostationnaires opérationnels de l'environnement (GOES)).

70. La plupart des satellites météorologiques opérationnels sur orbite polaire appartiennent aux États-Unis (série NOAA) et la Fédération de Russie (série Meteor). La constellation de systèmes de satellites opérationnels sur orbite géostationnaire et polaire utilisés pour les prévisions météorologiques continuera de se développer à l'avenir. Actuellement, la tendance est à la multiplication des missions de satellites mixtes, aussi bien au plan national (par exemple par une fusion des utilisations militaires et civiles) que dans le cadre de la coopération internationale. Les nouveaux engins de surveillance de l'environnement sont par exemple la mission Earth Explorer METOP, la mission conjointe États-Unis/Japon de mesure des précipitations dans les régions tropicales, le Plan Vigie en Europe et les satellites environnementaux sur orbite polaire des États-Unis. Ces missions seront équipées d'instruments de surveillance de l'environnement plus perfectionnés et plus complexes que ceux qui sont actuellement utilisés.

71. Les données ainsi rassemblées doivent se prêter à une assimilation intégrée des données dans les modèles de prévision, l'objectif principal étant de pouvoir mieux prédire les événements météorologiques et climatiques importants sur le plan socio-économique et ainsi de faciliter le travail de tous ceux qui s'occupent des ressources comme l'agriculture, l'approvisionnement en eau, l'énergie, les transports, le tourisme, etc.

72. Les observations effectuées à partir d'engins spatiaux et d'avions permettent également de détecter et de suivre l'évolution de catastrophes naturelles très diverses comme cyclones et autres perturbations extrêmes du temps, sécheresses, inondations, incendies de forêt, dégâts causés par des tremblements de terre, etc. Sur un horizon temporel à plus longue échéance, ces observations constituent la seule source d'informations quantitatives sur la désertification, le déboisement, la dégradation des sols, etc. Les missions qui ont eu lieu récemment et celles qui sont prévues permettront également de rassembler des données et des informations précieuses sur les éruptions volcaniques et leur impact potentiel grâce à un contrôle des aérosols et des poussières en suspension dans l'atmosphère. Le perfectionnement des instruments dont seront équipés les satellites de la prochaine génération recueilleront des données beaucoup plus exactes sur les vents, les températures et l'humidité ainsi que sur la concentration et la répartition des gaz qui causent l'effet de serre ou qui appauvrissent la couche d'ozone.

73. Les méthodes et technologies spatiales qui pourraient être utilisées pour mettre sur pied un système d'alerte avancée en cas de catastrophe naturelle sont examinées plus en détail dans le document d'information sur l'alerte avancée et l'atténuation des effets des catastrophes (A/CONF.184/BP/2).

74. Les principales études des recherches scientifiques devront tendre en priorité à :

a) Développer les systèmes de télédétection et utiliser les données ainsi recueillies, ainsi que celles obtenues au moyen d'observations *in situ*, pour surveiller, décrire et comprendre la variabilité des systèmes climatiques sur un horizon allant de quelques jours à plusieurs mois, saisons ou années;

b) Élargir la couverture dans l'espace et améliorer les paramètres et variables nécessaires au calibrage et à la validation des données recueillies par les systèmes de satellites et de télédétection existants et prévus;

c) Améliorer les algorithmes de dépistage automatique des données recueillies par télédétection de sorte que les paramètres géophysiques dérivés soient plus représentatifs des mesures directes;

d) Améliorer la qualité des mesures obtenues par satellite qui servent à l'établissement des modèles mondiaux.

VII. ASPECTS SOCIAUX ET ÉCONOMIQUES

75. Ces dernières années, chacun est devenu de plus en plus conscient, partout dans le monde, de l'impact environnemental du progrès technologique, de l'accroissement démographique et du développement économique ainsi que du fait que les ressources de la Terre sont limitées et que la capacité de la planète de soutenir la vie est limitée aussi. Les pratiques actuelles causent des dommages considérables aux écosystèmes naturels et aux systèmes biologiques en altérant l'atmosphère et en polluant l'air, l'eau et le sol de la planète. Si les pressions qui s'exercent sur l'environnement diffèrent d'un pays à un autre, les pays, qu'ils le veuillent ou non, ont une part dans ce processus, même si c'est pour des raisons différentes. Si les pratiques actuelles se poursuivent, les dommages ainsi causés à l'environnement risquent, dans bien des cas, d'être irréversibles.

76. L'homme agit souvent en ayant en vue son intérêt économique ou social immédiat sans tenir dûment compte des conséquences que ses actes peuvent avoir sur l'environnement et, éventuellement, l'épuisement des ressources naturelles. Longtemps, l'on a cru que les réserves de ressources naturelles ainsi que la capacité de la planète d'absorber l'impact de l'action de l'homme étaient illimitées. Il a fallu attendre plusieurs générations pour comprendre que cette idée est fautive, même dans le cas des océans, qui couvrent plus de 70 pour cent de la surface du globe. Au stade actuel de développement de la société humaine, une vision et une planification à plus long terme apporteront des avantages sociaux et économiques immédiats. En fait, ce qui est surtout à craindre, c'est que des dommages irréversibles puissent survenir avant que des mesures correctives ne soient adoptées. Certes, chacun sait qu'il faudra un certain temps avant que les pratiques industrielles, sociales, économiques et culturelles s'ajustent à cette réalité. Il est généralement admis aussi qu'une action immédiate ou drastique risquerait de causer de sérieuses perturbations économiques qu'il importe d'éviter dans tous les cas où cela est possible. Autrement dit, une action à court terme peut se justifier à condition qu'il soit bien compris que si elle est nécessaire, elle ne doit pas persister indéfiniment. Une telle action doit être intégrée à des plans à longue échéance fondés sur des observations et des analyses scientifiques.

77. La santé de l'humanité est aussi devenue une source de préoccupation. L'impact négatif d'El Niño sur les habitats humains et le déversement d'engrais agricoles (qui sont des nutriments pour les algues du littoral), de polluants et de pesticides (qui se concentrent dans les mollusques et crustacés) et de contaminants contenant des métaux lourds comme du mercure ont causé des problèmes de santé dans de nombreuses régions du monde.

78. Toutes ces préoccupations ont été reflétées dans nombre d'accords internationaux, parmi lesquels l'on peut citer les suivants :

- Action 21¹ et les travaux de la Commission du développement durable;
- La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et les travaux du GICC;
- La Convention des Nations Unies pour la lutte contre la désertification dans les pays sérieusement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, particulièrement en Afrique;
- La Convention sur la diversité biologique²;
- La Convention de Vienne pour la protection de la couche d'ozone et son Protocole de Montréal.

79. Des observations à partir de l'espace ne peuvent pas suivre l'évolution de l'activité sociale et économique en tant que telle mais peuvent permettre de rassembler des informations sur les effets mondiaux de l'urbanisation, le déboisement, les floraisons d'algues dans les régions côtières, les déversements de sédiments dans les océans et l'impact de plusieurs autres précurseurs sur l'environnement.

80. Les études et recherches scientifiques prioritaires devront tendre à :

a) Améliorer les connaissances scientifiques et la compréhension des changements mondiaux, afin de réduire la vulnérabilité des systèmes humains et écologiques aux changements environnementaux majeurs. Des recherches scientifiques plus complètes et mieux ciblées permettront de réunir les bases nécessaires à l'édification de sociétés nationales et internationales solides en faisant progresser l'expansion économique et en garantissant des approvisionnements adéquats en denrées alimentaires et une eau potable abondante et de bonne qualité, tout en sauvegardant l'intégrité de l'environnement naturel, ce qui est le principe clé qui sous-tend le concept de "développement durable";

b) Acquérir les moyens d'établir une distinction entre les causes de variation des climats et des écosystèmes naturels qui sont imputables à l'activité de l'homme et celles qui découlent de forces naturelles;

c) Acquérir les moyens de comprendre et de prédire l'impact social et économique des pratiques technologiques, sociales, économiques et culturelles existantes qui risquent d'être néfastes pour les générations futures et les systèmes économiques et sociaux nationaux;

d) Formuler de nouvelles stratégies de développement économique qui soient moins nocives pour l'environnement;

e) Mettre en place des systèmes mondiaux de surveillance afin de rassembler les informations quantitatives dont ont besoin les décideurs pour mettre en oeuvre des politiques tendant à infléchir les tendances à la dégradation de la santé des écosystèmes naturels et de ressources comme l'alimentation, l'eau et l'énergie. À cette fin, tous les pays devront suivre l'évolution de la situation en ce qui concerne la surface des terres et l'utilisation des sols, le couvert végétal et le déboisement, l'expansion urbaine, les besoins en matière d'énergie et de transport, etc.;

f) Mettre au point et instituer des moyens de surveiller l'état de santé des zones côtières et des océans en général.

VIII. PROMOTION DE LA COOPÉRATION INTERNATIONALE DANS LE DOMAINE DES SCIENCES DE LA TERRE

A. Programmes internationaux de recherche

81. Pour comprendre et modéliser les aspects fondamentaux du système terrestre et de l'environnement de la planète, il faut procéder à des observations détaillées de l'atmosphère, de l'hydrosphère et des éléments du cycle hydrologique, de la surface terrestre et de la biosphère, des océans, de la cryosphère et du budget d'irradiation de la planète. Or, une telle entreprise ne peut être menée à bien en l'absence de coopération au plan mondial. Aucun pays ou région ne peut à lui seul entreprendre une telle tâche. Aussi des institutions internationales de recherche scientifique ont-elles organisé de concert trois programmes mondiaux de recherche sur le changement :

- Le Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC), élément du Programme mondial sur le climat;
- Le Programme international géosphère-biosphère (PIGB);
- Le Programme international de recherche sur les dimensions humaines des changements environnementaux.

Ces programmes internationaux, comme les autres programmes du même type, sont coordonnés au niveau des scientifiques, des institutions et des gouvernements par l'entremise d'organisations et d'arrangements bilatéraux et multilatéraux très divers. Le Conseil international des unions scientifiques (CIUS) joue un rôle très actif dans la planification des aspects scientifiques de nombre des principaux programmes internationaux.

82. L'état des connaissances scientifiques concernant l'environnement mondial est évalué au plan international par des milliers de scientifiques de plus de 150 pays dans le cadre de leurs analyses critiques des ouvrages scientifiques publiés récemment. Parmi les évaluations récentes, il y a lieu de citer celles qu'ont réalisées les trois groupes de travail du GICC sur :

- L'état des connaissances scientifiques concernant le système climatique et les changements qu'a pu apporter à celui-ci l'activité de l'homme;
- L'impact potentiel des changements climatiques mondiaux, l'adaptation à ces changements et les mesures à prendre pour en atténuer les effets;
- Des questions plus générales comme les incidences économiques des changements climatiques et de différents scénarios d'émission de polluants.

Comme suite à la demande formulée par la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique, le GICC travaille actuellement à l'élaboration de quatre rapports spéciaux sur : l'impact régional des changements climatiques (1997); les effets des transports aériens sur l'atmosphère (1998); le transfert de technologies (1999); et les scénarios d'émission de polluants (1999).

B. Coordination des programmes et des missions de satellites opérationnels et de recherches

83. Système mondial d'observation du climat (SMOC). Les objectifs du SMOC sont extrêmement divers : surveillance des systèmes climatiques; détection des changements climatiques; impact du climat et réactions face aux changements climatiques, spécialement dans le contexte des écosystèmes terrestres; collecte de données en vue d'applications au développement économique national; et recherches tendant à améliorer la compréhension, la modélisation et la prédiction des systèmes climatiques. Les activités réalisées dans le cadre du SMOC sont planifiées de manière à englober toutes les informations nécessaires pour réunir des informations sur le climat, lesquelles doivent porter, entre autres, sur l'atmosphère, les océans, la surface de la Terre, la biosphère et la cryosphère. Un tel système d'information exige des observations aussi bien terrestres qu'à partir de l'espace ainsi qu'à un système complet de traitement des données. Le SMOC est un programme évolutif fondé sur les capacités d'observation des programmes opérationnels et de recherche des pays participants. Dans le cas de l'atmosphère, il est maintenue une étroite coordination avec des programmes en cours de l'OMM. Le SMOC étudie actuellement la disponibilité de données provenant de systèmes opérationnels comme la Veille météorologique mondiale, la Veille atmosphérique mondiale et les programmes hydrologiques opérationnels. Sur la base de ces évaluations, il sera formulé des recommandations tendant à améliorer le système ou à procéder à de nouvelles observations pour rassembler toutes les données climatiques nécessaires, tout en veillant à ce que celles-ci soient conformes aux programmes existants.

84. La portée des études scientifiques menées dans le cadre du SMOC a été examinée en détail et développée en 1995. Les plans scientifiques détaillés envisagés dans le cadre du SMOC ont tenu compte de toute la gamme de questions pertinentes, y compris les besoins des usagers, les contributions des programmes opérationnels et de recherche et systèmes de données existants et la participation d'organisations aussi bien internationales que nationales. Des études scientifiques porteront notamment sur l'atmosphère, les océans, la surface terrestre, la cryosphère, l'hydrosphère et la dynamique des écosystèmes. Lorsque ces études et plans importants ont été achevés, en 1995, le SMOC a abordé une phase d'exécution qui a commencé en 1996. À mesure que le SMOC se poursuivra, les pays pourront mieux prendre conscience de l'intérêt qu'il présente non seulement pour

améliorer les prédictions climatiques, mais aussi pour planifier un développement durable et évaluer l'impact des changements climatiques sur les écosystèmes agricoles et naturels.

85. **Système mondial d'observation des océans (SMOO).** Le SMOO, qui est fondé sur une surveillance à long terme de la situation des océans, a pour but de faciliter les prévisions marines dans l'intérêt des États côtiers et des usagers nationaux et internationaux de la mer. Le SMOO est exécuté en cinq étapes, dont la dernière doit être consacrée au suivi des résultats et à l'amélioration du système, après 1997. Dans un premier temps, les études réalisées dans le cadre du SMOO ont porté principalement sur les climats côtiers, les ressources biologiques de la mer et l'état de santé des océans, autant d'éléments qui ont exigé la collecte de données à partir de l'espace.

86. Plusieurs aspects du SMOO sont réalisés aux échelons national et régional :

a) Six projets pilotes dans la Baltique, l'Arctique, la Méditerranée, la mer Noire, le plateau continental Nord-Ouest et l'Atlantique doivent être réalisés par l'Association Euro-SMOO, composée de 22 institutions opérationnelles de 14 pays;

b) Le Programme d'études sur les océans tropicaux et l'atmosphère mondiale (TOGA) et le Programme d'observations automatisées dans les régions tropicales du Pacifique, menés sous la direction des États-Unis, qui visent à améliorer les prédictions de l'oscillation El Niño;

c) Le Programme PIRATA d'observations locales dans les régions tropicales de l'Atlantique, réalisé sous la direction du Brésil;

d) Les cinq projets d'étude des environnements côtiers élaborés aux États-Unis qui doivent être réalisés dans le cadre du SMOO.

En outre, le SMOO travaille à la mise au point d'un modèle expérimental d'assimilation des données concernant les océans mondiaux (GODAE) afin d'apprendre comment les données recueillies par satellite ou par d'autres moyens peuvent être assimilées pour élaborer des modèles numériques avancés.

87. **Système mondial d'observation de la Terre (SMOT).** Ce système a été créé en 1996 par cinq organisations internationales : le PNUE, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), l'OMM et le CIUS. À la différence des systèmes mondiaux d'observation qui existent pour le climat et les océans, il n'existe aucune organisation qui puisse fournir des informations complètes (ni les moyens d'avoir accès à une telle information) sur les terres et les ressources hydrauliques, la biodiversité et l'impact de la pollution. Le SMOT a essentiellement pour objet de remédier à ce problème en reliant les réseaux et systèmes d'observation terrestre existants pour permettre aux décideurs, aux responsables de la gestion des ressources et aux chercheurs d'avoir accès aux données nécessaires pour détecter, quantifier, localiser, comprendre et diagnostiquer les changements (et spécialement les réductions) de l'incapacité des écosystèmes terrestres d'alimenter un développement durable. À cette fin, les études portent plus particulièrement sur cinq problèmes d'importance mondiale : les changements de la qualité des terres; la disponibilité d'eau douce; la perte de biodiversité; la pollution et la toxicité; et les changements climatiques.

88. **Groupe des systèmes mondiaux d'observations spatiales.** Le Groupe a été constitué en 1997 afin de coordonner les études scientifiques menées dans le cadre du SMOC, du SMOO et du SMOT sous les auspices du Système de programmes et d'institutions spécialisées des Nations Unies dans le but d'élaborer une stratégie intégrée en vue de la mise en oeuvre des systèmes mondiaux d'observations spatiales.

89. Comité des satellites d'observation de la Terre (CEOS). Le CEOS est un groupement international informel d'agences spatiales nationales chargé de coordonner les programmes nationaux d'observations spatiales du système terrestre. Le CEOS travaille actuellement à une analyse de tous les satellites, capteurs et mécanismes de collecte de données existants ou prévus pour les 10 à 15 prochaines années ainsi que les besoins des principales organisations scientifiques internationales et des organisations intergouvernementales d'utilisateurs. Cette étude devrait déboucher sur l'établissement d'un ordre de priorité et donner aux membres du CEOS l'occasion de combler les lacunes existantes et de réduire les chevauchements d'efforts, et ce sur une base volontaire. Depuis la fin de 1995, le CEOS a fait porter ses discussions principalement sur l'élément spatial de la Stratégie intégrée d'observations mondiales.

90. Stratégie intégrée d'observations mondiales (SIOM). Le concept qui sous-tend la SIOM est né lorsque l'on s'est rendu compte que l'intégration des moyens d'observation existant dans le monde au sein d'un système ou d'un ensemble de systèmes cohérents servirait au mieux les besoins de la société. Une telle stratégie représenterait l'aboutissement des efforts communs de toutes les institutions qui s'occupent de rassembler et d'analyser aussi bien les données spatiales que celles recueillies sur place. Une source fiable, efficace et économique d'informations mondiales constituerait un mécanisme précieux pour toute une série d'applications importantes, par exemple pour pouvoir comprendre et prédire les pressions qui s'exercent sur l'environnement, planifier l'allocation des ressources énergétiques et évaluer la productivité agricole. La SIOM est un mécanisme de coordination qui est conçu de manière à permettre aux utilisateurs et aux fournisseurs de données de s'associer pour définir et financer ensemble des programmes d'observations mondiales. Ce mécanisme permettra d'améliorer la continuité des données et de faciliter la transition de la recherche à des systèmes opérationnels. Il aura également pour effet de minimiser les lacunes qui existent dans les données recueillies et de réduire les doubles emplois inutiles.

91. Les objectifs de la SIOM sont les suivants :

- a) Offrir un cadre permettant de définir de manière cohérente les besoins des utilisateurs de sorte que les fournisseurs de données puissent y répondre;
- b) Réduire les chevauchements inutiles d'observation;
- c) Aider à améliorer l'allocation des ressources entre les différents types de systèmes d'observation;
- d) Permettre de créer des produits de haute qualité en facilitant l'intégration de séries de données multiples provenant d'institutions et d'organisations nationales et internationales différentes;
- e) Offrir un cadre de décision pour assurer la continuité et la complétude spatiale des observations clés;
- f) Identifier les situations dans lesquelles il n'existe pas d'arrangements internationaux concernant la gestion et la distribution des résultats des principales observations mondiales;
- g) Aider à faciliter la transition de la recherche des systèmes opérationnels grâce à un resserrement de la coopération internationale;
- h) Faire comprendre aux gouvernements la nécessité d'observations mondiales en présentant une vue globale des moyens et des limites des systèmes actuels.

C. Participation des pays en développement

92. Il est indispensable de promouvoir une participation active des pays en développement aux recherches et aux observations requises pour mieux comprendre les processus qui déterminent les changements des systèmes mondiaux. Les pays en développement se trouvent souvent dans des régions écologiquement névralgiques, par exemple dans les régions semi-arides de l'Afrique et de l'Asie, sur lesquelles les changements mondiaux ont un impact extrêmement marqué. En outre, les pays en développement ne sont pas de simples objets passifs du processus de changements mondiaux. Au contraire, ils ont un impact majeur sur ces changements, comme en témoignent les incendies de forêt en Indonésie, la combustion de biomasse en Afrique et le déboisement dans le bassin de l'Amazonie.

93. Bien que les ressources limitées dont disposent les pays en développement entravent leur participation à de vastes programmes de recherche et d'observation, ils peuvent tirer des avantages substantiels d'une collaboration avec les pays développés. Cette collaboration a été encouragée par le système des Nations Unies, des organisations scientifiques internationales non gouvernementales comme le Conseil international des unions scientifiques et plusieurs organisations non gouvernementales et fondations. Les avantages que les pays en développement peuvent tirer d'une telle collaboration sont particulièrement évidents dans le domaine des applications des résultats des observations mondiales et des données rassemblées grâce aux systèmes de surveillance (par exemple El Niño et son impact), des modèles mondiaux et des évaluations du système environnemental de la Terre.

94. Le Service géologique des États-Unis, en association avec l'Agency for International Development des États-Unis et le Ministère de l'environnement du Sénégal, s'est employé à mettre au point un cadre de surveillance à long terme pour mieux comprendre et documenter les changements rapides que connaît l'environnement du Sénégal. Des géographes, des écologistes et des spécialistes des sciences sociales travaillent ensemble, en équipe, pour mieux comprendre les dimensions humaines des changements environnementaux, en se fondant sur les données biophysiques rassemblées sur une longue période de temps dans des centaines de localités ainsi que sur des données recueillies par télédétection.

95. Au cours des 30 dernières années, les systèmes de télédétection par satellite ont été utilisés pour établir une cartographie des tendances de l'érosion des sols, de la dégradation des forêts causée par la production de charbon de bois, du déboisement, de l'expansion de l'agriculture, de la disparition du système traditionnel de jachères, de la fragmentation de l'habitat et de la perte de biodiversité. Ces tendances sont évaluées sur la base de comparaisons entre les premières images à haute résolution recueillies par satellite dans le cadre du programme américain Corona, au milieu des années 60 et les images recueillies par le système Landsat pendant les années 80 et 90. Depuis 1986 et 1988, respectivement, le Système pour l'observation de la Terre (SPOT) et l'Indian Remote Sensing Satellite (IRSS) ont recueilli des images qui sont largement utilisées dans le monde entier pour surveiller continuellement l'utilisation des terres et l'évolution du couvert végétal et de l'environnement. En outre, les changements de l'utilisation des sols et du couvert végétal sont analysés au moyen de photographies aériennes et de modèles spatiaux avancés. Ce cadre de surveillance s'applique à l'Afrique et à d'autres régions du monde, y compris les États-Unis.

96. Nombre de pays en développement, comme la Chine, l'Inde, le Maroc et d'autres encore, participent très activement aux recherches mondiales sur l'environnement, tandis que d'autres, comme l'Indonésie, le Liban et le Nigéria, commencent à peine à participer aux programmes de coopération existants. Beaucoup de pays en développement sont situés près de l'Équateur, où se manifestent des effets spécifiques dans l'ionosphère et la haute atmosphère. Comme les observatoires terrestres dans cette région sont en nombre insuffisant, aucun effort ne devrait être négligé pour renforcer les infrastructures et installations locales. Simultanément, il faudra s'attacher à améliorer les méthodes d'évaluation des données et des recherches théoriques.

97. L'apparition dans le monde entier de réseaux régionaux de recherche et d'application, par exemple dans la région Asie-Pacifique (APN), la région Europe-Afrique (ENRICH) et dans les Amériques, sont des exemples d'arrangements concertés auxquels participent directement les pays en développement. Seize pays ont signé un accord portant création de l'Institut interaméricain de recherche sur les changements mondiaux; la direction de l'Institut et son conseil exécutif sont abrités dans les locaux de l'Institut national brésilien de recherches spatiales. L'engagement pris par la communauté internationale de renforcer les capacités de recherche sur les changements mondiaux dans les pays en développement se reflète également dans le Système d'analyse, de recherche et de formation sur les changements mondiaux (START), créé conjointement par le PIGB, l'IHDP et le PMRC. Les réseaux régionaux de recherche relevant du système START s'emploient à encourager des recherches ciblées et des services de formation sur des questions régionales d'importance mondiale et s'emploient à intégrer les résultats des recherches et à en faire la synthèse ainsi qu'à diffuser des informations parmi les décideurs aux échelons national et régional.

98. Les pays en développement demeurent généralement sous-représentés dans les programmes de collecte de données sur place. Les préoccupations des pays en développement sont particulièrement pertinentes dans le contexte du programme SMOT, dont l'utilité pourrait être accrue s'ils pouvaient compter sur le concours d'un plus grand nombre de stations de collecte de données sur place dans les pays en développement. Des trois systèmes mondiaux de surveillance (SMOC, SMOO et SMOT), c'est l'accent que le SMOT met sur les aspects terrestres de la surveillance qui intéresse le plus les pays en développement, mais le SMOT est le moins développé des trois. La SIOM, qui a pour but d'améliorer la continuité des données et de faciliter la transition des recherches à des systèmes opérationnels, pourra incontestablement être d'une utilité substantielle pour les pays en développement.

Notes

¹ *Rapport de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, Rio de Janeiro, 3-4 juin 1992* (publication des Nations Unies, numéro de vente F.93.I.8 et rectificatifs), volume I : *Résolutions adoptées par la Conférence, résolution 1, annexe II.*

² Voir Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), *Convention sur la diversité biologique.*