



# Assemblée générale

Distr.: Générale  
8 décembre 2005

Français  
Original: Anglais

## Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique

### Rapport sur l'atelier ONU/Agence spatiale européenne/National Aeronautics and Space Administration des États-Unis d'Amérique sur l'Année héliophysique internationale (2007)

(Abou Dhabi et Al-Ain (Émirats arabes unis),  
20-23 novembre 2005)

## Table des matières

	<i>Paragraphes</i>	<i>Page</i>
I. Introduction .....	1-11	3
A. Historique et objectifs .....	1-6	3
B. Programme .....	7-8	4
C. Participants .....	9-11	4
II. Observations et recommandations .....	12-26	5
III. Résumé des projets .....	27-67	7
A. Atmospheric Weather Educational System for Observation and Modeling of Effects .....	27-32	7
B. Réseaux de magnétomètres .....	33-42	9
1. Observatoires à magnétomètres dans le cadre de l'Année héliophysique internationale .....	33-38	9
2. Projet MAGDAS (Système d'acquisition de données magnétiques) .....	39-42	11
C. Réseaux de radiotélescopes Année héliophysique internationale .....	43-47	13
1. Instrument astronomique basse fréquence économique pour la spectroscopie et l'observation mobile .....	43-45	13
2. Réseaux d'antennes radio basse fréquence .....	46-47	15
D. Système mondial de localisation en Afrique .....	48	15



E.	Observation nocturne distante des régions ionosphériques aux latitudes équatoriales .....	49-52	15
F.	Réseau d'observation TBF de l'anomalie magnétique sud-atlantique .....	53-56	16
G.	Réseau d'aide à la décision par cartographie des scintillations.....	57-60	18
H.	Nouveau type de détecteurs de particules destinés au réseau de prévision de la météorologie spatiale .....	61-64	20
I.	Réseau de détecteurs de muons .....	65-67	23
Annexe	Coordonnées des responsables de recherche.....		26

## I. Introduction

### A. Historique et objectifs

1. La troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (UNISPACE III), en particulier dans sa résolution intitulée "Le Millénaire de l'espace: la Déclaration de Vienne sur l'espace et le développement humain"<sup>1</sup>, a recommandé que les activités du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales encouragent la collaboration entre États Membres aussi bien au niveau régional qu'au niveau international, en insistant sur le développement des connaissances et des compétences dans les pays en développement.

2. À sa quarante-septième session, en 2004, le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique a approuvé le programme d'ateliers, de stages de formation, de colloques et de conférences prévus pour 2005<sup>2</sup>. Par la suite, l'Assemblée générale, dans sa résolution 59/116 du 10 décembre 2004 a, à son tour, approuvé les activités du Programme des Nations Unies pour les applications des techniques spatiales pour 2005.

3. En application de cette résolution et conformément aux recommandations d'UNISPACE III, l'atelier ONU/Agence spatiale européenne/National Aeronautics and Space Administration des États-Unis d'Amérique sur l'Année héliophysique internationale (2007) s'est tenu à Abou Dhabi et Al-Ain (Émirats arabes unis) du 20 au 23 novembre 2005. L'Université des Émirats arabes unis a accueilli cet atelier au nom du Gouvernement émirien.

4. Organisé par l'ONU, l'Agence spatiale européenne et la National Aeronautics and Space Administration (NASA) des États-Unis, cet atelier a été le premier d'une série sur l'Année héliophysique internationale (2007) proposée par le Comité, sur la base de discussions menées au sein de son Sous-Comité scientifique et technique et du rapport de ce dernier (A/AC.105/848, par. 181 à 192). Il a été organisé conjointement par l'Observatoire astronomique national japonais, l'Union astronomique internationale (UAI) et le Comité de la recherche spatiale.

5. L'atelier avait essentiellement pour objectif de présenter les principaux résultats scientifiques et techniques récemment obtenus afin de: a) développer la science fondamentale qu'est l'héliophysique (interactions entre la Terre, le Soleil et l'espace interplanétaire) grâce à des études interdisciplinaires des processus de l'univers; b) déterminer la réponse de la magnétosphère et de l'atmosphère terrestre et des planètes à des facteurs externes; c) promouvoir la recherche sur le système Soleil-héliosphère jusqu'au milieu interstellaire local; d) encourager la coopération scientifique internationale pour l'étude des phénomènes héliophysiques actuels et futurs; e) préserver l'histoire et l'héritage de l'Année géophysique internationale à l'occasion de son cinquantième anniversaire; et f) communiquer à la communauté scientifique et au grand public les résultats les plus marquants de l'Année héliophysique internationale.

6. Le présent rapport a été établi en vue d'être présenté au Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique à sa quarante-neuvième session ainsi qu'au Sous-Comité scientifique et technique à sa quarante-troisième session, qui se dérouleront toutes deux en 2006.

## B. Programme

7. À l'ouverture de l'atelier, des déclarations ont été faites par le Ministre de l'éducation et le Président de l'Université des Émirats arabes unis au nom du Gouvernement émirien, et par des représentants de l'ESA, de la NASA et du Bureau des affaires spatiales du Secrétariat. L'atelier était subdivisé en sessions scientifiques consacrées chacune à un thème particulier. Des communications – au nombre de 70 – ont été présentées par des orateurs invités de pays en développement et de pays développés, qui ont fait part des résultats de leurs activités de recherche et d'enseignement; elles ont été suivies de brèves discussions. Des séances d'affiches et des réunions de groupes de travail ont donné l'occasion de mettre l'accent sur des problèmes et des projets spécifiques liés à la préparation de l'Année héliophysique internationale (2007) et aux sciences spatiales fondamentales.

8. Les débats ont porté sur les questions suivantes: a) processus héliosphériques solaires; b) programmes d'enseignement des sciences et techniques spatiales; c) initiatives concernant des batteries d'instruments au sol à faible coût en vue de mener des études à l'échelle mondiale dans le domaine des sciences spatiales: fournisseurs et hôtes potentiels de ces instruments; d) recherche astrophysique dans les pays arabes; e) télescopes astronomiques dans les pays en développement; f) célébration de l'Année internationale de la physique (2005) dans les Émirats arabes unis et mécanique statistique non extensive et astrophysique; g) observatoires virtuels; et h) systèmes de données astrophysiques.

## C. Participants

9 L'ONU, l'ESA, la NASA et l'Université des Émirats arabes unis ont invité des chercheurs et des enseignants de pays en développement et de pays industrialisés de toutes les régions économiques à participer à l'atelier. Les participants venaient d'universités, d'établissements de recherche, d'observatoires, d'agences spatiales nationales ou d'organisations internationales, et leurs activités portaient sur tous les aspects des sciences spatiales fondamentales abordés lors de l'atelier. Ils avaient été choisis en fonction de leurs formations scientifiques et de leur expérience des programmes et des projets dans lesquels l'Année héliophysique internationale (2007) et les sciences spatiales fondamentales jouent un rôle de premier plan. Les préparatifs d'ensemble de l'atelier ont été pris en charge par un comité d'organisation scientifique international, un comité consultatif national et un comité d'organisation technique local.

10. Les frais de voyage et de subsistance et autres dépenses des participants de pays en développement ont été couverts par des fonds de l'ONU, de l'ESA, de la NASA et de l'Université des Émirats arabes unis. Des fonds pour la tenue de l'atelier ont également été fournis par l'Autorité de réglementation des télécommunications des Émirats arabes unis, le parc technologique Dubai Silicon Oasis, la société de télécommunications par satellite Thuraya, le Comité permanent pour la coopération scientifique et technologique de l'Organisation de la Conférence islamique, l'Emirates Heritage Club et l'hôtel Al-Ain Rotana. Au total, 150 spécialistes de l'Année héliophysique internationale et des sciences spatiales fondamentales ont participé à l'atelier.

11. Les 39 États Membres ci-après étaient représentés: Afrique du Sud, Algérie, Allemagne, Arabie saoudite, Arménie, Bahreïn, Brésil, Cameroun, Canada, Cap-Vert, Côte d'Ivoire, Égypte, Émirats arabes unis, Érythrée, Espagne, États-Unis d'Amérique, Fédération de Russie, France, Géorgie, Inde, Indonésie, Iran (République islamique d'), Iraq, Jamahiriya arabe libyenne, Japon, Jordanie, Koweït, Liban, Malaisie, Nigéria, Oman, Pakistan, Pays-Bas, République arabe syrienne, République de Corée, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Sri Lanka, Ukraine et Yémen.

## II. Observations et recommandations

12. Les participants ont constaté avec satisfaction que les centres régionaux de formation aux sciences et techniques spatiales affiliés à l'ONU, qui avaient été mis en place au Brésil, en Inde, au Maroc, au Mexique et au Nigéria, étaient opérationnels. Ils ont souligné que l'installation d'un tel centre régional en Asie occidentale serait bénéfique.

13. Les participants ont noté avec satisfaction que la mise en place de télescopes et de planétariums dans les pays en développement se poursuivait grâce au programme d'aide publique au développement du Gouvernement japonais, en particulier son appui continu à l'installation de télescopes astronomiques en Bolivie, en Éthiopie et au Pakistan et de planétariums à Cuba, en El Salvador et en Roumanie.

14. Les participants ont noté avec satisfaction que le rapport intitulé "Developing Basic Space Science World-Wide: a Decade of UN/ESA Workshops"<sup>1</sup> avait été largement diffusé et qu'il servait de guide pour les activités liées aux sciences spatiales dans les pays en développement.

15. Les participants ont noté avec satisfaction l'intérêt manifesté auprès du Bureau des affaires spatiales par l'Inde, le Japon et la République de Corée en vue d'accueillir de futurs ateliers.

16. Les participants ont fortement recommandé que soient soutenues les activités scientifiques liées à l'Année héliophysique internationale (2007). Les concepts et projets suivants ont été examinés et approuvés:

a) Le concept "Tripod", développé et appliqué par de précédents ateliers ONU/ESA sur les sciences fondamentales, devrait être adopté pour la célébration en 2007 de l'Année héliophysique internationale; l'installation et l'exploitation d'instruments scientifiques, l'obtention de données avec ces instruments et l'utilisation d'instruments et de données scientifiques à des fins d'enseignement dans les universités devraient avoir la même importance dans chacune des activités liées aux instruments scientifiques;

b) Des groupes de pays susceptibles d'héberger des instruments scientifiques, qui fourniraient des sites en des lieux où des mesures étaient souhaitables, ont été identifiés. Les groupes ayant manifesté un intérêt à cet égard venaient de diverses parties de l'Afrique, de l'Asie occidentale, de l'Inde, de la Malaisie, de l'Indonésie et de l'Amérique latine.

<sup>1</sup> W. Wamsteker, R. Albrecht et H. Haubold (éd.), *Developing Basic Space Science World-Wide: a Decade of UN/ESA Workshops* (Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2004).

c) Les fournisseurs potentiels d'instruments scientifiques ont fait état de leurs échanges avec les destinataires potentiels. Ils se sont montrés globalement satisfaits de l'intérêt manifesté par les participants;

d) Tous les fournisseurs d'instruments scientifiques ont parlé de l'état de développement de leurs instruments et du degré de préparation à leur déploiement. Il a été noté que les installations seraient quasi permanentes durant la période des activités de l'Année héliophysique internationale (2007) et que les fournisseurs d'instruments n'étaient donc pas soumis à des contraintes de délai;

e) Les participants étaient disposés à fournir un appui volontaire aux préparatifs et à la coordination des activités susmentionnées relatives aux instruments scientifiques, dans le cadre des activités générales de l'Année héliophysique internationale (2007).

17. Les participants ont fortement soutenu l'offre de collaboration des scientifiques géorgiens et ukrainiens dans le cadre de l'Année héliophysique internationale (2007). Concernant la création d'un polygone électromagnétique complexe à la base de l'Observatoire d'astrophysique d'Abastumani et la mise au point par des étudiants d'un microsatellite qui serait lancé en 2007.

18. Les participants ont noté que la collaboration dans le cadre de l'Année héliophysique internationale (2007) nécessiterait l'échange de personnels et d'instruments scientifiques entre les organisations scientifiques participantes de divers pays. Les gouvernements devraient être encouragés à faciliter autant que possible ces échanges.

19. Les participants ont observé que l'accès à l'Internet était à présent possible dans presque tous les pays et ont encouragé l'appui à son utilisation accrue comme outil d'enseignement et de recherche, du fait que de nombreuses ressources éducatives étaient désormais accessibles en ligne à moindre coût. Il a été pris note, dans ce contexte, de l'existence d'un groupe de discussion sur le thème de la "fracture numérique," créé par l'UAI. Les pays en développement ont été encouragés à y participer.

20. Les participants ont noté que les sites miroirs du système de données astrophysiques (ADS) financé par la NASA qui étaient situés en Allemagne, au Brésil, au Chili, en Chine, dans la Fédération de Russie, en France, en Inde, au Japon, en République de Corée et au Royaume-Uni avaient été acceptés avec enthousiasme par la communauté scientifique, et étaient devenus un moyen important pour les pays en développement d'améliorer leur accès à la littérature astronomique. L'action de l'ADS a été saluée.

21. Les participants se sont félicités de la mise en place d'observatoires virtuels par de grandes organisations scientifiques. Ils ont vivement recommandé de tout mettre en œuvre pour que les scientifiques des pays en développement puissent utiliser ces outils de recherche et avoir accès aux données et aux logiciels d'analyse.

22. Les participants ont constaté que la numérisation par l'ADS de publications historiques d'observatoires permettait désormais d'accéder facilement à une partie de la littérature astronomique qu'il était jusqu'ici d'obtenir dans les pays en développement.

23. Les participants ont encouragé une collaboration étroite entre l'ensemble des observatoires virtuels et l'ADS, afin de permettre aux scientifiques des pays en développement d'être compétitifs au plus haut niveau de la recherche.
24. Les participants ont salué l'existence d'un nombre croissant de sites Web éducatifs interactifs produits par de grandes organisations de recherche, qui faciliteraient grandement la formation scientifique dans les pays en développement. Les spécialistes des sciences spatiales de tous les pays devraient être encouragés à appuyer ces efforts.
25. Pour marquer le centenaire de l'annus mirabilis d'Albert Einstein, l'Assemblée générale des Nations Unies a, dans sa résolution 58/293, déclaré 2005 Année internationale de la physique. Les participants ont félicité l'Université des Émirats arabes unis d'avoir organisé pour toute l'année 2005 des activités nationales à tous les niveaux d'enseignement pour célébrer l'Année internationale de la physique et en particulier toucher la nouvelle génération d'étudiants et d'enseignants.
26. Les participants ont été informés que le principal organisateur des ateliers sur les sciences spatiales fondamentales de 1991 à 2004, M. Willem Wamsteker de l'Agence spatiale européenne était décédé. Ils ont salué ses contributions fécondes à l'organisation de cette série de manifestations dans un véritable esprit de coopération internationale, en particulier dans l'intérêt des pays en développement.

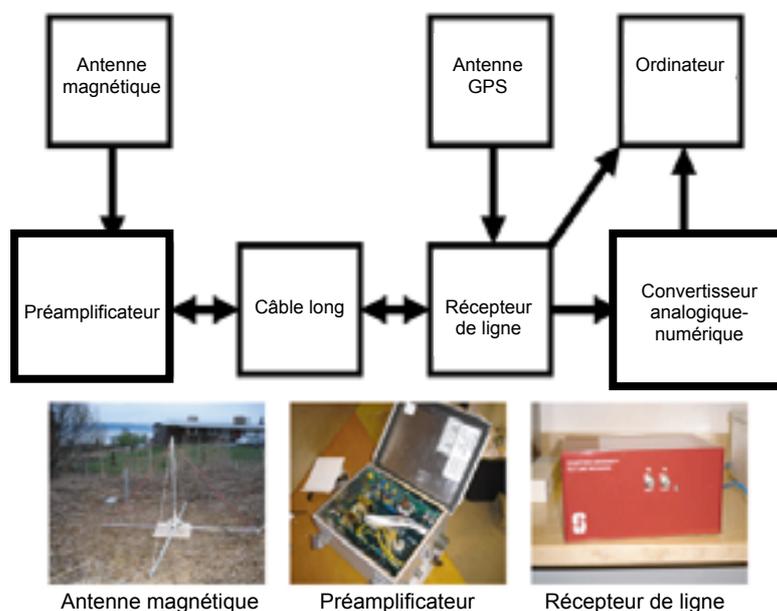
### **III. Résumé des projets**

#### **A. Atmospheric Weather Educational System for Observation and Modeling of Effects**

27. L'instrument AWESOME (Atmospheric Weather Educational System for Observation and Modeling of Effects) est un appareil de surveillance de l'ionosphère pouvant être utilisé par les étudiants du monde entier. Il détecte les éruptions solaires et d'autres perturbations de l'ionosphère.
28. À une soixantaine de kilomètres d'altitude commence l'ionosphère terrestre où les particules et l'énergie émises par le Soleil heurtent si violemment l'atmosphère que des électrons sont arrachés à leurs atomes. Les électrons libres de l'ionosphère influent fortement sur la propagation des signaux radio. Les ondes radio de très grande longueur d'onde (très basses fréquences ou VLF) sont réfléchies par l'ionosphère, ce qui permet les communications radio au-delà de l'horizon, et malgré la courbure terrestre. L'ionosphère réagit fortement aux intenses rayons X et ultraviolets émis par le Soleil lors d'une éruption solaire, d'un orage solaire ou d'une éjection de matière coronale. En contrôlant l'intensité du signal d'émetteurs VLF distants et en notant les variations inhabituelles après réflexion des ondes sur l'ionosphère, il est possible de surveiller et de suivre ces perturbations. Pour surveiller un signal VLF, il faut un récepteur radio pouvant être réglé sur des stations VLF, une antenne pour capter les signaux VLF et un ordinateur pour garder une trace des données. La plupart des radios grand public n'étant pas en mesure de capter les signaux VLF, il faut construire un récepteur et une antenne, qui forment ensemble un récepteur VLF.
29. Les éléments essentiels du système AWESOME sont l'ordinateur, l'appareil de surveillance de Stanford et l'antenne. Une liaison Internet est importante. À défaut,

on peut utiliser un graveur de DVD (vidéodisque numérique) de bonne qualité. La configuration du dispositif est illustrée à la figure I. Le récepteur de ligne reçoit les signaux VLF de deux antennes, dont l'une est généralement orientée nord-sud et l'autre est-ouest. Ces signaux sont envoyés à une carte CAN (convertisseur analogique-numérique) cadencée à 200 kHz (kilohertz) et raccordée à la prise PCI de l'ordinateur, qui traite les données issues des deux antennes exploitées chacune à 100 kHz. Le signal de synchronisation du GPS alimente également la carte, ce qui permet une acquisition très précise des données. On développe actuellement une interface USB (bus série universel) destinée à remplacer la carte CAN, ce qui améliorera la facilité d'utilisation et réduira fortement les coûts.

Figure I  
Système d'acquisition de données à très basse fréquence



*Note:* Le système d'acquisition de données fonctionne avec un récepteur GPS (Système mondial de localisation), un récepteur de ligne et des antennes de réception à orientation nord-sud ou est-ouest.

*Source:* R. Moore et E. Kim, Very Low Frequency Data Acquisition Software User Manual.

30. Le récepteur peut enregistrer deux types de données. Les données à bande étroite permettent de surveiller l'amplitude et la phase d'une seule fréquence, qui correspond à celle d'un émetteur VLF. Les données à large bande sont utilisées pour enregistrer la totalité de la forme d'onde émise par l'antenne, ce qui permet d'étudier un nombre de phénomènes atmosphériques beaucoup plus grand. Le logiciel d'acquisition de données VLF contrôle avec précision quand le système devrait acquérir des données à large bande et des données à bande étroite. Lors de l'acquisition, divers types de traitement du signal spécifiés par l'utilisateur peuvent être appliqués aux données. Celles-ci peuvent être envoyées via Internet à un autre ordinateur de l'Université de Stanford, où elles seront accessibles à tous grâce à une

interface Web, ce qui permettra à toutes les personnes intéressées de partager leurs données et de collaborer depuis des sites différents. Les données générées par le système AWESOME sont de même qualité que celles qui sont utilisées par les chercheurs de l'Université de Stanford; la sensibilité du récepteur est telle que tout signal détectable d'intensité supérieure à celle du bruit ambiant sera enregistré.

31. Il existe une version peu onéreuse du détecteur AWESOME, le détecteur SID (perturbation ionosphérique brusque). Le Stanford Solar Center a développé, en collaboration avec le Groupe spécialiste des très basses fréquences de l'Electrical Engineering Department de l'Université de Stanford et avec des enseignants locaux, des détecteurs SID bon marché que les étudiants peuvent installer et utiliser dans leurs écoles. Ils peuvent participer au projet en construisant leur propre antenne, structure simple coûtant moins de 10 dollars et dont le montage prend une à deux heures. La collecte et l'analyse des données sont effectuées par un ordinateur individuel local, qui n'a pas besoin d'être rapide ou sophistiqué. L'Université de Stanford mettra en place une base de données centralisée et un site blogue où les étudiants pourront échanger et examiner les données.

32. Un appareil de surveillance AWESOME a récemment été déployé en Tunisie. Umran S. Inan, de l'Université de Stanford, et Zohra Ben Lakhdar, de l'Université de Tunis, ont commencé à travailler en commun dans le cadre du programme Initiative des Nations Unies sur les sciences spatiales fondamentales/Année héliophysique internationale. Ce projet permettra de faire une comparaison quantitative des perturbations de l'ionosphère induites par la foudre et les ceintures de radiation dans les secteurs européen et américain. La plupart des données actuelles sur ces phénomènes ont jusqu'à présent été obtenues dans l'hémisphère occidental, alors que de nombreuses informations scientifiques indiquent que les effets dus à la foudre dans les hautes altitudes et les ceintures de radiation pourraient l'emporter sur d'autres processus à l'échelle mondiale. Le programme proposé facilitera la mise en place et la conduite d'observations VLF dans le secteur européen, et fournira ainsi une base de comparaison qui facilitera les extrapolations et les conclusions au niveau mondial. Dans le cadre de cette collaboration, Hassen Ghalila, de l'Université de Tunis, s'est rendu à l'Université de Stanford pour apprendre à utiliser le récepteur VLF et connaître toutes ses applications scientifiques.

## **B. Réseaux de magnétomètres**

### **1. Observatoires à magnétomètres dans le cadre de l'Année héliophysique internationale**

33. Les réseaux de magnétomètres sont un moyen relativement peu coûteux pour surveiller les interactions Soleil-Terre. Les stations à magnétomètres permettent de surveiller les systèmes courants voisins de stations de surveillance, ainsi que la distribution locale des ondes. L'installation sur plusieurs continents de réseaux de magnétomètres dans le cadre de l'Année héliophysique internationale serait un excellent moyen de surveiller à moyenne échelle et à l'échelle mondiale les perturbations magnétosphère-ionosphère, permettrait de définir des objectifs scientifiques aux faibles et moyennes latitudes, et donnerait l'occasion aux pays en développement d'héberger des instruments et de participer aux études scientifiques.

34. Des observatoires à magnétomètres peuvent être mis en place dans le cadre du programme Initiative des Nations Unies sur les sciences spatiales fondamentales/Année héliophysique internationale en se fondant sur les réalisations du programme CARISMA (Canadian Array for Realtime Investigations of Magnetic Activity), branche du projet CGSM (Canadian GeoSpace Monitoring) consacrée aux magnétomètres. CARISMA est le prolongement du projet CANOPUS (Réseau auroral canadien pour le programme d'étude unifiée OPEN) mené de 1986 à 2005, la batterie de magnétomètres a été améliorée pour donner une meilleure résolution temporelle et une couverture temporelle plus complète. Il utilise les mêmes magnétomètres triaxiaux à vanne de flux (fluxgate), mais avec une infrastructure des sites et un système de transmission de données améliorés.

35. Chaque observatoire à magnétomètres proposé dans le cadre de l'Année héliophysique internationale comprendra deux stations à magnétomètres séparées en longitude d'environ 200 km. Il faudra en outre: deux magnétomètres triaxiaux à vanne de flux, un enregistreur séquentiel de données, un dispositif de synchronisation GPS et une source d'alimentation (on pourra utiliser des panneaux solaires ou des éoliennes dans le cas de sites isolés). La méthode d'extraction des données dépend de l'infrastructure disponible (modem de ligne téléphonique ou réseau Internet local).

36. Il faut compter environ 22 000 dollars pour un observatoire comprenant un magnétomètre à vanne de flux triaxial avec sortie RS232 (environ 6 000 dollars pour chaque composante), un ensemble enregistreur séquentiel de données/ordinateur individuel de qualité professionnelle avec GPS (environ 2 000 dollars) et un système d'alimentation à panneaux solaires (environ 2 000 dollars). Des vannes à flux sont disponibles dans le commerce dans les pays industrialisés, mais le Centre de l'Institut de recherches spatiales de Lvov (Ukraine) propose également d'excellents dispositifs à faible bruit. L'Ukraine a signé des accords d'exportation et des conventions fiscales avec certains pays industrialisés (dont le Canada). La mise en place d'une batterie de magnétomètres dans le cadre de l'Année héliophysique internationale pourrait contribuer au développement de pays comme l'Ukraine, qui disposent du savoir-faire approprié.

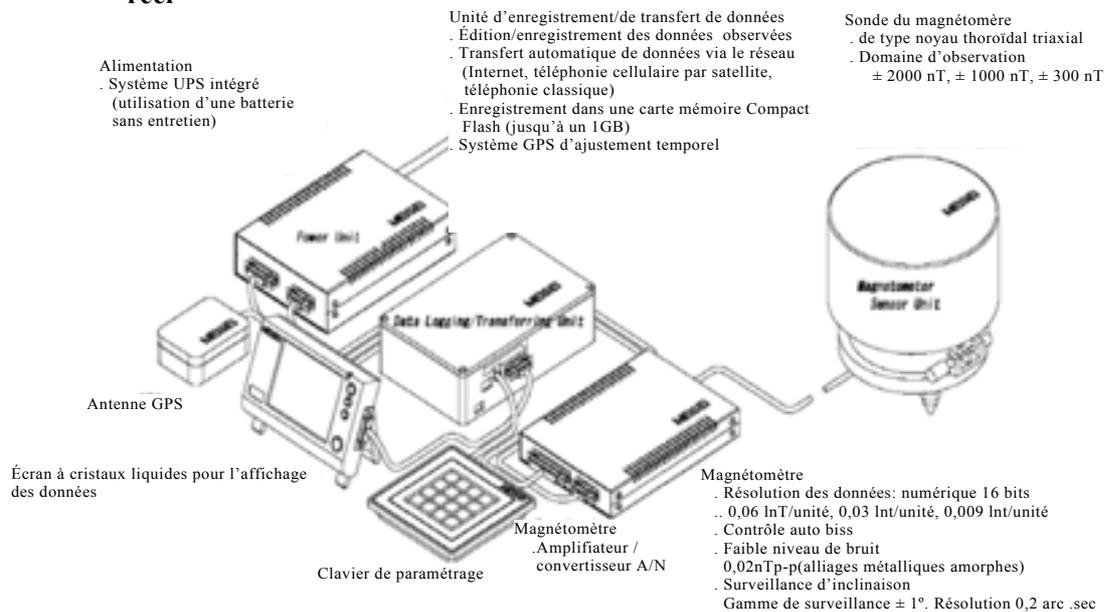
37. Pour le réseau CANOPUS, l'Université d'Alberta (Canada) développe une source d'alimentation autonome par panneaux solaires/énergie éolienne qui pourrait être modifiée pour utilisation dans les pays en développement à l'occasion de l'Année héliophysique internationale avec une infrastructure légère (ce type de source peut en outre être déployé dans une zone magnétique calme et permet d'éviter les problèmes d'instabilité du réseau électrique local). Dans le cadre du programme Initiative des Nations Unies sur les sciences spatiales fondamentales/Année héliophysique internationale, l'Université d'Alberta a pu, avec d'autres instituts partenaires, développer une interface d'enregistreur de données/ordinateur individuel à synchronisation par GPS utilisable pour le magnétomètre, mettre au point des sources d'alimentation à cellules solaires/énergie éolienne pour observatoires à magnétomètres de l'Année héliophysique internationale, intégrer les systèmes avant livraison aux scientifiques des pays participants, et organiser un certain nombre de "centres de formation au déploiement" pour une région ou un continent, qui permettent aux scientifiques de pays en développement d'assister à un déploiement, ce qui les aidera à installer eux-même leurs propres observatoires dans leurs pays respectifs.

38. Les données obtenues via le réseau Année héliophysique internationale présentent un potentiel plus intéressant que celles recueillies par des observatoires uniques, qui pourraient toutefois être utilisées, notamment en combinaison avec des ensembles de données Année héliophysique internationale. La participation au projet CANOPUS passe par la fourniture de données au programme Année héliophysique internationale (peut-être en partenariat avec l'Année géophysique électronique). Il est important de disposer d'un centre de données des batteries de magnétomètres de l'Année héliophysique internationale pour collecter, stocker et archiver les données. La valeur scientifique des données du réseau Année héliophysique internationale prises dans leur ensemble encourage les scientifiques concernés des pays participants à travailler en collaboration. Ces données pourraient également servir de référence aux scientifiques participants activement à des ateliers/conférences dans le cadre de l'Année héliophysique internationale.

## **2. Projet MAGDAS (Système d'acquisition de données magnétiques)**

39. Le système MAGDAS (Système d'acquisition de données magnétiques) (voir figure II) est déployé pour des études de la météorologie spatiale pendant la période 2005-2008; il a de nombreux éléments communs avec le programme Année héliophysique internationale/Initiative des Nations Unies sur les sciences spatiales fondamentales. Ce projet aidera à mieux comprendre la dynamique des modifications du plasma dans l'environnement spatial proche de la Terre au cours d'une tempête magnétique ou d'une petite tempête aurorale, la réponse électromagnétique de l'ionosphère/magnétosphère à diverses modifications du vent solaire, et les mécanismes de pénétration et de propagation des perturbations dans la gamme ULF via les processus qui gouvernent les courants ionosphériques de type DP-2 depuis le vent solaire jusqu'à l'ionosphère équatoriale. Grâce aux données MAGDAS, il est possible de surveiller et de modéliser en temps réel: a) le système global de courants tridimensionnel; b) la densité du plasma ambiant afin de comprendre les modifications de l'environnement électromagnétique et du plasma dans l'environnement spatial proche de la Terre.

Figure II  
Système à magnétomètre MAGDAS/CPMN d'acquisition de données en temps réel



40. Afin de produire un système de courants tridimensionnel global, on utilisera les données MAGDAS pour cartographier la structure ionosphérique équivalente des courants au jour le jour. Les champs de courant et les champs électriques sont couplés à toutes les latitudes, bien que l'on étudie souvent séparément les champs aux hautes latitudes et ceux à moyenne ou faible altitude. L'utilisation de la structure des courants ionosphériques MAGDAS permettra de mieux comprendre les processus de couplage électromagnétique au niveau mondial à toutes les latitudes.

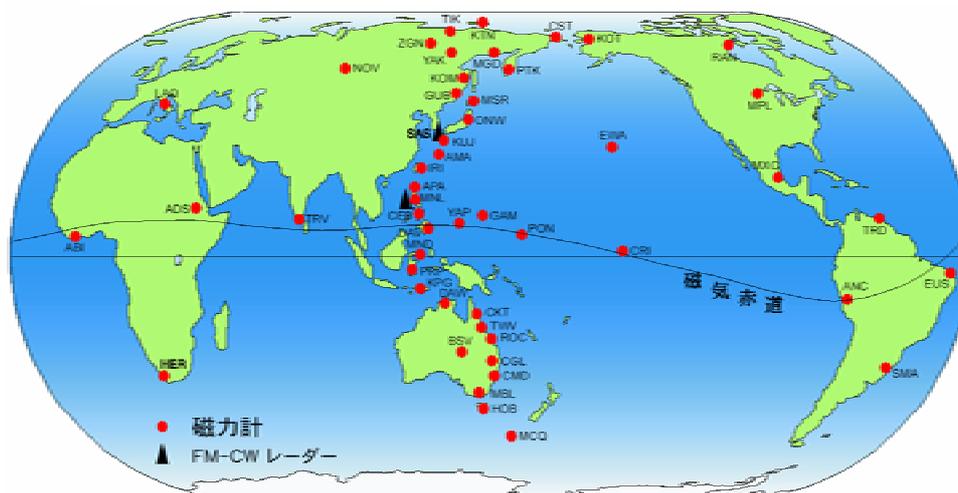
41. De nouveaux magnétomètres MAGDAS seront déployés sur plusieurs paires de stations le long du méridien magnétique à 210° pour observer les pulsations de résonance des lignes de force du champ magnétique et mesurer la densité du plasma ambiant. Les stations de chaque paire sont distantes d'environ 100 km en latitude. Les pulsations de résonance permettront de suivre les variations temporelles et spatiales de la densité du plasma magnétosphérique. Les données MAGDAS seront analysées par les méthodes du rapport d'amplitudes et de comparaison de phases afin d'identifier les événements de résonance et de mesurer leurs fréquences propres, ce qui permet d'observer la variation dans le temps de la densité du plasma. Ces mesures seront extrêmement utiles pour comprendre les variations de la densité du plasma ambiant et les limites de la plasmopause au cours d'une tempête magnétique ou d'une petite tempête aurorale.

42. Le système MAGDAS utilisera le réseau CPMN (réseau de magnétomètres circumpan-Pacifique) (voir figure III) dont font partie un certain nombre de pays du monde (Australie, États-Unis, Fédération de Russie, Indonésie, Japon, Philippines et province chinoise de Taiwan). Des magnétomètres pourraient également être

déployés dans les pays suivants: Afrique du Sud, Brésil, Canada, Côte d'Ivoire, Éthiopie, Inde, Mexique, Micronésie (États fédérés de), Pérou et Trinité-et-Tobago.

Figure III

### Stations du réseau de magnétomètres circumpan-Pacifique



## C. Réseaux de radiotélescopes Année héliophysique internationale

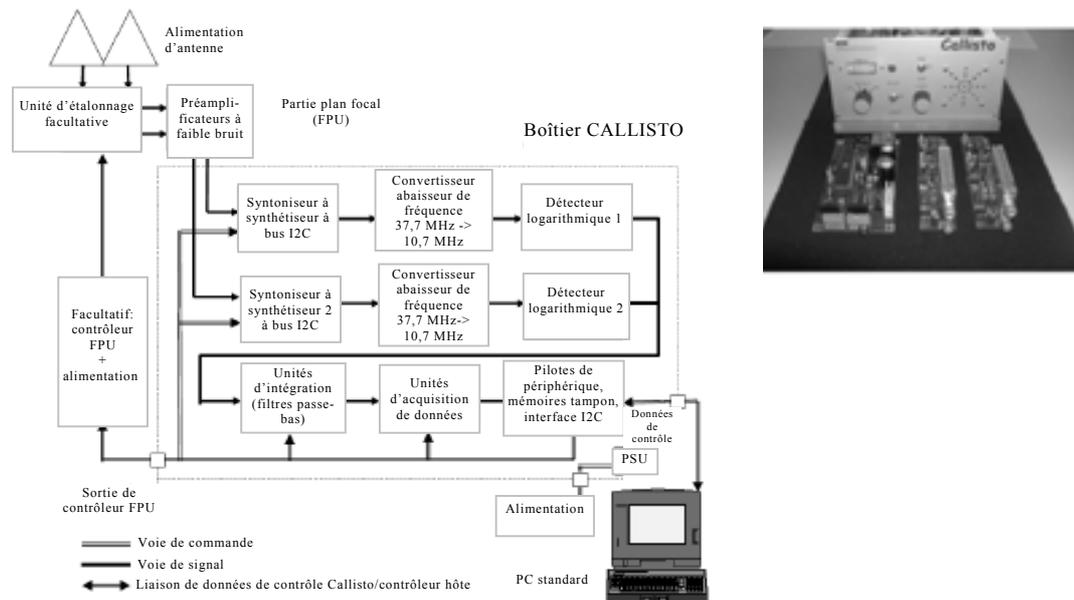
### 1. Instrument astronomique basse fréquence économique pour la spectroscopie et l'observation mobile

43. CALLISTO (Instrument astronomique basse fréquence économique pour la spectroscopie et l'observation mobile) est un récepteur agile en fréquence à deux canaux constitué à partir de composants électroniques grand public disponibles dans le commerce (voir figure IV). Le faible coût de ses composants matériel et logiciel et sa rapidité d'assemblage en font un instrument idéal à utiliser dans le cadre du programme Année héliophysique internationale/Initiative des Nations Unies sur les sciences spatiales fondamentales. Sa largeur de bande totale est de 825 mégahertz (MHz), la largeur de chaque canal étant de 300 kHz. Le spectromètre permet d'effectuer 1 000 mesures par seconde. Il convient pour les observations radio des émissions solaires à basse fréquence dans le cadre d'activités de recherche ou d'applications de météorologie spatiale. La météorologie spatiale est devenue un sujet d'actualité dans des sociétés qui dépendent de plus en plus des satellites pour leurs activités quotidiennes. La téléphonie cellulaire, dont la transmission peut être fortement perturbée par des phénomènes climatiques spatiaux, constitue à cet égard un cas exemplaire. La météorologie spatiale étudie les variations des conditions dans l'environnement spatial de la Terre, qui sont dues principalement aux phénomènes solaires. L'observation des émissions radio est un moyen simple de détecter les perturbations solaires lorsqu'elles sont encore proches du Soleil. La détection précoce de perturbations solaires telles que les ondes de choc est possible depuis le sol grâce à des radiospectromètres tels que CALLISTO. Le Soleil produisant divers types d'émissions radio, des spectromètres tels que CALLISTO

sont nécessaires pour déterminer la nature des émissions radio solaires cohérentes dues à des éruptions qui ont une incidence sur la météorologie spatiale. Un des types importants d'émissions radio observés dans la gamme spectrale de CALLISTO sont les sursauts radio liés aux ondes de choc et sont appelés sursauts radio de type II. Ils sont provoqués par des ondes de choc formées par des éjections de masse coronale. Ces sursauts produisent des chocs au voisinage du Soleil, susceptibles d'atteindre la Terre au bout de quelques jours et de déclencher des orages géomagnétiques.

Figure IV

#### Conception et composants de base de l'instrument astronomique basse fréquence économique pour la spectroscopie et l'observation mobile



*Note:* Au premier plan de la photographie de droite, la carte mère pour l'acquisition de données et l'interface avec le processeur RISC ATmega 16 et les deux récepteurs synchrones. Le spectromètre complet figure à l'arrière-plan. Sa largeur est de 24 cm. Cet instrument est extrêmement bon marché, peut être facilement copié et installé en de nombreux endroits.

44. Il est important d'observer le Soleil en continu, ce qui nécessite un réseau de spectromètres placés en divers endroits du globe. Cinq instruments CALLISTO ont été construits jusqu'à présent et mis en service sur plusieurs sites, dont celui de Bleien à Zürich (Suisse) et à l'Observatoire national de radioastronomie (NRAO) des États-Unis. Des dispositions sont prises pour en déployer un en Inde au Centre de radioastronomie de Ooty. Avec les spectromètres existant à Hiraiso (Japon), le radiospectrographe multicanaux ARTEMIS, en Grèce, l'Observatoire solaire Culgoora en Australie, ils formeront un excellent réseau radio pour les activités scientifiques liées à l'Année héliophysique internationale et pour atteindre les objectifs du programme Année héliophysique internationale/Initiative des Nations Unies sur les sciences spatiales fondamentales.

45. Le logiciel d'exploitation distribué sur un processeur RISC (ordinateur à jeu d'instructions réduit) ATmega16 et un ordinateur individuel ou portable standard. Sur le processeur RISC, le pilote de périphérique, la mémoire tampon et le logiciel d'interface sont programmés en C++, et le concept utilisé est celui de machine à états déclenchés par interruption. Le logiciel hôte équipant l'ordinateur individuel est également en C++ et fonctionne sous Windows 2000 et Windows XP. Les paramètres à appliquer sont stockés localement dans un fichier texte, qui peut être facilement adapté à d'autres configurations d'observation. Des ports RS232 supplémentaires sont préconfigurés pour communiquer avec un système GPS élargi et des capteurs de température et d'humidité externes. On peut également contrôler CALLISTO via l'Internet, en utilisant un adaptateur de réseau RS232. Un programme de commande géré par fichier lance et arrête les mesures en fonction de l'heure locale (Temps Universel). Il se répète automatiquement chaque jour et peut être modifié en ligne ou à distance.

## **2. Réseaux d'antennes radio basse fréquence**

46. On peut déployer deux types d'antennes radio: des dipôles uniques basse fréquence pour surveiller les sursauts radio solaires, ou des réseaux de 8 à 16 éléments pour surveiller tout le ciel.

47. On étudie les possibilités d'installation d'un radiotélescope basse fréquence sur le site de Gauribidanur (Inde) pour l'utiliser en conjonction avec l'instrument Callisto en place à Ooty.

## **D. Système mondial de localisation en Afrique**

48. L'idée principale est d'accroître le nombre de stations GPS temps réel à double fréquence disponibles dans le monde pour l'étude de la variabilité ionosphérique. La réponse du contenu électronique total (CET) de l'ionosphère lors d'orages géomagnétiques au-dessus de l'Afrique présente un intérêt particulier. Ce programme est parfaitement compatible avec la magnétométrie.

## **E. Observation nocturne distante des régions ionosphériques aux latitudes équatoriales**

49. RENOIR (Observation nocturne distante des régions ionosphériques aux latitudes équatoriales) est un ensemble d'instruments permettant d'étudier le système ionosphère/thermosphère aux latitudes faibles et équatoriales, sa réponse aux orages ainsi que les irrégularités susceptibles d'apparaître au jour le jour. Des instabilités du plasma aux latitudes équatoriales, généralement désignées par les termes couche F étalée aux latitudes équatoriales, "bulles" de plasma aux latitudes équatoriales, ou dépressions, peuvent provoquer la scintillation des signaux radio qui se propagent à travers la région perturbée. Il en résulte un affaiblissement de la puissance du signal reçu, qui se traduit par une perte de signal. On sait que des scintillations se produisent à partir de fréquences de plusieurs gigahertz (GHz) et en-deçà, ce qui affecte de nombreux secteurs. La construction et le déploiement d'une station RENOIR permettent de mieux comprendre la variabilité de l'ionosphère nocturne et ses effets sur les systèmes cruciaux de navigation et de communication par satellite.

50. Une station RENOIR type comprend les éléments suivants: a) un réseau d'instruments de surveillance monofréquence de la scintillation de signaux GPS permettant de mesurer la dimension, l'orientation et la vitesse des irrégularités; b) un récepteur GPS double fréquence, qui mesure le contenu électronique total (CET) de l'ionosphère (inutile si le site choisi héberge déjà un tel récepteur); c) un système d'imagerie plein ciel, qui mesure deux émissions thermosphère/ionosphère distinctes à partir desquelles la structure et le déplacement bidimensionnels peuvent être observés (des données peuvent également être utilisées pour le calcul de la densité et de la hauteur de l'ionosphère); et d) deux interféromètres Fabry-Perot miniatures (MiniME), permettant de mesurer les vents et les températures des particules thermosphériques neutres (les deux interféromètres sont distants d'environ 300 km, ce qui permet des mesures bistatiques dans un volume commun).

51. Le déploiement de stations RENOIR devrait se faire en collaboration avec le programme Année héliophysique internationale/Initiative des Nations Unies sur les sciences spatiales fondamentales. L'idéal serait de les installer en Afrique à une longitude d'environ 7 degrés par rapport à l'équateur magnétique. Les instruments d'une station RENOIR ont tous été utilisés sur le terrain lors d'expériences précédentes et sont à un stade de développement relativement mature. Les systèmes optiques peuvent être installés dans des logements autonomes et nécessitent donc une infrastructure très réduite. Si l'organisme hôte dispose d'une installation optique, il sera facile de modifier les équipements pour les relier aux dômes optiques existants. La station devrait être installée dans une région à ciel relativement sombre (à l'écart de grandes villes) et loin de toute structure élevée (immeubles ou arbres). Si l'on doit utiliser deux interféromètres Fabry-Perot, le second devrait être placé à environ 300 km du site principal.

52. Le récepteur GPS double fréquence est très robuste et il faut seulement un site pour installer l'antenne et un minimum d'espace pour l'ordinateur de contrôle. Le réseau d'instruments de surveillance monofréquence de la scintillation de signaux GPS nécessite une surface d'environ 100 m sur 100 m pour installer les 5 antennes en configuration croisée. Là aussi, il faut un minimum d'espace pour les ordinateurs de contrôle des différents récepteurs. Le réseau doit être situé loin de toute structure élevée (immeubles ou arbres).

## **F. Réseau d'observation TBF de l'anomalie magnétique sud-atlantique**

53. Le programme réseau d'observation TBF de l'anomalie magnétique sud-atlantique a trois grands objectifs: surveiller l'activité solaire à long et court termes; surveiller les perturbations ionosphériques au-dessus de l'anomalie magnétique sud-atlantique; et étudier l'atmosphère.

54. Le réseau TBF sera déployé dans une région où la couverture actuelle à des fréquences similaires est très insuffisante. Il permettra d'étudier la région de l'anomalie magnétique sud-atlantique à des altitudes ionosphériques basses ainsi que sa structure et sa dynamique lors de perturbations géomagnétiques. La surveillance de ces phénomènes solaires transitoires permettra de mieux connaître la basse ionosphère et les processus chimiques qui s'y déroulent. À long terme, il sera possible de définir un indice ionosphérique de l'activité solaire caractéristique de l'agent ionisant de la basse ionosphère (ultraviolet extrême et raie Ly-alpha). Ces

caractéristiques sont pour l'instant peu connues et accessibles seulement par l'intermédiaire de modèles. L'instrumentation proposée permettra également d'étudier la contrepartie TBF de phénomènes atmosphériques récemment découverts liés aux éclairs et aux nuages d'orage. Les activités scientifiques proposées se rapportent aux thèmes suivants de l'Année héliophysique internationale: incidence des phénomènes météorologiques spatiaux sur le climat terrestre; et étude de l'ionosphère/magnétosphère.

55. Théoriquement, les récepteurs TBF devraient pouvoir mesurer des perturbations d'amplitude de 1 décibel (dB) (par rapport au niveau non perturbé) et des modifications de phase de seulement 0,5  $\mu$ s, ce qui correspond aux modifications observées par exemple au cours d'éruptions solaires de très faible ampleur. Ces mesures de phase et d'amplitude constituent les données de base obtenues en sortie. Il n'y a pas de prescriptions rigoureuses concernant l'emplacement des récepteurs, si ce n'est que les interférences d'origine humaine devraient être minimales. Parmi les sites potentiels dotés d'une infrastructure figurent: Piura, au nord du Pérou (05°12'S; 80°38'O); Punta Lobos, près de Lima au Pérou (12°30'S; 76°48'O); Palmas, dans l'État de Tocantins au Brésil (10°10'S; 49°20'O); Santa Maria, dans l'État de Rio Grande do Sul au Brésil (29°43'S; 53°43'O); et le complexe astronomique El Leoncito (CASLEO) de San Juan en Argentine (31°32'S; 68°31'O).

56. Ces nouveaux sites complèteront les sites TBF existants d'Atibaia, dans l'État brésilien de São Paulo (23°11'S; 46°36'O), et de la station de recherche antarctique brésilienne Comandante Ferraz (62°05'S; 58°24'O). On pourra ainsi comparer les caractéristiques de propagation TBF pour des trajets traversant la totalité de la région SAMA, des trajets pour lesquels les récepteurs sont situés à la limite ou hors de cette région et des trajets aboutissant en son centre (voir figure V). Le coût estimé de l'instrumentation est de 5 000 dollars par unité (il y a cinq unités), auxquels il faut ajouter 10 000 dollars pour les voyages entre les stations à des fins d'installation, d'essai et de maintenance.

Figure V  
**Sites pour l'étude de l'anomalie magnétique sud-atlantique et trajets depuis l'émetteur NAA**



*Note:* L'emplacement des sites d'observation de l'anomalie magnétique sud-atlantique et l'orientation quasi nord-sud des trajets depuis l'émetteur NAA des États-Unis (44°39'N; 67°17'O) permettront de faire des comparaisons avec des exemples de mesures simultanées du trajet totalement éclairé depuis la station NLK (48°12'N; 121°55'O) et du trajet partiellement éclairé depuis la station NPM (38°59'N; 76°27'O), qui sont également indiqués. Les scientifiques pourront ainsi obtenir une vue bidimensionnelle de l'anomalie. Dans le cas d'une émission depuis la station NAA, on devrait également prendre en compte le trajet au-dessus de Puerto-Rico, où des mesures radio de l'ionosphère sont faites à partir des installations d'Arecibo (18°30'N; 68°31'O) dans le cadre de l'étude des farfadets.

## G. Réseau d'aide à la décision par cartographie des scintillations

57. Les perturbations ionosphériques peuvent entraîner des fluctuations rapides en phase et en amplitude des signaux satellite observés à la surface ou à proximité de la surface de la Terre. Ces fluctuations, appelées scintillations, affectent les signaux radio jusqu'à une fréquence de quelques Gigahertz et dégradent fortement voire interrompent le fonctionnement de systèmes de navigation et de communication par satellite. Le système SCINDA (réseau d'aide à la décision par cartographie des scintillations) comprend un ensemble de détecteurs au sol et des modèles quasi empiriques permettant de déclencher des alertes temps réel et de prévoir à court terme (en moins d'une heure) l'effet des scintillations sur les communications UHF par satellite et les signaux GPS dans la bande L au niveau de la région équatoriale terrestre.

58. SCINDA est un système d'alerte et de prévision en temps réel d'interruption de communications fondé sur des données. Il a pour but d'aider à spécifier et prévoir la dégradation des communications due à la scintillation ionosphérique dans la région équatoriale terrestre. Les paramètres de scintillation dans la bande UHF et la bande L sont mesurés, modélisés et transmis en temps voulu pour donner une spécification régionale de l'environnement de scintillation afin de réduire les effets sur les communications par satellite.

59. Les données recueillies alimentent un modèle semi-empirique qui génère des représentations graphiques tricolores simples des grandes structures de scintillation équatoriales et des régions dont les communications sont perturbées.

60. Le concept SCINDA (voir figure VI) est actuellement expérimenté à l'aide de huit stations équatoriales situées en Amérique du Sud, Asie du Sud-Ouest et Asie du Sud-Est (figure VII). Les cartes de scintillation sont mises à la disposition des utilisateurs en tant qu'appui opérationnel prototype via un réseau sécurisé. L'analyse des données recueillies durant la récente période d'activité solaire maximale (2000-2002) montre que les récepteurs GPS monofréquence et double fréquence sont sujets à d'importantes erreurs en période de forte scintillation. Tous les sites SCINDA sont à présent équipés de dispositifs GPS de surveillance de la scintillation et un modèle est en cours d'élaboration. Suivant en cela le cycle solaire, les scintillations dans la bande L diminueront ces prochaines années et devraient rester relativement modérées jusqu'en 2008 environ. L'objectif est de disposer de produits d'erreur de navigation GPS précis pour appuyer les opérations SCINDA avant le prochain maximum d'activité solaire.

Figure VI

**Configuration d'antenne THF (à gauche); chaîne de réception THF et système d'acquisition de données (à droite)**

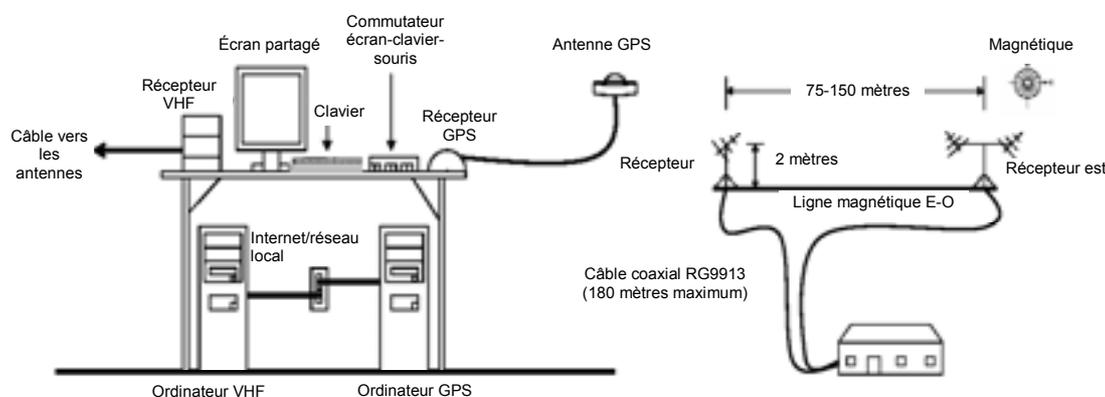
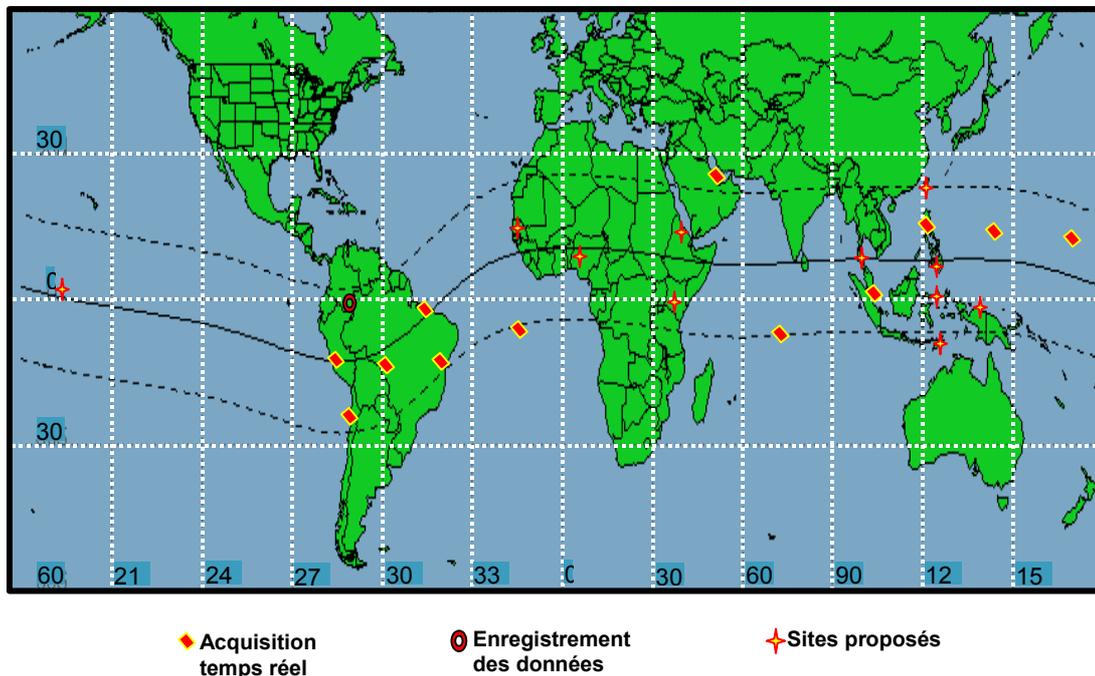


Figure VII  
**Stations existantes et proposées du réseau d'aide à la décision par cartographie des scintillations**



*Note:* L'équateur magnétique et les latitudes magnétiques nord et sud à 20° sont représentés par des lignes pointillées. Les scintillations naturelles les plus intenses se produisent durant la nuit à moins de 20° de l'équateur magnétique terrestre. On cherche à effectuer des observations SCINDA dans la ceinture de 20° de part et d'autre de l'équateur magnétique terrestre. Il est prévu d'étendre le réseau à d'autres régions géographiques.

## H. Nouveau type de détecteurs de particules destinés au réseau de prévision de la météorologie spatiale

61. Les faisceaux de particules accélérées au niveau du Soleil se superposent au rayonnement cosmique de fond uniforme et isotrope provenant des sources galactiques et extragalactiques. Les spectromètres spatiaux mesurent les séries chronologiques des flux avec une excellente résolution pour l'énergie et la charge. Des détecteurs de surface mesurent les séries chronologiques de particules secondaires, générées en cascade dans l'atmosphère par des ions primaires. L'étude de ces particules illustre le mécanisme d'accélération de particules à haute énergie qui se produit en cas d'éruptions solaires et d'ondes de choc dues à des éjections de masse coronale.

62. Les séries chronologiques d'intensités de particules à haute énergie peuvent fournir des informations très économiques sur les caractéristiques essentielles des perturbations interplanétaires. Les rayons cosmiques ayant une grande vitesse et un libre parcours moyen de diffusion, ces informations voyagent rapidement et peuvent

s'avérer utiles pour la prévision de la météorologie spatiale. L'existence et la taille de la composante sud du champ magnétique intervenant dans les éjections de masse coronale dans l'espace interplanétaire (ICME) sont corrélées aux effets de modulation exercés par ces éjections sur la population ambiante de rayons cosmiques galactiques au cours de leur propagation jusqu'à une unité astronomique (UA). Sur leur trajet vers la Terre (qui dure de 15 à 50 heures), le nuage et les ondes magnétiques modulent le flux des rayons cosmiques galactiques et le rendent anisotrope. Des détecteurs surfaciques sont installés au Centre de recherche sur l'environnement spatial d'Aragats (ASEC), au Mont Aragat (Arménie), à 2 000 et 3 200 mètres d'altitude (40°30'N, 44°10'E). À une rigidité seuil de 7,6 Gigavolt (GV), il est possible de détecter les composantes chargées et neutres des rayons cosmiques secondaires pour différents seuils d'énergie et divers angles d'incidence (voir la vue schématique du nouveau détecteur de l'ASEC sur la figure V). Cette richesse d'informations (voir le tableau ci-après et la figure VIII), conjuguée à la simulation des phénomènes physiques, peut être utilisée pour évaluer l'ampleur du choc d'onde ainsi que le champ magnétique "gelé" dans l'éjection de masse coronale dans l'espace interplanétaire. On peut donc prévoir l'arrivée d'orages géomagnétiques plusieurs heures avant l'arrivée de l'éjection ICME sur les magnétomètres du satellite perfectionné d'étude de la composition des particules solaires et de l'Observatoire solaire et héliosphérique. Le délai d'une demi-heure connu grâce à ces instruments en orbite autour du point de Lagrange L1 est un peu court pour prendre des mesures de prévention efficaces et protéger les activités terrestres contre les effets néfastes des orages géomagnétiques majeurs. Pour déterminer les principales sources d'erreur dans les prévisions, il est nécessaire de mesurer, simuler et comparer: a) les séries chronologiques de neutrons, de particules chargées à faible énergie (principalement des électrons et des muons) et des muons à haute énergie; b) la corrélation entre les flux variables de diverses particules secondaires; et c) des informations directionnelles.

Tableau

**Caractéristiques des détecteurs du Centre de recherche sur l'environnement spatial d'Aragats**

Détecteur	Altitude (mètres)	Surface (mètres carrés)	Seuil(s) (MeV)	Mise en service (année)	Taux de comptage ( $\text{min}^{-1}$ )
NANM (18NM64)	2 000	18		1996	$2 \times 10^4$
ANM (18NM64)	3 200	18		2000	$4,5 \times 10^4$
SNT-4 seuils +	3 200	4 (60 cm d'épaisseur)	120, 200, 300, 500	1998	$5,2 \times 10^{4a}$
Veto		4 (5 cm d'épaisseur)	10		$1,3 \times 10^5$
NAMMM	2 000	5 + 5	10 + 350 <sup>b</sup>	2002	$2,5 \times 10^4$
AMMM	3 200	45	5 000	2002	$1,2 \times 10^{5c}$
MAKET-ANI	3 200	6 x 16 groupes	10	1996	$1,5 \times 10^5$

<sup>a</sup> Taux de comptage pour le premier seuil; les particules chargées proches de la verticale sont exclues.

<sup>b</sup> Le premier chiffre est le seuil d'énergie pour le détecteur supérieur, le second est le seuil pour le détecteur inférieur.

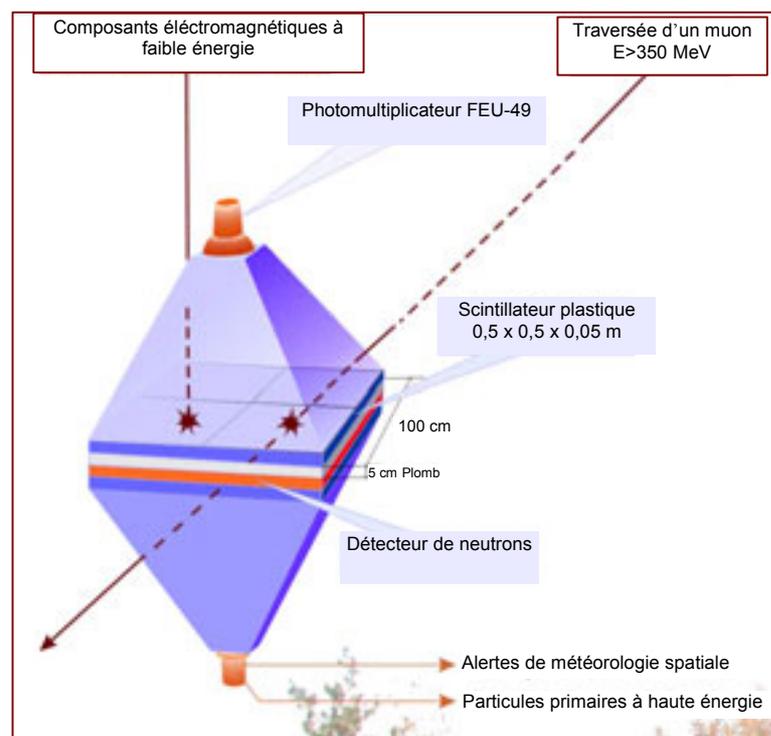
<sup>c</sup> Taux de comptage total pour 45 détecteurs à muons sur 100.

63. Plusieurs nouveaux types de détecteurs de particules sont actuellement conçus et fabriqués sur la base de l'expérience acquise grâce à l'analyse de corrélation de séries chronologiques à plusieurs variables obtenues à l'aide des détecteurs de l'ASEC. Pour que l'instrument reste peu coûteux, il est fait preuve de souplesse en ce qui concerne les options grâce à une conception modulaire. Le prix d'une unité totalement autonome capable de transmettre des données par Internet ne dépassera pas 20 000 dollars, de sorte qu'il sera possible d'étendre considérablement le réseau des pays ayant des activités de recherche spatiale pour qu'ils puissent prendre part à l'Année héliophysique internationale (2007). On peut à tout moment placer des unités en cascade pour obtenir une nouvelle fonctionnalité (en définissant par exemple de nouvelles directions d'observation). Grâce au réseau mondial de détecteurs de neutrons, on pourra étudier les nouvelles populations d'ions primaires.

64. Il est proposé de déployer de tels détecteurs dans les pays suivants: Azerbaïdjan, Géorgie, Iran (République islamique d'), Israël, Koweït, Émirats arabes unis et Turquie. Des déploiements supplémentaires en Bulgarie et en Croatie sont possibles.

Figure VIII

**Diagramme schématique du nouveau détecteur de muons et de neutrons du Centre de recherche sur l'environnement spatial d'Aragats**

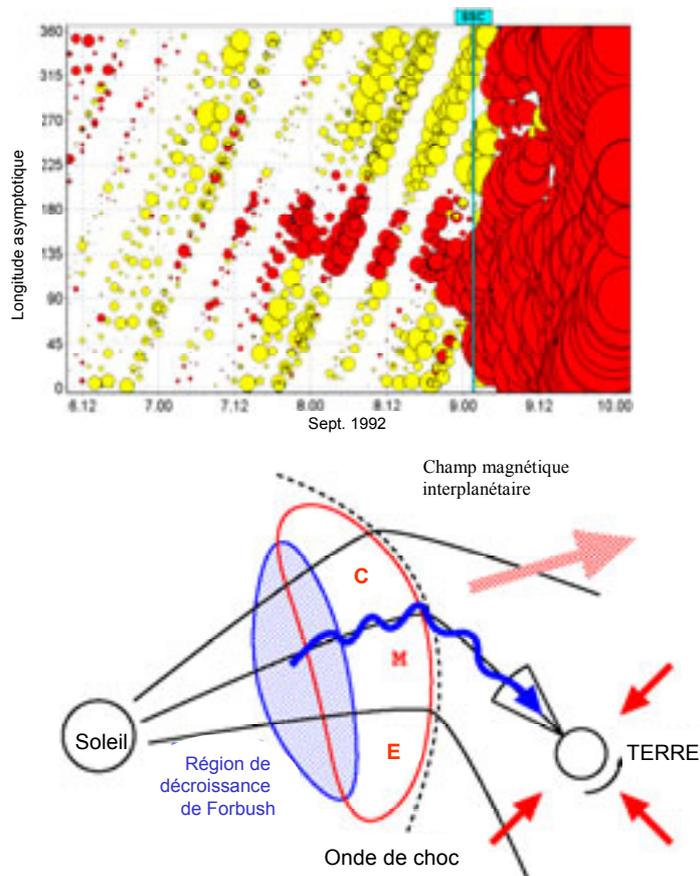


## I. Réseau de détecteurs de muons

65. Neuf organismes de sept pays (Allemagne, Arménie, Australie, Brésil, Japon, Koweït et États-Unis d'Amérique) collaborent au sein d'un réseau de détecteurs de muons. De nombreux pays exploitent déjà de tels détecteurs et certains en ont récemment installé.

66. L'utilité du détecteur de muons pour l'observation d'éjections de masse coronale dans l'espace interplanétaire est illustrée à la figure IX. Chaque cercle représente une mesure horaire effectuée par un télescope, en fonction du temps (jour de l'année en abscisse) et de la longitude asymptotique de la direction de visée (en degrés en ordonnée). Les cercles clairs et foncés représentent, respectivement, un excès et un déficit de l'intensité du rayonnement cosmique par rapport à la valeur moyenne, la taille de chaque cercle étant proportionnelle à l'ampleur de l'excès ou du déficit. La décroissance précurseuse (cercles sombres) de l'intensité du rayonnement cosmique à partir d'environ  $-135$  degrés de longitude (dans la direction du soleil le long du champ magnétique interplanétaire nominal) est clairement visible plus d'une journée avant le déclenchement brusque de l'orage (arrivée au niveau de la Terre de l'onde de choc consécutive à une éjection de masse coronale). Le mécanisme physique de la décroissance précurseuse est illustré à la figure IX (au bas). Une éjection de masse coronale se propageant depuis le Soleil et précédée d'une onde de choc affecte la population préexistante de rayons cosmiques galactiques de diverses manières. L'effet le plus connu est la décroissance de Forbush, qui correspond à une forte diminution de la densité des rayons cosmiques dans une région de l'espace située en aval de l'onde de choc provoquée par l'éjection de masse coronale. Certaines particules de cette région s'échappent vers la région amont; se propageant à une vitesse proche de celle de la lumière, elles devancent l'onde de choc et l'on observe loin en amont une anisotropie de cône de perte. On observe généralement les cônes de perte quatre à huit heures avant l'arrivée des ondes de choc associées aux orages géomagnétiques majeurs.

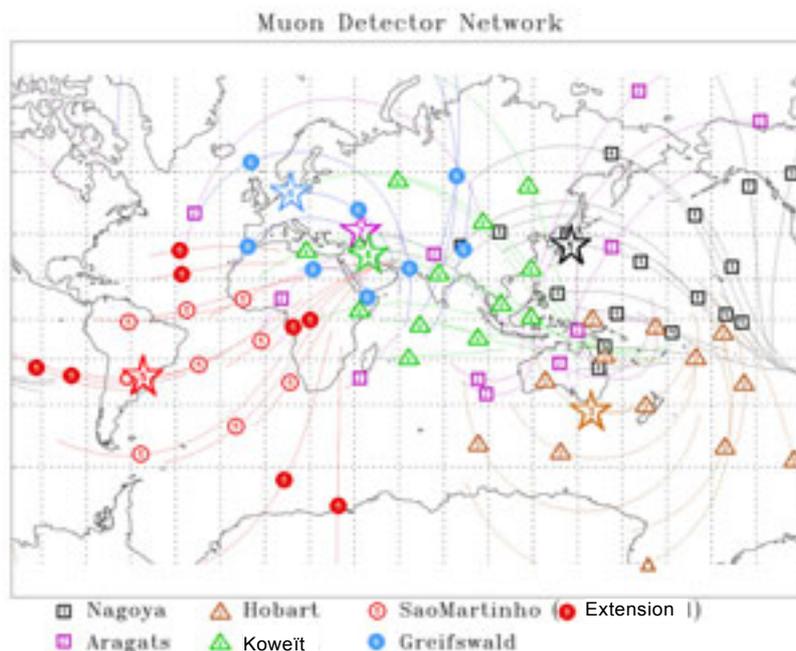
Figure IX  
 Détection d'éjections de masse coronale dans l'espace interplanétaire



*Note:* Le diagramme de la figure IX illustre l'apparition d'un cône de perte précurseur observé avant l'arrivée d'une éjection de masse coronale au niveau de la Terre le 9 septembre 2002. Le schéma de la figure montre le mécanisme physique à l'origine de l'apparition du cône de perte précurseur. L'éjection de masse coronale due au Soleil (région CME) et la région de déplétion (région de décroissance de Forbush) sont également indiquées. L'éjection de masse coronale génère une onde de choc (ligne pointillée). Les particules captées par le détecteur sont signalées par une flèche hélicoïdale. Trois lignes de champ interplanétaires sont également indiquées.

67. Le réseau de détecteurs de muons (voir figure X) est presque complet. Il manque encore un détecteur souhaité aux États-Unis (à Hawaï ou sur la Côte Ouest) et un en Afrique du Sud.

Figure X  
Réseau de détecteurs de muons



*Note:* L'emplacement géographique de chaque détecteur est indiqué par une grande étoile et identifié par un chiffre. Chaque symbole (carré, triangle ou cercle) indique l'observation asymptotique d'une particule incidente sur un télescope donné présentant une rigidité primaire médiane. Les symboles vides désignent les directions d'observation existantes tandis que les symboles pleins représentent des directions à ajouter par l'installation et l'extension prévues de détecteurs. Les lignes traversant chaque symbole représentent l'étendue des directions d'observation correspondant aux 80 % centraux de la réponse en énergie de chaque télescope.

#### Notes

- <sup>1</sup> *Rapport de la troisième Conférence des Nations Unies sur l'exploration et les utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique, Vienne, 19-30 juillet 1999, (publication des Nations Unies, numéro de vente: F.00.I.3) chap. I, résolution 1.*
- <sup>2</sup> *Documents officiels de l'Assemblée générale, cinquante-neuvième session, Supplément n° 20 et correctif (A/59/20), par. 71.*

**Annexe****Coordonnées des responsables de recherche**

Titre du projet:	Le GPS en Afrique
Responsable:	Christine Amory-Mazaudier
Affiliation:	CMNET/CRPE
Adresse:	4, Avenue de Neptune 94107 - Saint-Maur-des-Fossés, France
Téléphone:	(+ 33-1) 4886-1263
Télécopie:	(+ 33-1) 4889-4433
Courriel:	mazaudier@crpeis.decnet.cnet-pab.fr
Titre du projet:	Spectromètres solaires CALLISTO agiles en fréquence
Responsable:	Arnold Benz
Affiliation:	Institut d'astronomie
Adresse:	ETH-Zentrum CH-8092 Zurich Suisse
Téléphone:	(+ 41-1) 632-4223
Télécopie:	(+ 41-1) 632-1205
Courriel:	benz@astro.phys.ethz.ch
Site Web:	<a href="http://www.astro.phys.ethz.ch/staff/benz/benz.html">http://www.astro.phys.ethz.ch/staff/benz/benz.html</a>
Titre du projet:	Nouveau type de détecteurs de particules destinés au réseau de prévision de la météorologie spatiale
Responsable:	Ashot Chilingarian
Affiliation:	Institut de Physique Alikhanian
Adresse:	Centre de recherche sur l'environnement spatial d'Aragats (ASEC), Division des rayonnements cosmiques (CRD) Institut de Physique Alikhanian Burakan, Aragatzotn Arménie
Téléphone:	(+ 374-1) 34-4377
Télécopie:	(+ 374-1) 34-4377
Courriel:	chili@crdlx15.yerphi.am

Titre du projet: SCINDA  
Responsable: Keith Groves  
Affiliation: AFRL/VSBXI  
Adresse: 29 Randolph Road  
Hanscom Air Force Base  
MA 01731  
États-Unis d'Amérique  
Téléphone: (+ 1-781) 377-3137  
Télécopie: (+ 1-781) 377-3550  
Courriel: Keith.Groves@hanscom.af.mil

Titre du projet: AWESOME  
Responsable: Umran S. Inan  
Affiliation: Université de Stanford  
Adresse: Professeur d'électrotechnique  
Directeur du Laboratoire Espace, Télécommunications et  
Radioscience (STAR)  
Packard Bldg. Rm. 355, 350 Serra Mall  
Stanford University  
Stanford, CA 94305-9515  
États-Unis d'Amérique  
Téléphone: (+ 1-650) 723-4994  
Télécopie: (+ 1-650) 723-9251  
Courriel: inan@stanford.edu  
Site Web: <http://nova.stanford.edu/~vlf/>

Titre du projet: Réseaux d'antennes radioélectriques basse fréquence  
Responsable: Justin C. Kasper  
Affiliation: Massachusetts Institute of Technology  
Institut Kavli d'astrophysique et de recherche spatiale  
Adresse: 37-673, 77 Massachusetts Avenue  
Cambridge, MA 02139  
États-Unis d'Amérique  
Téléphone: (+ 1-617) 253-7611  
Fax: (+ 1-617) 253-0861  
Courriel: jck@mit.edu  
Titre du projet: Spectromètre radioélectrique basse fréquence

- Responsable: Robert J. MacDowale  
Affiliation: Centre de vol spatial Goddard  
Adresse: Code 695, Bldg. 21, Rm. 262  
NASA/GSFC  
Greenbelt, MD 20771  
États-Unis d'Amérique  
Téléphone: (+ 1-301) 286-2608  
Télécopie: (+ 1-301) 286-1433  
Courriel: Robert.MacDowall@nasa.gov
- Titre du projet: RENOIR (Observation nocturne distante des régions ionosphériques aux latitudes équatoriales)  
Responsable: Jonathan J. Makela  
Affiliation: Université d'Illinois à Urbana-Champaign  
Adresse: 1308 W. Main Street, 316 CSL  
Champaign, IL 61801  
États-Unis d'Amérique  
Téléphone: (+ 1-217) 265-9470  
Télécopie: (+ 1-217) 333-4303  
Courriel: jmakela@uiuc.edu
- Titre du projet: Réseau de détecteurs de muons  
Responsable: Kazuoki Munakata  
Affiliation: Shinshu University  
Adresse: Département de Physique, Faculté des sciences  
Université Shinshu  
3-1-1 Asahi, Matsumoto 390-8621  
Japon  
Téléphone: (+ 81-263) 372-463  
Télécopie: (+ 81-263) 372-562  
Courriel: kmuna00@gipac.shinshu-u.ac.jp
- Titre du projet: Surveillance de l'activité solaire et de l'anomalie magnétique sud-atlantique à l'aide d'un réseau de récepteurs à ondes myriamétriques  
Responsable: Jean-Pierre Raulin

Adresse: CRAAM-Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Rua da Consolação 896  
São Paulo 01302-907, SP  
Brésil

Téléphone: (+ 55 11) 323-68697

Télécopie: (+ 55 11) 3214-2300

Courriel: [rauln@craam.mackenzie.br](mailto:rauln@craam.mackenzie.br)

Site Web: [www.craam.mackenzie.br](http://www.craam.mackenzie.br)

Titre du projet: Projet MAGDAS

Responsable: Prof. Dr. Kiyohumi Yumoto

Affiliation: Centre de recherche sur l'environnement spatial, Université Kyushu 53

Adresse: 6-10-1 Hakozaki, Higashi-ku  
Fukuoka 812-8581  
Japon

Téléphone: (+ 81-92) 642-4403

Télécopie: (+ 81-92) 642-4403

Courriel: [yumoto@serc.kyushu-u.ac.jp](mailto:yumoto@serc.kyushu-u.ac.jp)

---