

ETUDE SUR LA DETECTION DES PHENOMENES AEROSPATIAUX RARES

Volume n° 3

III, LA SITUATION DANS LE MONDE*

oo

III.1. Prises de contact.

Le thème de réflexion n° 3 conduisait à mener une **enquête** sur les **réalisations** existant dans le monde dans le domaine de la détection des phénomènes aérospatiaux rares, et particulièrement sur les réseaux de détection et de localisation de la foudre et des météores. Dans cette optique, deux approches ont **été** adoptées en parallèle : **d'une part** une prospection à long terme aussi **systematique** que possible, et **d'autre part** des actions ponctuelles en fonction de relations déjà établies ou de centres **d'intérêt** particuliers.

III.1.1. Prospection systematique.

Au départ de cette démarche, **il** y avait **l'idée** que dans le domaine très particulier de la détection de phénomènes rares l'initiative de personnes isolées ou de petits groupes pouvait jouer un **rôle** important. Les moyens techniques requis **n'étant pas nécessairement "pointus"** ni onéreux, on pouvait donc **s'attendre** à trouver des idées **originales** ou des réalisations **intéressantes** en n'importe quel point du globe,

Une lettre **descrivant brièvement** l'objet de l'étude et **demandant** les adresses de points de contact éventuels a été envoyée **simultanément** aux attachés scientifiques de 75 ambassades à Paris. Une autre lettre était envoyée aux adresses **communiquées** par les **ambassades**, demandant de la **documentation** écrite sur les éventuels systèmes de détection utilisés. Des copies de ces lettres, rédigées en trois langues, sont présentées **dans le** volume n° 4 (**para.III.5.1.**), ainsi que **l'intégralité** des courriers **échangés**.

A la date **d'impression** de ce rapport, les résultats quantitatifs de cette démarche sont les suivants :

- Sur les 72 ambassades destinataires de la première lettre, 17 ont répondu par écrit (Afrique du Sud, Belgique, Brésil, Canada, Colombie, Danemark, Equateur, Espagne, Etats-Unis, Grande-Bretagne, Hongrie, Indonésie, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, République Fédérale d'Allemagne, Tunisie, Uruguay). Par ailleurs, 3 ambassades ont répondu par téléphone, n'ayant pas d'information particulière sur le sujet (Chine, Iran, URSS).
- La seconde lettre a été adressée à 31 organismes dans le monde, et 16 réponses ont été reçues, émanant de 10 pays distincts.
- Dans leurs réponses, 5 pays parlent de la foudre : Afrique du Sud, Belgique, Grande-Bretagne, Pays-Bas, RFA.
- De même, 3 pays mentionnent les météores : Canada, Grande-Bretagne, RFA.

Il faut noter, en ce qui concerne les Etats-Unis, que le point de contact proposé par l'ambassade à Paris avait déjà été "exploité" au cours d'une visite (cf. para. III.1.2.), ce qui explique la limitation des dialogues avec ce pays rapportés dans ce paragraphe.

III.1.2. Contacts particuliers.

Dans un premier temps, des contacts personnels en Espagne (ESA) ont été mis à profit pour prospector ce pays. Si les météores ne semblent intéresser que les astronomes amateurs, la foudre a fait l'objet d'études dans le passé. Une lettre de "type 2" a été adressée à la direction de l'"Instituto Nacional de Meteorologia" (Apartado 285, Madrid), mais est restée sans réponse à ce jour. Le catalogue des associations d'astronomes amateurs dans le monde, mentionné au para. II.1.11., a été obtenu d'Espagne grâce à ces contacts.

AU cours de l'été 82, une mission de Monsieur Esterle aux

Etats-Unis a permis de prendre contact avec des spécialistes directement concernés par des systèmes connus de détection, et en particulier le réseau Prairie de détection des météores, le système militaire GEODSS de détection des satellites, et les satellites de surveillance de l'activité orageuse,

D'un autre côté, le plus grand spécialiste mondial de la détection optique des météores a été contacté directement par lettre (Monsieur Ceplecha, de l'observatoire d'Ondrejov, près de Prague, Tchécoslovaquie). Après quelques échanges épistolaires, une visite de son observatoire a été organisée en Septembre.

Les correspondances intéressantes et les comptes-rendus de visites aux Etats-Unis et en Tchécoslovaquie sont fournis dans le volume n° 4.

Enfin il faut signaler les contacts pris par lettres avec deux sociétés britanniques privées s'intéressant aux météores :

- la "British Meteor Society", qui publie régulièrement la revue "Meteoros" entièrement consacrée aux observations de météores et à des articles de fond les concernant. Cette société, assez unique dans sa spécialité, ne semble pas disposer de moyens propres de détection.
- la "British Astronomical Association" a géré, vers les années 1974-75, un réseau actif de détection optique qui collaborait avec le réseau européen de Monsieur Ceplecha. Les lettres adressées à l'ancien responsable de cette activité étant restées sans réponse, il semble que celle-ci ait totalement cessé d'exister.

III.1.3. Phénomènes autres que la foudre et les météores.

.....

Au cours des différents échanges d'information avec l'étranger, il a été très peu fait mention de phénomènes aérospatiaux rares

autres que la foudre et les météores (si l'on considère à part les **satellites artificiels**). Les exceptions sont les suivantes :

- en Afrique du Sud, le "**National Institute for Telecommunications Research**" tient à jour un dossier sur les observations d'**OVNIs**.
- en Belgique, l'"**Institut d'Aéronomie Spatiale**" a publié, en collaboration avec l'**ETCA**, les résultats de travaux sur l'aérosol stratosphérique qui s'est formé à la suite de l'**éruption** en 1980 du volcan du Mont Sainte-Hélène. L'étude des effets optiques de cet aérosol a **mis** en oeuvre des **LIDARS** et des ballons.
- au Canada, le réseau MORP d'**observation** des météores (cf, para.III.3.) a permis l'observation occasionnelle d'autres types de phénomènes **lumineux** :
 - observation de l'**apparition** d'une nova en 1975.
 - photographies d'éclairs. . . .
 - recherche d'**éclairs** optiques associés à des sursauts **gamma** dans certaines étoiles. Les résultats totalement **négatifs** ont conduit à abandonner pratiquement cette théorie.
 - statistiques sur la couverture nuageuse.
- les **ambassades** du Danemark et de la République Fédérale Allemande **signalent** des associations privées se consacrant aux **OVNIs** (**Scandinavia UFO Information** et **MUFON** respectivement). De **même**, l'**ambassade** belge mentionne la Société Belge d'**Etude des Phénomènes Spatiaux**,

111.2. Détection de la foudre.

A chaque seconde, **il** tombe en moyenne 100 coups de foudre **sur** le sol terrestre. **Les dégâts causés** par ce phénomène sont **multiples** : **pylônes**, lignes téléphoniques, antennes, **aéronefs**, **lignes** à haute tension, etc... sont touchés; **dans** certaines

régions peu peuplées (Alaska, ouest des **Etats-Unis**), la moitié des incendies de **forêt** sont provoqués par la foudre; aux Etats-Unis, une **étude** portant sur les foudroiements d'avions a montré qu'en 10 **ans** il y **avait** eu **dans** ce pays 9 accidents catastrophiques, 7 incidents majeurs et 153 incidents mineurs (électronique détériorée).

Pour se protéger efficacement contre les effets destructifs de ce phénomène, **il n'est** pas suffisant de développer empiriquement des dispositifs tels que **paratonnerres** ou déperditeurs à touffes. La connaissance des mécanismes de formation des éclairs et la disponibilité de systèmes de détection sont **également** indispensables, ne serait-ce que parce que la spécification **d'un** bon dispositif de protection doit tenir compte de la probabilité et de la fréquence d'apparition **des** coups de foudre au lieu considéré.

Par ailleurs, la foudre faisant partie intégrante des processus atmosphériques, son étude aussi bien **locale** que globale a une grande importance **d'un** point de vue purement scientifique. Il semble que ses manifestations puissent **être corrélées** avec d'autres phénomènes **naturels** (tornades, par exemple), ce **qui** contribue **également** à justifier **l'étude** de systèmes de détection.

Les efforts consentis par les différents pays **dans** ce domaine sont très inégaux, et reflètent en grande partie leur niveau d'exposition aux effets de la foudre (niveau **d'activité** orangeuse). Les **informations** recueillies au cours de cette étude sont **fatalement** incomplètes, à la fois parce qu'elles ne touchent que les **pays** dont l'ambassade a bien voulu **répondre**, et parce que de nombreux travaux concernant la détection **d'explosions** nucléaires (problème très proche) sont classifiés.

Les paragraphes qui suivent présentent de façon synthétique les **systèmes** de détection utilisés ou envisagés dans certains pays, référence étant **faite** dans la mesure du possible à des publications où le lecteur intéressé pourra trouver des informations plus détaillées.

D'une façon générale, les détecteurs de foudre font appel à deux techniques distinctes, parfois complémentaires : la **détection** électromagnétique et la détection optique. La détection est **faite** au-dessous des orages (au sol) ou au-dessus, à l'**aide d'avions** ou de satellites. On notera enfin que les **éclairs** peuvent **être** classés en deux grandes catégories : les éclairs entre **nuage** et sol, et les éclairs entre nuages.

III.2.1. Afrique du Sud.

En raison de l'**intense** activité orageuse dans leur **pays**, et le niveau **kéronique** (nombre de jours par **an** où l'on entend au moins une fois le tonnerre du point considéré) dépasse 100 à **certains** endroits, les Africains **du Sud** se sont **penchés** depuis très longtemps sur l'**étude** de la foudre. Au sein du CSIR (Council for Scientific **and Industrial** Research), deux instituts font des recherches **dans ce domaine** :

- le NITR (National Institute for Telecommunications Research) **s'intéresse** à la physique de la foudre, **grâce** à un **réseau** de récepteurs VHF qui fournit des images **tri-dimensionnelles** des éclairs avec une haute résolution **spatiale** et temporelle.
- le NEERI (National Electrical Engineering Research Institute) gère un réseau de compteurs de coups de foudre qui couvre tout le pays, tout en conduisant des recherches sur les **paramètres** de la foudre à l'**aide** d'un **mât** et d'**équipements** de mesure.

Le NEERI a envoyé un document récapitulatif sur les **travaux** effectués dans ce pays. Les lignes qui suivent présentent un bref résumé de cette intéressante publication, seuls les points concernant directement la détection étant un peu plus détaillés (le document complet est dans le volume **n° 4**) :

- Introduction : Le premier article traitant d'**une** relation entre des sautes de tension **dans** des lignes et des

phénomènes atmosphériques date de 1911. Dès 1930 était créé un **comité** d'investigation sur la foudre, et 2 ans plus tard les premières photographies d'éclairs étaient obtenues à l'aide d'une caméra à lentilles tournantes,

- Origine de la foudre : Cette partie présente les diverses théories avancées pour expliquer les **mouvements** des charges **dans** les nuages, leur possible origine **dans** les cristaux des parties hautes des nuages, et la distribution des **champs** électriques qui en résulte à l'intérieur des nuages.

- Mécanisme de la décharge : La valeur critique de l'intensité d'un champ électrique dans l'**air** (claquage) est 3×10^6 V/m au niveau de la mer, 2×10^6 V/m à environ 3 Km d'altitude, et moins de 10^6 V/m **au-dessus** de 9 Km d'altitude. Cela pourrait expliquer les longues décharges **horizontales** observées (effet **d'isolation** aux niveaux inférieurs).

Les **modèles** successivement proposés pour la propagation des précurseurs et le **mécanisme** des coups en retour (**return strokes**) sont expliqués et illustrés.

- Paramètres de l'éclair : 3 paramètres importants pour caractériser un éclair sont présentés :

- Coups multiples : des statistiques portant sur plus de 12000 éclairs montrent leur répartition en fonction du nombre de coups **par** éclair (nombre de décharges successives le long du **même canal**) : ce nombre varie entre 1 et plus de 20 en Afrique du Sud.

De même sont indiquées les répartitions des **intervalles** de temps entre les coups (de 5 à 250 ms) et des durées totales des éclairs à coups multiples (de 10 à 900 ms).

- Courants de foudre : des mesures de courants sont effectuées à Pretoria **grâce** à un **mât** de 60 mètres de **haut** entièrement isolé du sol. Les distributions des **valeurs** de courant mesurées **par** différents chercheurs (dont le

Suisse K. Berger) sont **présentées** : malgré certaines différences, une **valeur médiane d'environ 40 KA** semble admise.

.Polarité des éclairs : une **grande majorité** des éclairs **émane** de nuages chargés négativement. Le rapport diffère selon les auteurs, probablement parce **qu'il dépend** de la géométrie des **mâts** ou des tours utilisés pour les expériences.

- **Densité d'éclairs** : la mesure de **l'activité** orageuse par le niveau **kéronique** s'est rapidement montrée **insuffisante**, au fur et à mesure que **l'expansion** industrielle du *pays* accroissait les risques liés à la foudre.

Dès 1947, des instruments de **comptage** ont été développés, mesurant les changements de champ électrique ou les émissions radio-électriques à très basse fréquence (quelques KHz).

Au début des années 70, un compteur centré sur 500 Hz fut mis au point et adopté comme standard CIGRE (Conférence internationale sur les grands systèmes électriques à haute **tension**). **Ses** caractéristiques ont été évaluées en utilisant des **caméras** plein-ciel avec lesquelles on **localisait** les éclairs par **triangulation** : réponse aux éclairs nuage-sol et nuage-nuage, et portée effective. Bien que les portées effectives **diffèrent** (37 Km pour les éclairs nuage-sol et 18 Km pour les éclairs **nuage-nuage**), la discrimination entre les deux sortes **d'éclairs** était pratiquement impossible.

Par la suite, des compteurs accordés sur 5 KHz et 10 KHz furent développés. Le modèle à 10 KHz, permettant une bonne discrimination des éclairs nuage-sol, fut **adopté comme** standard (CIGRE 10 KHz). Un grand nombre de **CIGRE 10 KHz** ont été installés en Europe, en **Extrême-Orient** et en Amérique du Sud; plusieurs centaines ont **été** mis en opération en Afrique du Sud, les résultats bruts étant traités sur ordinateur pour dresser une **carte** des densités **d'éclairs** et faire des statistiques en fonction du mois, de **l'heure**, etc...

- Protection contre la foudre : Les différents domaines à protéger sont passés en revue :

.Distribution d'énergie : pour tenter d'expliquer les lois qui régissent les probabilités de foudroiement des lignes électriques, des expériences particulières ont été mises sur pieds : enregistrement photographique d'éclairs à proximité immédiate d'une ligne, avec enregistrement simultané des variations de tension sur la ligne.

.Systèmes de télécommunication : depuis l'apparition des micro-circuits et des calculateurs terminaux, ainsi que de la télévision, les protections à prévoir sont beaucoup plus draconiennes qu'auparavant.

.Bâtiments : l'importance des mesures à prendre en un lieu donné dépend de la probabilité d'apparition d'un coup de foudre en ce lieu, Ce point est réglé par le Bureau des Standards Sud-Africain.

.Personnes : on compte environ 40 personnes tuées par la foudre chaque année. La foudre en boule est mentionnée comme phénomène inexpliqué et controversé, mais dont la probabilité d'existence réelle est étayée par le nombre considérable de témoignages le concernant.

En marge de la publication résumée ci-dessus, il faut noter qu'en Afrique du Sud, le NEERI utilise en parallèle avec ses compteurs CIGRE un système américain basé sur une antenne de goniométrie (boucles croisées) et un micro-calculateur : le LLP (**L**ightning **L**ocation **a**nd **P**rotection, Tucson, USA), déjà cité au para.II.3.2.

Enfin, une station de détection à très basse fréquence et très longue portée est installée à Prétoria. Elle fait partie d'un système de 3 stations, situées respectivement à Prétoria, Tel-Aviv et Berlin, qui est présenté au para III.2.3. (RFA).

III.2.2. Benelux.

Parmi les réponses des organismes belges contactés, celle de l'Institut Royal Météorologique signale que des observations sont effectuées dans le domaine des décharges d'électricité atmosphérique, et présente les schémas des **appareillages** utilisés. Il s'agit d'une part de compteurs **standard** du type CIGRE 10 **KHz** installés dans 5 villes distinctes, et d'autre part de dispositifs d'enregistrement des signaux électriques transitoires émis par les **éclairs** dans la bande 1 **KHz - 600 KHz** (enregistrement sur mémoire digitale avec une résolution temporelle de 0,5 **µs**).

En ce qui concerne les **Pays-Bas**, le **Royal Netherlands Meteorological Institute** (de Bilt) opère un réseau de 18 détecteurs de foudre régulièrement répartis sur le territoire du pays. Ces détecteurs sont des récepteurs radio à basse fréquence (non précisée) qui comptent les **impulsions** dont l'**amplitude** dépasse un **seuil pré-établi**, et fournissent toutes les 10 **minutes** le nombre total d'éclairs nuage-sol **enregistrés**. Occasionnellement, une caméra à grand champ est mise en oeuvre dans la journée,

III.2.3. République Fédérale d'Allemagne.

En République Fédérale d'Allemagne, l'Institut Astronomique de l'université de Bonn a un programme de recherche sur la foudre, centré sur un système de détection à grande distance et en temps réel des centres d'activité orageuse.

Le système est composé de 3 stations, installées respectivement à Berlin, Tel-Aviv et **Prétoira**. Le principe général de fonctionnement d'une station consiste en une réception et une **analyse** des "**sferics**" (ondes radio **transitoires** émises par les **éclairs**), suivies d'un calcul, toutes les 20 minutes, de l'**azimut** et de la distance de chaque centre d'activité **maximale** de la foudre, ainsi que de son intensité. Les résultats sont **imprimés, enre-**

gistrés sur cassette, et tracés sur une carte en **temps** réel.

La configuration **d'une** station comporte 4 parties :

- Une antenne, composée de deux cadres **perpendiculaires** (de type goniométrique) accordés à 9 KHz, **surmontés d'une** antenne-fouet verticale qui **alimente 3** récepteurs réglés respectivement sur 5 KHz, 7 KHz et 9 KHz.
- Un **récepteur/analyseur** relié à l'**antenne** par un **câble** de longueur maximale **égale** à 100 mètres.
- Un calculateur standard (HP 9825) où s'exécute le logiciel développé par l'**Institut** Radioastronomique.
- Une table traçante (HP 7225) optionnelle.

L'**enchaînement** des opérations est le **suivant** :

- Avec une résolution temporelle de 50 ms, chaque impulsion reçue **dont** l'amplitude à 5 KHz dépasse un niveau de **discrimination** donné (bruit) est prise en compte par l'**analyseur**, qui la transmet au calculateur.
- Le calculateur reçoit, sous forme digitalisée, un ensemble de 4 paramètres :
 - Azimut : angle d'incidence,
 - GDD : différence de retard de groupe entre les fréquences 6 KHz et 8 KHz (dérivée des **amplitudes** à 5, 7 et 9 KHz),
 - SAR : rapport d'amplitudes spectrales (9KHz/5KHz),
 - SA : amplitude **spectrale** (à 5 KHz).
 En outre, un compteur fournit le nombre total d'impulsions traitées par seconde.
- Ce traitement de tous les "**sferics**" dure 18 minutes, puis pendant 2 **minutes** le calculateur établit un **histogramme** pour chacun des 4 **paramètres** et ajuste des courbes de Gauss autour des pics. Les **valeurs** des **maxima** sont **alors** imprimées et enregistrées sur cassette.

- A l'aide d'un modèle de propagation pour les "sferics", un programme détermine les distances des centres orageux détectés, et les reporte sur la table traçante, Les tracés sont exécutés sur une carte, et chaque centre est représenté par un petit triangle prolongé d'un vecteur :
 - l'emplacement du triangle désigne le lieu détecté,
 - la longueur du vecteur représente l'amplitude de l'activité (nombre de "sferics" par minute),
 - l'orientation du vecteur indique l'heure (comme l'aiguille d'une montre).
- Toutes les 6 heures, une carte synoptique où n'apparaissent ni les amplitudes ni les heures est également générée par le calculateur.

Les précisions de codage des 4 paramètres et les limitations des résultats obtenus sont les suivantes :

- Azimut : codage en 240 classes.
 - GDD : codage en 250 classes (-62,5 à 437,5 μ s).
 - SAR : $\log(\text{SAR})$ codé en 192 classes (-6 à 42 dB).
 - SA : $\log(\text{SA})$ codé en 192 classes (-12 à 36 dB).
-
- Azimut d'un centre : en général à 0,5° près.
 - Distance d'un centre : à environ 5% près.
 - Distance maximale : 4000 Km vers l'Est de jour
12000 Km vers l'Ouest de nuit
(en pratique : 4000 Km).
 - Distance minimale : 200 Km (au-dessous, influence non négligeable des ordres supérieurs de propagation).

Le détail des calculs, et notamment les difficultés liées au modèle de propagation, sont présentés dans les 3 publications concernant ce système, fournies dans le volume n° 4 (R.F.A.).

Les zones couvertes par les 3 stations existantes sont, avec un certain recouvrement : l'Europe, l'Afrique, une partie de l'Asie et une partie de l'Amérique. Il est prévu d'installer de nouvelles stations aux emplacements suivants :

- dans une station **allemande** de l'**Antarctique**,
- en Inde,
- en Suisse.

Il suffirait d'**une dizaine** de stations bien placées pour **couvrir l'ensemble** du globe et ainsi disposer d'**enregistrements** continus de l'**activité** orageuse à l'échelle de la **planète** (il existe des projets **dans** ce sens).

Des vérifications des résultats ont été **faites, notamment** en comparant les cartes produites à des images issues du **satellite METEOSAT** : les zones d'**activité** détectées correspondea**nt bien** à des **complexes** nuageux vus **par** le satellite, en particulier **dans** les bandes de l'**infra-rouge** et de la vapeur d'**eau**. Les résultats sont également cohérents avec les observations d'**éclaircs** faites **par** les satellites météorologiques **militaires américains** DMSP (présentés plus loin).

Le prix approximatif d'**une** telle station est, logiciel exclus :

- antenne et **récepteur/analyseur** : 20 K\$
- **calculateur** et table traçante : 12 K\$.

III.2.4. Etats-Unis.

Au cours de sa visite aux Etats-Unis, A. Esterle a pu se procurer de nombreuses copies de publications **intéressantes**, en particulier dans le domaine de la détection de la foudre par satellite. On notera tout **spécialement** les trois **documents** de la NASA suivants :

- Compte-rendu d'**un** groupe de travail sur la **nécessité d'**observer la foudre depuis l'**espace** (réf.(23)).
Dans le cadre de son **programme** de recherche sur les **tempêtes** et le temps local, la NASA a réuni des experts durant deux jours et demi en Février 1979, en leur fixant 3 buts :

- identifier les apports particuliers de l'**observation spatiale** des éclairs,
- établir les besoins en matière de mesure pour un système de plate-forme spatiale,
- déterminer les recherches minimales à entreprendre pour **être** capable d'établir des relations entre les observables et les besoins.

Le groupe **était** divisé en différents comités : techniques optiques, techniques électromagnétiques, utilisateurs.

- Revue annuelle des recherches sur les processus atmosphériques (1981). L'**une** des trois sections de ce **document** concerne les **tempêtes** et le temps local, et comporte 12 **communications** sur la détection de la foudre (**réf.(24)**).
- Conférence sur les satellites météorologiques (passés, présents et futurs). Ce document (**réf.(25)**) ne traite pas directement de la détection de la foudre, **mais** constitue une bonne référence pour les travaux décrits plus loin.

Peu de renseignements ont été recueillis sur les équipements "traditionnels" de détection au sol, de type LLP ou **similaire**. De tels systèmes ayant été décrits dans les paragraphes précédents, celui-ci **détaillera** plus spécialement les moyens de détection en altitude (avions) ou **dans l'espace** (satellites) que les Américains ont utilisés ou **étudiés**.

Ce paragraphe, qui présente une synthèse des informations disponibles sur la détection **de la** foudre aux Etats-Unis, est organisé en 4 parties : Description des émissions **associées aux** décharges d'électricité atmosphérique, Détection du-sol ou **d'** avion, Travaux sur des données de satellites, Projets.

Description des émissions associées aux décharges :

Champs électriques : le mécanisme de formation d'un coup de foudre au sol est encore débattu, et il dépend de la hauteur du nuage et de la dynamique de son développement vertical. Dans le cas général, des charges négatives sont apportées au sol (au Japon, ce sont parfois des charges positives, bien que le nuage soit chargé "normalement", mais ces charges proviennent de la partie supérieure du nuage).

Les variations de champ électrique sont liées aux variations de charges, et leur mesure est intéressante avec 3 constantes de temps distinctes :

- 10 s : pour l'éclair dans sa totalité (0,5 à 1 s),
- 3 ms : pour les coups individuels (strokes),
- 100 µs : pour les impulsions courtes pendant toute la durée de l'éclair.

Cette mesure des champs statiques n'a évidemment d'intérêt que localement, et ne concerne pas la télédétection. ■

Emissions électromagnétiques : à chaque éclair est associée une émission sur un large spectre (des ELF aux UHF), l'énergie émise dépendant de la taille physique des canaux de décharge, de l'intensité des courants et des rythmes auxquels ils varient.

Lorsqu'apparaissent les précurseurs, courts et rapides, l'émission comporte toutes les fréquences supérieures à quelques centaines de KHz. Les longs canaux du coup en retour (return stroke) sont le siège de forts courants qui varient lentement, ce qui provoque une émission à très basse fréquence : le maximum de puissance est entre 6 KHz et 10 KHz, et la courbe décroît de façon monotone de 10 KHz à 50 MHz. Les caractéristiques spectrales au-dessus de cette valeur sont mal connues (voir plus loin;).

Du point de vue de la détection à distance, les conditions de propagation en fonction de la fréquence sont déterminantes :

- jusqu'à 50 KHz : l'ionosphère se comporte comme un bon conducteur, ce qui favorise le guidage troposphérique et la détection à très grande distance depuis le sol. A l'

inverse, la propagation vers l'espace étant très atténuée, les conditions de détection "par au-dessus" sont très défavorables.

- de 150 KHz à 30 MHz : l'ionosphère se comporte comme un diélectrique, et les conditions de propagation sont imprévisibles. Cette bande n'est donc pas utilisable.
- de 30 MHz à 1 GHz : en dépit de certaines inconnues (caractéristiques du bruit), cette plage de fréquences paraît intéressante, en particulier pour la télédétection spatiale.
- de 1 GHz à l'infra-rouge : les caractéristiques des signaux émis par les éclairs ne sont pas connues, et il est probable qu'il y ait une forte atténuation par l'eau à l'intérieur des nuages.

Emissions optiques : la détection optique des éclairs est simple à réaliser (photographie rapide, avec ou sans spectromètre, cinéma, matrices de photodiodes,...), et permet d'obtenir à la fois une bonne résolution temporelle et une bonne discrimination entre les constituants de la scène (foudre, nuages, sol).

C'est dans le domaine optique que l'on a pu analyser les différentes phases de formation des éclairs, mesurer les vitesses de propagation des précurseurs, et déterminer les spectres lumineux associés respectivement aux précurseurs et aux coups en retour.

Le maximum d'intensité spectrale est atteint, pour les coups en retour, pour la longueur d'onde 3914 Å. avec une émission d'environ $10^4 \text{ W ster}^{-1} \text{ Å}^{-1}$. La forme exacte des spectres est connue du proche ultra-violet au proche infra-rouge avec une résolution temporelle de l'ordre de 1a μs .

Un paramètre particulièrement intéressant pour la détection à distance est la puissance optique maximale émise dans la large bande de sensibilité du Silicium (0,4 à 1,1 μm), correspondant aux détecteurs opto-électroniques couramment utilisés : la distribution des pics de puissance (premier coup en retour) a une forme normale en échelle logarithmique, avec une valeur moyenne comprise entre 10^8 W et 10^9 W et un écart-type de l'ordre de 12 dB.

Détection du sol et/ou d'avion :

Sur le plan de la détection opérationnelle, de nombreuses réalisations existent, fondées sur la détection des "sferics" autour de 10 KHz. Par exemple, le BLM (Bureau of Land Management) et l'Université de l'Arizona ont mis au point un tel système avec une portée de 200 milles, une précision de $\pm 1^\circ$ en azimut et de quelques milles en distance; une discrimination des formes d'impulsions permet de rejeter les bruits et les émissions des décharges entre nuages; les résultats sont portés sur une table traçante et transmis entre les différentes stations.

En 1979, 8 stations existaient en Alaska, et 18 étaient prévues dans l'ouest des Etats-Unis. Depuis, le système LLP a été commercialisé et vendu dans le monde entier. C'est à l'aide de détecteurs de ce type que l'on peut établir une vérité-terrain, indispensable à la validation de méthodes nouvelles (télé-détection par satellites notamment).

Par ailleurs, un grand nombre de chercheurs mettent au point des expérimentations soit au sol (en particulier au Laboratoire Langmuir, à Socorro, Nouveau-Mexique), soit à bord d'avions (en général U-2 de la NASA), dans le but de mieux cerner les caractéristiques des émissions associées aux éclairs aussi bien vers le sol que vers l'espace. Les activités dans ce domaine présentées lors de la revue annuelle de 1981 de la NASA sur les processus atmosphériques (réf. (24)) sont résumées ci-après :

• Cartographie de la foudre : développement d'un nouvel instrument de mesure comportant :

- un réseau de senseurs optiques mesurant les caractéristiques spatiales et temporelles des éclairs quelles que soient les réflexions sur les nuages,
- un détecteur d'impulsions optiques (résolution de 1 μ s),
- un spectromètre à haute résolution (1 Å en longueur d'onde et quelques ns en temps).

Cet instrument est embarqué à bord d'un U-2 avec un analyseur de changement de champ, un détecteur d'impulsions optiques à grand champ, une caméra TV à CCD, et 2 caméras à temps décalé. Le but est d'amasser des données pour la détection par satelli-

te, et de les valider à l'aide d'une vérité-terrain acquise par le réseau de détecteurs du BLM.

Observation video des spectres : le capteur est une caméra de type vidicon ISIT (Intensified Silicon Intensified Target) avec les caractéristiques suivantes :

- champ : $20^\circ \times 30^\circ$
- lentilles de 25 mm, f/1.6
- réseau de diffraction de 600 l/mm blazé à 5000 Å.

A Socorro, 250 éclairs ont été photographiés avec des spectres, et la capacité du système de résoudre les décharges et les dards individuels a permis d'en obtenir plus de 600 bons spectres.

On a ainsi mis en évidence plus de 30 lignes spectrales dans la bande 4000 - 8700 Å.

Une caméra ISIT a également été embarquée à bord d'un avion Lear Jet de la NASA, et a permis d'enregistrer plus de 50 éclairs avec les spectres associés. Il est apparu intéressant d'enregistrer simultanément les données d'un spectrographe à fente et celles d'un réseau de diffraction.

Etudes des radio-fréquences : au Marshall Space Flight Center de la NASA, l'étude des émissions de la foudre à très haute fréquence a été entreprise dans plusieurs buts :

- évaluer les possibilités de détection d'éclairs en hyperfréquence à partir d'une orbite géosynchrone,
- valider et compléter les données connues sur la distribution d'amplitude spectrale des émissions,
- estimer les effets des bruits de fond d'origine humaine sur la détection du signal,
- mieux comprendre le profil des décharges aux fréquences hautes,
- évaluer plusieurs systèmes de détection au sol en vue d'un système hybride.

Les détecteurs à bande étroite utilisés sont accordés sur les fréquences centrales suivantes : 22,5 MHz, 225 MHz, 2,0 GHz et 2,5 GHz. En polarisation horizontale et verticale, les données

sont échantillonnées à 20 MB/s et codées en mots de 8 bits dans une mémoire de 128 KB (**représentant 6,4 ms** de stockage).

Les résultats obtenus indiquent **qu'une** détection entre 1 GHz et 10 GHz est possible, avec des amplitudes se situant **entre** 5 et 15 dB au-dessus du niveau de bruit. A ces fréquences, les signaux sont beaucoup plus discrets qu'au-dessous, ce qui est favorable du point de vue de la conception du matériel et de la gestion des données.

• **Mesures RF et optiques simultanées** : un certain nombre de campagnes de mesures ont mis en oeuvre des détecteurs électromagnétiques et optiques **simultanément** au sol (à Socorro) et à bord d'un U-2 (voir aussi réf. (26) et (27)).

L'**avion** est équipé d'un analyseur de changements de **champ** électrique, de senseurs optiques, de **caméras** CCD et **d'appareils** photographiques munis ou non de dispositifs spectrographiques. Au sol (Laboratoire Langmuir ou station mobile, suivant les cas), on dispose de **caméras** video, **d'analyseurs** de changement de champ à large spectre, de récepteurs radio (34,4 MHz à 2,2 GHz), **de** radars Doppler. Dans certains cas, un système de cartographie acoustique et la collaboration de contrôleurs aériens fournissent des données supplémentaires.

Toutes ces études visent à **fournir** des éléments de choix pour établir les spécifications de systèmes de détection par satellites. Une fois les données brutes accumulées, elles demandent beaucoup de temps et de moyens pour leur **traitement**.

• **Détection des tempêtes** : **certaines** recherches visent à établir des critères de prévision des ouragans ou des **tempêtes**. Deux systèmes interférométriques fonctionnant à 2 MHz (bande **passante = 2,7 KHz**) et couplés à des calculateurs ont été **mis en opération**, respectivement **au** MSFC et au SwRI (South-west Research Institute). Par seuillage et interférométrie, les centres des ouragans sont localisés, et **il** ne manque **qu'une** troisième station pour pouvoir faire une **triangulation** plus précise.

Dans un autre centre, les centres d'émission en VHF sont **corré-**

lés aux échos de radars Doppler à 10 cm et à ceux de radars en bande L (23 cm) avec succès : 82 % des orages de type tornade sont détectés à l'aide du débit d'impulsions à 3 MHz.

Pendant une période, la NASA a opéré un laboratoire mobile en l'emmenant à la rencontre de gros orages (environ 16 en tout).

Les équipements utilisés étaient :

- analyseurs de **changement de champ** électrique (lent et rapide),
- **mesure des "sferics"** à 3 MHz,
- mesure des transitoires optiques,
- mesure des courants **Corona**,
- enregistreurs TV des éclairs et des nuages,
- appareils **photographiques** de 35 mm,
- **caméra** cinématographique de 16 mm,
- radar Doppler.

Les résultats ne sont pas encore disponibles.

Travaux réalisés sur des données de satellites :

De nombreux travaux de recherche sur la foudre ont déjà été effectués à partir de données de satellites civils ou militaires. Une revue détaillée de ces études a été faite lors de la réunion du groupe de travail sur la nécessité d'observer la foudre depuis l'espace (réf.(23)). Un résumé de cette revue, ainsi que des résultats obtenus postérieurement à la réunion de Février 1979, est présenté ci-dessous :

Détection radio-électrique : l'étude des "sferics" a bénéficié depuis longtemps des données fournies par des satellites équipés de senseurs RF pour la mesure des bruits radio terrestres. Ces satellites ont été, par ordre chronologique :

- UK-3 (ARIEL III), en orbite quasi-circulaire à 550 Km d'altitude, muni de récepteurs à 5, 10 et 15 MHz (1969).
- RAE I (Radio Astronomy Explorer 1), en orbite à environ 6000 Km (1973).
- ISS-b (Ionosphere Sounding satellite), mis en orbite par les Japonais pour suivre l'activité des éclairs en HF en tirant avantage de l'effet d'"iris" de l'ionosphère (78).

- Space Test Program P78-2 (SCATHA), mis en orbite quasi-synchrone en 1979.

Les satellites OSO (Orbiting Solar Observatory) : les premières expériences de détection optique de la foudre depuis l'espace mirent à profit la haute sensibilité des instruments embarqués sur les satellites OSO. En raison de la saturation du système par la réflexion de la lumière solaire ou lunaire, les observations se limitaient aux nuits de nouvelle lune. Grâce à OSO 2 (1967) et OSO 4 (1971), 7000 éclairs produits par 1000 complexes orageux purent être localisés, la majorité sur les continents,

Les satellites VELA : les satellites VELA, développés pour la détection des explosions nucléaires, portaient des senseurs a priori trop peu sensibles pour détecter la foudre (seuil de 10^{11} W). Sur une orbite circulaire inclinée de 10^5 Km de rayon, 4 satellites équidistants permettaient une surveillance permanente de toute la surface terrestre. Chacun était équipé de 3 senseurs à photodiodes au Silicium (4000-11000 Å) :

- 2 senseurs pour la résolution temporelle (de sensibilités différentes),
- 1 senseur pour la résolution angulaire (localisation).

C'est grâce aux données fournies par ces satellites que B.N. Turman (réf.(28)) a mis en évidence l'existence des "super-bolts", immenses éclairs d'une intensité 100 fois supérieure à celle des éclairs typiques (10^{11} W à 10^{13} W), d'une durée de l'ordre de 1 ms et dont le premier "return stroke" irradie plus de 10^9 Joules. Ces phénomènes, détectés sur tout le globe, ont pu être corrélés avec la détection en VLF des "sferics" correspondants (en 2 mois, corrélation totale sur 40 enregistrements).

Le fait que parmi les super-bolts détectés alors qu'ils étaient dans le champ de vision de 2 satellites, seulement 20 % aient effectivement été vus par les deux semble indiquer qu'ils ne se trouvent pas au-dessus des nuages,

On estime que 5 éclairs sur 10^7 émettent plus de 3×10^{12} W dans le visible (Si), ce qui explique que la probabilité de les voir du sol est quasi-nulle.

.Satellites DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) :

Le système militaire DMSP est composé de satellites en orbite polaire circulaire héliosynchrone (830 Km), équipés de senseurs météorologiques (visible, infra-rouge, hyper-fréquences).

Le premier équipement développé spécifiquement pour la détection optique de la foudre a été embarqué sur le satellite DMSP 8531 en Mars 1974 : il s'agissait de l'expérience SSL (Special Sensor Lightning). Ce senseur comportait une matrice de 12 photo-diodes au Silicium couvrant chacune une aire de 700 Km x 700 Km au sol, l'ensemble permettant l'observation d'un rectangle de 2200 Km sur 3000 Km. Les domaines de sensibilité en longueur d'onde et en puissance totale reçue des photo-diodes étaient respectivement : 5000 à 10000 Å , 10^8 à 2×10^{10} W.

Pour chaque photo-diode, le système mémorisait une fois par seconde l'amplitude de la plus forte impulsion, et la codait sous forme numérique en 16 niveaux logarithmiques. Les données brutes consistaient donc en 12 valeurs par seconde, en plus des photographies des nuages dans le visible (0,4 à 1,1 µm) et dans l'infra-rouge (8 à 13 µm).

Plus tard, des satellites de la série DMSP Block-D furent équipés d'un système plus compact, correspondant à des mesures complémentaires : le PBE (Piggyback Experiment). Constitué d'une seule photo-diode couvrant au sol un cercle de 1360 Km de diamètre, le PBE correspondait à 3 besoins :

- fournir des données sur une gamme de puissances intermédiaire entre VELA et SSL : 4×10^9 W à 10^{13} W,
- étendre les observations au jour (aurore/crépuscule au lieu de midi/minuit),
- fournir des données à l'échelle mondiale sur la répartition de la foudre.

A l'aide d'un système de contrôle de gain, les impulsions reçues étaient mémorisées en échelle logarithmique sur 63 niveaux.

Les données obtenues de SSL et de PBE-2 et PBE-3, combinées avec des "vérités-terrain" acquises dans le cadre du programme TRIP à Socorro, ont été exploitées par BN Turman (réf.(29)) et par R.E. Orville et DW. Spencer (réf.(30) et (31)) pour

étudier d'un point de vue statistique la répartition géographique et en **puissance** des éclairs (une étude porte sur 365 jours consécutifs à minuit). Ces études ont permis de confirmer et de préciser la fréquence moyenne de foudroiement de la terre (la **valeur** traditionnellement **admise** de 100 éclairs par seconde **avait** été proposée **par Brook** en 1925 **i**), et de mieux cerner les **différences** d'activité orageuse entre les terres et les océans,

.Expérience SY/TY : embarquée au milieu de 1978 à bord du **véhicule S3-4** du "Space Test Program", sur une orbite héliosynchrone, elle **permet l'observation** du sol à 10 et 22 heures (temps local). Un élément à large **champ** du type **PBE-2** et deux senseurs plus **résolvants** (l'un à balayage, l'autre à **mosaïque**) **permettent** de localiser la foudre à quelques **kilomètres** près.

Les résultats de cette expérience **n'ont pas été communiqués**.

Projets d'avenir :

Les principales conclusions du groupe de travail sur la nécessité d'observer la foudre depuis l'espace (réf.(23)) ont été les suivantes :

- **il a été prouvé qu'un** satellite pouvait détecter les éclairs de jour comme de nuit, et que des recherches en climatologie pouvaient **Qtre menées** à partir de **plateformes spatiales**.
- les besoins liés aux **applications** pratiques de la détection de la foudre pourraient probablement **être satisfaits** à l'aide de réseaux terrestres, **mais l'utilisation** de satellites **facilite** la gestion de grandes bases de données,
- **l'aspect** des orages vus de **l'espace** est différent de celui **vu** du sol, et certaines études nécessitent une observation "**par le haut**" (contribution des éclairs à la fixation de **l'azote** dans **l'atmosphère**, théorie du circuit électrique global dans **l'atmosphère** selon laquelle l'ensemble des orages se comporte comme un générateur, **..**).

- **il** est très souhaitable **d'étudier** les rayonnements de la foudre dans la bande de 50-MHz à 100 GHz, **ainsi** que le rapport **signal/bruit** dans **l'espace** à ces fréquences. En effet, **l'une** des premières priorités concerne la capacité de discriminer les éclairs nuage-sol **des éclairs** nuage-nuage, et toutes les fréquences doivent **être** explorées dans cette optique.

Une proposition **d'expérience** à inclure dans le satellite UARS (Upper Atmosphere Research Satellite) de la NASA a **été** évoquée dans le groupe de travail. **Il s'agit principalement** d'étendre à un pouce le diamètre des **senseurs** pour abaisser à 10^8 W le seuil de détection, avec la **même** technologie que pour VELA. Le système de codage **envisagé** permettrait **d'avoir** une résolution meilleure que 10 Km à 500 Km.

Au cours de cette **même** réunion, **3 axes** ont été **tracés** pour la poursuite des recherches sur la détection et la caractérisation de la foudre par satellite :

- **Satellite** de surveillance à basse altitude : **il** semble tout-à-fait envisageable actuellement de **réaliser** un senseur **ayant** une résolution de $1^\circ \times 1^\circ$ (barrette de 100 photo-diodes ou matrice de 10×10 photo-diodes), à bord **d'un** satellite météorologique traditionnel **orbitant** à une **altitude** de l'ordre de 800 à 1500 Km. Pour assurer une surveillance continue de la foudre, le nombre de satellites à maintenir **simultanément** en orbite serait compris entre 2 et 6.
- Expérience de corrélation avec les tempêtes : **il** manque beaucoup de données pour établir **de** fortes corrélations entre la gravité des orages et les **signaux** de la foudre. **Il** faudrait disposer de données très fines sur la localisation des éclairs, la structure des nuages et les spectres **émis** par la foudre. Ceci suggère l'utilisation **d'un** télescope, **d'un** spectromètre et d'un dispositif photographique. Le projet NOSL destiné à la navette **spatiale** (présenté plus loin) constitue un premier pas dans cette direction.

- Détecteur géosynchrone : pour tester l'efficacité d'un système de localisation des tempêtes, il serait très utile de l'installer à bord d'un satellite géosynchrone au-dessus des Etats-Unis (34000 Km d'altitude). Un satellite de la série GOES pourrait convenir, mais l'idéal serait d'utiliser le satellite STORMSAT proposé par la NASA (stabilisé sur 3 axes).

Le détecteur proposé par B.N. Turman consiste essentiellement en 2 barrettes de 200 à 1000 diodes chacune disposées perpendiculairement l'une à l'autre; leur seuil de sensibilité étant de 2 à 10×10^9 W, elles seraient échantillonnées à 1 MHz (réf.(23), p. 77).

Le dernier projet sur lequel de la documentation ait été recueillie est l'équipement NOSL (Nighttime/daylight Optical Survey of Lightning), opéré par les astronautes de la navette spatiale. Son responsable B. Vonnegut avait mis au point dès 1975 (réf.(32)) un système extrêmement simple pour détecter et enregistrer les coups de foudre, à l'aide d'un magnétophone à cassettes et d'une cellule photo-électrique disposée au fond d'un tube métallique et branchée à la place du microphone (chaque "return stroke" provoquant l'enregistrement d'une impulsion).

En 1978, B. Vonnegut présentait un dispositif composé d'une caméra super-8 sonore surmontée d'une cellule photo-électrique exposée au même champ angulaire que la caméra. Expérimenté à bord d'un avion Lear Jet, ce système simple et maniable a prouvé que l'on pouvait associer à une séquence filmée montrant l'évolution d'une formation orageuse une série d'impulsions (sur la piste du son) correspondant aux décharges (réf.(33)).

L'expérience NOSL proprement dite met en feu une caméra 16 mm à 24 images/s avec un film couleurs (QX-807 avec filtre 2A), et un enregistreur stéréophonique à cassettes, dont les deux canaux sont alimentés par les signaux suivants :

- canal 1 : signal émis par la cellule photo-électrique disposée au-dessus de la caméra.
- canal 2 : impulsions générées par la caméra avec chaque image (synchronisation).

La mise en oeuvre du NOSL à bord de la navette consiste pour l'astronaute à filmer, à travers la fenêtre, les complexes orageux, éventuellement guidé depuis le sol grâce à des données météorologiques. De jour, il ajuste le zoom à son gré, et de nuit, il peut placer devant l'objectif un réseau de diffraction,

Les buts de cette expérience sont les suivants :

- enregistrer les "super-bolts" invisibles du sol,
- filmer les aspects inhabituels de la foudre associée aux tornades (des témoignages mentionnent des couleurs variées),
- observer les décharges en air clair au-dessus des orages (des témoins astronautes ont décrit des phénomènes de foudre en boule),
- mesurer les variations de réflexion au sommet des nuages (dues à la réorientation des cristaux par l'électricité),
- étudier l'électrification des "nuages chauds" (entièrement situés au-dessous de l'isotherme 0°),
- observer l'éventuelle activité de la foudre au-dessus des éruptions volcaniques,
- effectuer des mesures spectroscopiques.

Après des essais de validation à bord d'un U-2, le NOSL a été utilisé au cours du vol STS-2 (réf.(34)). En raison de la faible quantité de données recueillies au cours de cette opération, le NOSL a été mis au programme des vols STS-4 et STS-6.

III.3. Détection des météores.

S'il existe dans plusieurs pays des spécialistes en **minéralogie** qui **s'intéressent** à l'**analyse** en laboratoire des **matériaux** extraterrestres, et donc des météorites, **il n'y a** que peu d'**astronomes** motivés par l'**étude** des météores et de leurs trajectoires. **Indépendamment** des aspects de nature **globale** ou **statistique** (orbites des essaims répertoriés, etc...), **les observations** de ces phénomènes relèvent **généralement** du témoignage fortuit.

Depuis 1951, le chercheur tchèque **Z. Ceplecha** se **passionne** pour l'exploitation scientifique des photographies **d'étoiles filantes**. En 1959 **il** réussit à photographier de deux stations distinctes **la chute** de la météorite de **Pribram**, à la localiser **par calcul** et à la retrouver. Cette première mondiale ouvrait la porte à des recherches originales, en particulier sur les trois thèmes suivants :

- établissement de relations entre **la luminosité** et la masse d'une météorite au cours de sa rentrée dans **l'atmosphère**.
- discrimination entre météorites de différentes **natures** (sidérites, chondrites, chondrites carbonées).
- affinement des **algorithmes** de calcul des trajectoires, et notamment dans la détermination des points de chute.

Dès 1961, l'Union Internationale d'Astronomie (IAU) approuvait une résolution qui appelait à mettre en place des réseaux de détection photographique des météores. C'est ainsi que furent successivement créés les réseaux **suivants** :

- 1963 : réseau multi-stations en Tchécoslovaquie (Ceplecha), devenant le réseau européen 5 ans plus tard **grâce** à la participation de la République Fédérale Allemande.
- 1963 : réseau PRAIRIE aux Etats-Unis (Mc Crosky), abandonné en 1975.

- 1971 : réseau MORP au Canada (Halliday).
- 1975 : réseau d'amateurs en Grande-Bretagne (Hindley).
- 1976 : réseau en UR.S.S. (Zotkin).

Au cours de l'étude, aucun renseignement n'a pu être obtenu sur l'activité des Soviétiques dans ce domaine (d'après Z. Ceplecha, ils sont actifs mais les communications sont quasiment inexistantes, même pour lui en Tchécoslovaquie).

Le courrier adressé au responsable du réseau anglais est resté sans réponse, ce qui tend à confirmer l'impression de Z. Ceplecha (avec qui ils collaboraient dans les années 75) que les Anglais ne font plus rien actuellement.

En ce qui concerne les 3 grands projets restants, l'approche a été la suivante :

- Réseau Européen (Tchécoslovaquie) : prise de contact par lettre avec son responsable Z. Ceplecha, et visite de F. Louange à son observatoire d'Ondrejov, près de Prague.
- Réseau PRAIRIE (Etats-Unis) : prise de contact directe avec son ancien responsable R.E. McCrosky par A. Esterle a l'occasion d'une mission aux Etats-Unis.
- Réseau MORP (Canada) : contact établi par lettre standard dans le cadre de la prospection systématique, et réception en retour d'une documentation écrite.

Ces trois réseaux avaient été présentés auparavant par les minéralogistes français spécialistes des météorites, MM. Pellas et Lorin (cf, CR 11/0182, 29/0582 et 57/0882). Ils font respectivement l'objet des trois paragraphes suivants.

Il est important de souligner qu'en 1982 l'IAU (Commission 22) a recommandé en assemblée générale la poursuite des programmes d'observation de météores (voir le texte page suivante).

RESOLUTIONS DE LA XVIIIème ASSEMBLEE GENERALE

L'Union Astronomique Internationale reconnaissant que depuis la XVIIème Assemblée Générale, les Commissions 4, 7, 8, 19 et 31 ont adopté la Théorie de la Nutation UAI 1980 en remplacement de la Théorie de la Nutation UAI 1978.

recommande d'observer et d'enseigner la Théorie de la Nutation UAI 1980.

Les Commissions 4 et 31 notent que la méthode actuelle consistant à convertir l'écart entre le UTC et la UT1, dans les limites de 0,5s, au moyen de secondes intercalaires, fournit à la fois la sécurité de la stabilité des heures de la sécurité de la navigation par les méthodes astronomiques, recommandent que les archives astronomiques de toutes les observations astronomiques de toutes les époques soient publiées avec la UT1 comme argument.

Les Commissions 4, 19 et 31 notent que la Conférence du Méridien International tenue à Washington en Octobre 1984 a adopté une résolution selon laquelle à partir de l'origine de l'Observatoire de Greenwich - La longitude sera comptée dans deux directions jusqu'à 180°, la longitude Est étant positive et la longitude Ouest étant négative, et notent qu'il existe une interaction croissante entre l'astronomie et la géodésie dans lequel la convention de signe - longitude positive vers l'Est - est d'un usage courant, recommandent que tous les éphémérides astronomiques et les autres publications astronomiques adoptent dès que possible la convention selon laquelle la longitude terrestre soit mesurée positivement vers l'Est.

Les Commissions 4, 19 et 31 considèrent la Résolution 3 de la Commission 4 prise lors de la XVIIème Assemblée Générale et considèrent qu'il est prévu d'introduire le Système des Constantes Astronomiques de l'UAI 1978, la Théorie de la Nutation UAI 1980 et l'Équation du FK5 au 1er Janvier 1984, recommandent a) de modifier les valeurs existantes entre le temps sidéral moyen et le UAI de façon à ne changer ni la valeur ni la loi de UT1, déterminés à partir d'observations stellaires et introduits, par suite d'une correction à l'origine des ascensions droites du FK4 et du mouvement de cette origine, toutes deux étant apprises au FK5.

b) que la nouvelle relation de temps sidéral moyen de Greenwich à Ch UTI soit de GMST à Ch UT1 = 6h 41m 50s 54841 + 8640190.53005 TU - 0.002104 T² - 8.2 x 10⁻⁷ T³ où Tu est le nombre de siècles juliens de 36525 jours de temps universel écoulés depuis le 1er Janvier 2000, 21 h UT1 (JD 01542, 0).

Les Commissions 8 et 31 reconnaissent que la détermination de l'équinoxe et de l'équateur restent une tâche importante pour l'astronomie de position, recommandent que a) le Soleil, les planètes et les petites planètes soient incluses dans les programmes d'observation au moyen d'instruments de passage, b) le Soleil et les grosses planètes soient inclus dans les programmes d'astrolabe et c) les petites planètes soient incluses dans les programmes d'astrolabe photographique au sein d'un parti d'observations différentielles et les astéroïdes, les positions doivent être rigoureusement rattachées au système de référence fondamentale et servir à améliorer les origines de ce système.

La Commission 12 reconnaissant l'extrême importance de l'observation de stirmologie solaire, encourage vivement la coopération internationale par la mise en place d'un réseau mondial de stations d'observation.

La Commission 28 considérant avec profonde inquiétude les propositions relatives à un système d'approvisionnement en énergie par satellite qui nécessitent d'importantes installations sur orbite terrestre ayant le pouvoir de déstabiliser une grande partie des conditions de recherche astronomique dans beaucoup de régions du spectre électromagnétique, recommandent aux représentants nationaux d'attirer l'attention des agences spatiales de leur pays sur ce problème, et d'assurer que l'UAI soit constamment informée des projets proposés dans les techniques spatiales pouvant entraîner des dangers pour l'astronomie.

Les Commissions 19 et 31 considèrent le besoin de considérer clairement le rôle des marées zonales dans le calcul et la publication du temps universel, recommandent que lorsque l'effet des marées zonales à court terme (période inférieure à 35 jours) est calculé dans les buts précités, on utilise l'expression ci-jointe, tirée des travaux de Yoder, Williams et Parka (L. Geophy. Res. 88, 581, 1981), et que le suffixe R soit ajouté à la notation des quantités concernées pour signifier que la correction des effets à court terme a été effectuée (exemple: UT(R)).

La Commission 49 rappelle les considérations (a) à (d) de la Résolution UAI 1979 No 3 relative aux interférences nuisibles aux observations radioastronomiques, et considèrent l'exploitation d'avertisseurs que font les radioastronomes du spectre radioélectrique à des fréquences voisines à 275 GHz, recommandent

1. l'attribution par les administrations nationales de bandes de fréquences dédiées aux mesures radioastronomiques de spectre continu et de la polarisation à des intervalles de presque un octave dans tout le spectre radioélectrique.

2. l'attribution de bandes à des fréquences correspondant aux raies spectrales les plus importantes du point de vue astrophysique énumérées dans le rapport 1982 de la Commission 40 de l'UAI.

3. la protection de ces bandes de fréquences contre toute interférence nuisible d'émissions dans la bande même, sur le bord de la bande et dans les bandes sous-harmoniques; tout particulièrement de la part d'émissions émanant d'émetteurs spatiaux.

La Commission 4 considérant qu'il est prévu d'introduire le Système des Constantes Astronomiques UAI 1978, la Théorie de la Nutation UAI 1980 et l'équation du FK5 au 1er Janvier 1984, recommandent qu'il y ait, dans le calcul des écarts lumineux et similaires, une seule valeur pour K, rapport du rayon du profil lumineux au rayon de la Terre, et que ce rapport corresponde au rayon moyen de la donnée de Wozz déterminée par observation d'occultations et ce rayon qui a été adopté pour la Terre; cette valeur est K = 0.2725078.

L'Union Astronomique Internationale reconnaissant que les observations synoptiques, continues et de longue durée de l'activité solaire sont d'une nécessité vitale et que certains programmes à long terme ont été perdus ou sont menacés par suite de la situation économique mondiale actuelle, recommandent que tous les pays s'efforcent d'organiser des programmes nationaux d'observation synoptique solaire pour les générations futures.

La Commission 6 étant donné l'importance des positions et mouvements propres précis d'étoiles très lumineuses pour la recherche galactique, recommandent sa recommandation antérieure selon laquelle ces étoiles soient incluses dans des programmes d'instruments de passage.

L'Union Astronomique Internationale Prenant note du succès de la campagne courte du programme MERIT et reconnaissant que les résultats à obtenir au cours de la campagne principale de MERIT appartiennent des contributions à long et à court terme pour les études de la planète Terre soient sur deux résolutions similaires adoptées par l'Association Internationale de Géodésie (AIUG) lors de sa réunion générale de Tokyo (Mai 1982).

La Commission 49 notant la décision 5/82 adoptée à la XIIème réunion du COSPAR tenue en Mai 1982, recommandent d'incorporer l'Équipe Héliosphérique Internationale de Janvier 1982 à Décembre 1980 parmi les activités de l'UAI, sous les auspices du COSPAR, conformément aux autres organismes approuvés de l'ICSIU.

La Commission 23 notant l'importance des recherches réalisées des réseaux de Balises Cosmiques et Européennes, recommandent de poursuivre sans discontinuer l'aide apportée à ces programmes d'observation aux fins d'un plus vaste ensemble de données solaires puisse être rassemblé au sein d'une analyse critique.

notant que la récupération des météorites au moyen des deux principaux réseaux d'équipements photographiques (de camera) 37 réseaux astronomiquement limités à cinquante des sites; les progrès réalisés dans l'interprétation des données relatives aux balises peuvent actuellement d'atteindre des études sérieuses à la fois sur les propriétés astronomiques des météorites et sur le physique de leur interaction dans l'atmosphère.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 28 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 8 recommande (a) que les coordonnées, des stations du Service International des Latitudes soient déterminées dans le système de référence (JWL10F) adopté pour l'analyse des observations par la méthode Doppler des satellites artificiels du type Transit ou Nova, (b) qu'une aide spéciale soit octroyée au Bureau International de l'Heure (BIH) agissant en qualité de centre coordinateur pour la campagne internationale MERIT.

La Commission 8 recommande d'observer par instruments de passage le sous-ensemble d'étoiles demandé par le HIPPARCOS Input Catalogue Consortium. Les positions devraient être disponibles avant 1985.5. Une précision moyenne de ± 1,0 arcsec à cette époque est requise; toutefois, 0,3 arcsec (dans le système FK4) est souhaitable.

La Commission 8 notant que les étoiles HIPPARCOS seront sélectionnées pour l'inclure qu'elles présentent du point de vue astrophysique et astronomique et que ces étoiles devraient être incluses comme d'habitude dans les programmes d'observation radioélectrique, et ainsi que les positions méridiennes très précises des sous-ensembles appropriés d'étoiles HIPPARCOS permettraient d'affiner des sondages sur les observations effectuées dans l'espace et sur la calibration d'instruments au sol, il est recommandé d'observer de tels sous-ensembles, dont à dire les étoiles fondamentales faibles et les étoiles de référence internationales.

L'Union Astronomique Internationale reconnaissant l'importance que présente l'usage scientifique interdisciplinaire de grandes antennes radioélectriques pour la recherche astrophysique, astrométrique et géodésique dans l'interférométrie à très longue base (VLBI), appuyés à la création d'un groupe de travail dépendant de la Commission 40 en vue de rassembler et diffuser l'information concernant les projets d'expériences VLBI en astronomie et en géodésie, et d'encourager la coopération internationale entre les observatoires.

La Commission 49 notant la décision 5/82 adoptée à la XIIème réunion du COSPAR tenue en Mai 1982, recommandent d'incorporer l'Équipe Héliosphérique Internationale de Janvier 1982 à Décembre 1980 parmi les activités de l'UAI, sous les auspices du COSPAR, conformément aux autres organismes approuvés de l'ICSIU.

La Commission 23 notant l'importance des recherches réalisées des réseaux de Balises Cosmiques et Européennes, recommandent de poursuivre sans discontinuer l'aide apportée à ces programmes d'observation aux fins d'un plus vaste ensemble de données solaires puisse être rassemblé au sein d'une analyse critique.

notant que la récupération des météorites au moyen des deux principaux réseaux d'équipements photographiques (de camera) 37 réseaux astronomiquement limités à cinquante des sites; les progrès réalisés dans l'interprétation des données relatives aux balises peuvent actuellement d'atteindre des études sérieuses à la fois sur les propriétés astronomiques des météorites et sur le physique de leur interaction dans l'atmosphère.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 28 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

La Commission 22 reconnaissant leur position clé dans le Réseau et leur rôle fondamental dans la localisation et la récupération des météorites qui tombent sur le sol terrestre, recommandent que l'Observatoire de l'Université de Vienne accorde tout son soutien à la poursuite des activités de deux stations autrichiennes appartenant au Réseau Européen de Balises.

recherche astronomique, dont le choix sera arrêté avant Juin 1983, et qu'il dépendra d'une enquête approfondie dans les pays membres de l'UAI et dans d'autres pays intéressés.

Appendice I Point 4(a) de l'Ordre du Jour Motion de Comité Exécutif.

L'Assemblée Générale de l'Union reconnaissant le progrès accompli pour l'établissement de la pleine adhésion de la Chine à l'UAI, et qu'il avait été décidé à la XIIème Assemblée Générale de 1979 à Montréal, et l'Assemblée Générale du 1er Mai 1980 pour la démission, dans la liste des pays membres, de deux organisations adhérentes pour la Chine à titre provisoire, rappelle les accords passés par le Comité Exécutif pour l'adhésion de la Chine à l'Union pendant la période écoulée depuis la XVIIème Assemblée Générale.

Appendice II Point 18(D) de l'Ordre du Jour Le Comité Exécutif propose à l'Assemblée Générale qu'une nouvelle Commission de l'Union soit créée, sous le nom de Commission et appartenant à cette Commission devant être Commission 57 Recherches de la crê dans l'Univers.

Appendice III Point 18(C) de l'Ordre du Jour Ont été proposés les changements suivants pour les Commissions existantes de l'Union: La Commission 26 (Étoiles Doubles) devienne -Étoiles Doubles et Multiples. La Commission 34 (Séismes Internationaux et Nébuleuses Planétaires) devienne -Séismes Internationaux.

Appendice IV Point 18(C) de l'Ordre du Jour Le Comité Exécutif des Nominations, tenu en 1980 et 1981 par le Président de l'Union, a sélectionné les membres de l'UAI suivants pour être proposés à la XVIIIème Assemblée Générale de l'UAI à Palma comme membres du Comité Exécutif de l'UAI à dater du 25 Août 1982: Comme Président: Professeur R. Hartshorn-Brown (Australie). Comme Vice-Présidents: continuant de la période précédente, Dr. R.M. Feast (Malgache), Dr. L. Krasak (Tchécoslovaquie), Professeur R. Wilson (Suisse). Comme Vice-Présidents nouvellement proposés: Professeur R.P. Kraft (USA), Dr. M. Pascher (Mexique), Dr. Ya. S. Yatski (URSS). Comme Secrétaire Général: Dr. R.M. West (Canada). Comme Secrétaire Général Adjoint: Dr. J.P. Swings (Belgique). Comme Comités du Comité Exécutif: Professeur P.A. Wayman (Indonésie).

Appendice V Point 11 de l'Ordre du Jour 1. Résolution proposée au nom de la Commission 5: La Commission 5 considérant la situation actuelle, recommande de l'échange de données entre observatoires d'astronomie recommande que tous les ordinateurs utilisés en astronomie recommandent et adoptent le Système de Temps et d'Angles Sexagesimaux d'échange de données inventé par les membres de l'UAI, tel qu'il est décrit dans le supplément Astronomy and Astrophysics, vol. 44, pp. 363 et 371.

2. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

3. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

4. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

5. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

6. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

7. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

8. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

9. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

10. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

11. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

12. Résolution proposée au nom de la Commission 75: L'Union Astronomique Internationale notant qu'il est particulièrement souhaitable que l'on consacre des Jours Cosmiques de Halley choisies à l'avance à des observations coordonnées pendant une durée limitée recommande que les directeurs d'observatoires et les comités de programme attribuent une force prioritaire aux observations de la Comète de Halley dans l'hémisphère 1985-1987.

III.3.1. Le réseau européen.

Les **moyens** dont dispose **Z. Cepelcha** depuis une trentaine d'années pour photographier les bolides ont beaucoup évolué, tant sur le plan qualitatif que sur le plan quantitatif. Parti de 2 petites stations équipées chacune de plusieurs **caméras** dont certaines étaient munies d'un réseau de **diffraction**, il a mis en opération le réseau proprement dit en Octobre 1963. Des caméras "plein ciel" (pointant vers le bas sur un **miroir hémisphérique**), munies d'obturateurs **rotatifs** à 12,5 coups par seconde, **permettaient** des localisations en azimut à $\pm 0,1^\circ$ près pour des étoiles filantes de magnitude supérieure à -6.

Dans les **années** suivantes, la République Fédérale Allemande (**Max-Planck-Institut für Kernphysik** de Heidelberg) et l'**Autriche** (Université de Vienne) se sont intégrées **au** réseau, portant à une cinquantaine le nombre de stations en Europe, et à un demi-million de **Km²** la surface **au sol couverte**. De façon épisodique, des groupes d'**astronomes amateurs spécialisés** dans les météores se sont joints aux travaux du réseau européen, **notamment** en Hollande et en Grande-Bretagne.

Les stations actuelles, en **Tchécoslovaquie**, sont équipées d'objectifs "**fish-eye**" (Zeiss) qui remplacent avantageusement les **caméras "plein ciel"** sous un encombrement bien inférieur. Le fonctionnement d'une station, du réseau et du système de réduction des données est présenté en détail dans le volume n° 4 (cf. CR 59/0982). Nous ne rappellerons donc ici que les points essentiels :

- à l'**observatoire d'Ondrejov**, plusieurs systèmes de prise de vue **particuliers** sont mis en oeuvre, notamment une **caméra mobile** montée sur équatoriale et permettant la **data-tion** des événements enregistrés par les caméras fixes du réseau, et des dispositifs de **spectrographie** (réseaux de diffraction).
- l'**équipement** standard d'une station est avant tout simple et robuste : un coffret métallique ouvert vers le haut

sur un objectif "fish-eye" de 30 mm de focale et 180° de champ angulaire, une plaque de verre de 400 ASA, et un obturateur rotatif monté près du plan focal et alimenté sur le secteur pour tourner à 12,5 Hz (en principe, 4 ou 5 Hz suffiraient).

- l'espacement adopté d'environ 100 Km entre les stations **s'avère** beaucoup plus adéquat que les 200 Km du réseau **PRAIRIE** (sur lequel Z. Cepelcha a également travaillé). Un prolongement du réseau actuel vers la France (Nord-Est) serait évidemment accueilli très favorablement.
- les stations sont généralement implantées **dans** des stations météorologiques, et mises en oeuvre par leur personnel. Une visite **annuelle** suffit à l'entretien.
- en l'absence de couverture nuageuse, les expositions ne sont effectuées que lorsque le soleil se trouve à un minimum de 110 au-dessous de l'**horizon**. Une seule **exposition** est programmée pour les nuits sans lune, deux le sont pour les nuits avec lune.
- la réduction des données, à Ondrejov, se fait à l'**aide d'un banc** optique (ASCORECORD) et d'un mini-calculateur. Seules sont prises en compte les trajectoires photographiées d'**au moins 2 stations** (30 à 60 **par** année).
- les calculs de trajectographie se font par des mesures sur les plaques, en s'appuyant sur des étoiles (connues) de référence. Les mesures photométriques (évolution de la magnitude le long de la trajectoire) passent par des mesures de largeurs de traces sur les plaques (formules empiriques). Quand des données sont disponibles en provenance de plus de 2 stations, les calculs sont effectués en prenant en compte toutes les combinaisons possibles.
- des extrapolations vers le haut (orbite avant la rencontre de l'atmosphère terrestre) et vers le bas (point d'**impact au sol**) de la trajectoire sont calculées. A ce jour, seule la météorite de **Pribram** a pu être photographiée, retrouvée et étudiée (réf.(35)).

- l'équipement actuel des stations du réseau permet de photographier des météores jusqu'à la magnitude 0 (pour une vitesse angulaire apparente typique de l'ordre de 10 °/s).
- la localisation des positions en azimuth est faite avec une incertitude d'une minute d'arc sur les plaques. Lorsqu'il y a chute d'une météorite, l'incertitude sur le point d'impact, qui dépend fortement des conditions météorologiques en fin de parcours, est typiquement de 2 Km² pour un objet de 1 Kg arrivant avec une inclinaison de 45°.

Le réseau européen de détection photographique des météores est particulièrement intéressant pour la présente étude, à plusieurs titres. C'est le plus vaste des réseaux connus, et son responsable est le meilleur spécialiste mondial de la question. Sa zone de couverture s'arrête actuellement à la frontière Est de la France, ce qui rendrait possible (à peu de frais) de s'y intégrer, le logiciel de traitement d'Ondrejov pouvant certainement être utilisé. Enfin sa technologie extrêmement simple mais parfaitement mise au point au fil des années constitue un excellent point de comparaison pour l'étude d'un nouveau système, surtout si l'on prend en compte le désir de Z. Ceplecha de faire profiter les autres de sa longue expérience.

III.3.2. Le réseau PRAIRIE.

Le réseau américain PRAIRIE est resté opérationnel pendant une dizaine d'années, entre 1963 et 1975. Implanté dans le Middle West en raison de son réseau routier très dense, il avait été créé sur des crédits mis par la NASA à la disposition du Smithsonian Institute, dans deux buts :

- favoriser la collecte de météorites "fraîches" (par rapport à la durée de vie des isotopes intéressants).
- mieux connaître les trajectoires et la relation entre la masse et la brillance.

PRAIRIE était composé de 16 stations distantes entre elles de 200 à 250 Km, et couvrant une superficie **totale** d'un million de Km². La surveillance était assurée par des fermiers voisins et les scientifiques ne **passaient** que de temps en temps,

Les poses duraient deux heures, et elles étaient automatiquement annulées lorsque l'étoile polaire n'était **pas** visible (couverture nuageuse). Les occultations étaient faites à raison de 20 coups par seconde, et un dispositif de datation était inclus **dans** le système (photographie de l'horloge chaque fois qu'une cellule détectait un changement brusque de luminosité).

De **même** qu'en Europe, une seule météorite a été photographiée par 4 stations du réseau et retrouvée (4 fragments **localisés** dans environ 1 Km²) : la météorite de Lost City (réf.(36)). Cela a permis d'**améliorer** les modèles de relation **masse/luminosité** établis auparavant avec la météorite de **Pribram**. Des études spécifiques ont été faites sur la relation entre **l'altitude d'extinction** et la composition de **l'objet** (réf.(37)).

Au total, le réseau PRAIRIE a permis d'enregistrer 2700 trajectoires de météores, dont 322 ont **fait l'objet** d'une étude particulière sur les trajectoires et les courbes de luminosité (réf.(38)). Des approximations analytiques des courbes de variation de la distance ou de la luminosité en fonction du temps ont ainsi pu être mises **au** point.

III.3.3. Le réseau MORP.

Le réseau MORP (Meteorite Observation and Recovery Project) est implanté dans l'ouest du Canada. Une présentation détaillée en est faite dans la publication qu'a envoyée son responsable en réponse à une prise de contact épistolaire (cf. volume n° 4 : Canada).

Dirigé depuis l'Université de Saskatchewan qui se trouve vers son centre, ce réseau comporte 12 petits observatoires, chacun équipé de 5 appareils photographiques, d'un détecteur de météoro-

res et de dispositifs de contrôle d'exposition.

Les caméras utilisent des lentilles de 50 mm et des films Kodak 35 mm Plus-X Pan en rouleaux. Toutes les précautions sont prises pour identifier chaque caméra, positionner l'une par rapport à l'autre les photos issues de caméras voisines, dater les événements, etc... Les caractéristiques de déformation géométrique associées à chaque caméra sont mesurées, de façon à permettre des corrections ultérieures par ordinateur. Un système d'obturation original met en jeu une roue tournant à 4 Hz et portant 3 secteurs de tailles égales : le premier est transparent, le deuxième pratiquement opaque (densité = 5) et le troisième a une densité égale à 2 (semi-transparent).

Le détecteur de météore utilise un tube photo-multiplieur suivi d'une électronique qui détecte les sources mobiles dans le champ. Lorsqu'un météore satisfait les critères, ce détecteur commande l'impression de l'heure et l'avancement du film. Cet équipement est testé une fois par mois en émettant une impulsion lumineuse dans le champ.

Un rouleau de pellicule de 100 pieds dure entre 3 et 6 semaines, selon la durée de la nuit. L'ensemble des vues concernant un météore donné est traité en laboratoire photographique, puis sur ordinateur pour la réduction des données.

A l'instar des deux réseaux présentés précédemment, le réseau MORP a permis d'étudier à fond une météorite importante : la météorite d'Innisfree, observée en Février 1977, photographiée par 4 stations, localisée à 500 mètres près et retrouvée (nombreux fragments dont un de 2 Kg).

Les données fournies par MORP ont, encore une fois, permis d'affiner les modèles élaborés à partir de Pribram et de Lost City, et les orbites dans l'espace de ces 3 objets ont été recalculées avec précision.

III.4. Détection des satellites.

Les satellites artificiels ne sont pas a priori assimilables à des phénomènes aérospatiaux rares, au sens de cette étude, puisque, étant contrôlés du sol, ils ont un comportement prévisible. Cependant, le problème que pose aux militaires la surveillance de satellites étrangers pour lesquels ils ne disposent pas d'éphémérides (et qui ont souvent la capacité de changer d'orbite) est très proche de la détection des phénomènes rares, notamment dans le domaine optique.

La nature classifiée des activités dans ce domaine du renseignement rendait difficile l'obtention de données techniques sur les équipements correspondants et leur mise en oeuvre. Une exception très importante, et qui justifie ce paragraphe, est constituée par le nouveau système américain GEODSS de surveillance optique de l'espace, qui a fait l'objet de quelques publications.

Depuis la fin des années 50, l'U.S.A.F. disposait d'un réseau de télescopes munis de caméras Baker-Nunn pour surveiller les satellites. Utilisant des optiques de 0,5 m d'ouverture et de 5° x 30° de champ angulaire, ce système produisait des photos sur des rouleaux de pellicule de 70 mm pour lesquels 90 minutes de traitement étaient nécessaires. A l'époque, on ne comptait que quelques centaines de satellites en orbite, et des observateurs entraînés arrivaient à de meilleurs résultats que l'exploitation des photographies. La limite de sensibilité du système se situait vers la magnitude 14.

Le nouveau système militaire de surveillance mondiale des satellites GEODSS (Ground-based Electro-Optical Deep Space Surveillance) correspond aux nouvelles nécessités : environ 5000 satellites, qui changent fréquemment d'orbites, et dont une fraction de plus en plus importante est en orbite géosynchrone (à 36000 Km d'altitude), c'est-à-dire au-delà de la magnitude 14. GEODSS assurera le suivi des objets au-delà de 5500 Km d'altitude ("deep space"), tandis que les satellites en orbites basses continueront d'être pris en charge par des moyens plus conventionnel~(radars,...).

Le système **complet** comportera 5 stations identiques réparties autour du **globe**, dont 3 fixes et 2 **mobiles** (**transportables** en pièces détachées par avion). Les 3 sites fixes sont : **White Sands** (Nouveau Mexique), **Maui** (**Hawaï**) et Taegu (**Corée** du Sud). Les données sur les **satellites** détectés, suivis et répertoriés (par leurs signatures optiques) seront **communiquées** en permanence au centre de **commandement** du NORAD (**Cheyenne Mountain**, Colorado) (**réf.(39)**).

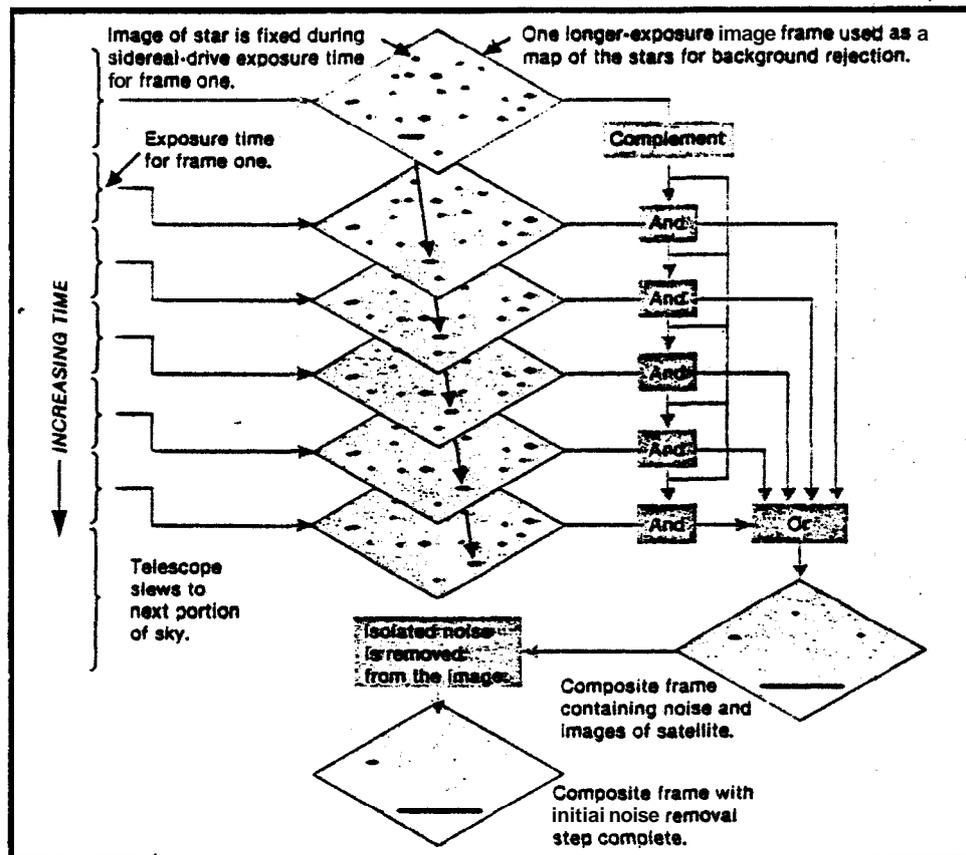
Chaque station est équipée de trois instruments optiques :

- 2 **télescopes** "principaux" d'un mètre d'**ouverture**, 2,2 m de focale et 2,1° de champ.
- 1 **télescope** **auxiliaire** de 38 cm d'ouverture et 6° de champ.

Ces instruments sont montés sur **équatoriales**, le positionnement étant **contrôlé** à une seconde d'**arc** près jusqu'à la vitesse de 15°/s. Leur **sensibilité** leur permettrait de détecter un **ballon** de foot-ball en orbite géosynchrone (magnitude 18,5 !), grâce à un dispositif de détection **très** sophistiqué comprenant un tube VIDICON de 80 mm de diamètre avec une **cible** ultra-sensible SIT (**Silicon-Intensified Target**). A chaque **télescope** est également associé un radiomètre infra-rouge qui permet de **classer** les objets (charges utiles, réservoirs de fusées, fragments, etc.,). Il est également prévu de **remplacer** les tubes VIDICON par des détecteurs CCD performants.

L'un des buts **essentiels** de GEODSS est de pouvoir **balayer** une zone donnée et en extraire les **satellites** en 6 secondes environ, l'**analyse complète** étant effectuée en 1 ou 2 minutes (soit 100 fois plus vite qu'avec les caméras **Baker-Nunn**). La procédure dite de "**réjection du fond**" (background rejection) **implantée** sur **calculateur** est illustrée par le schéma de la page suivante, et consiste en l'enchaînement suivant :

- une série de 5 à 20 images successives (832 x 832 pixels) de la zone d'intérêt est mémorisée sous forme numérique,



- la première image (exposition prolongée) est prise comme référence du champ d'étoiles, et soustraite de toutes les images suivantes,
- les images sans étoiles fixes ainsi obtenues sont soumises à un programme de "détection de traînées" qui différencie les objets en mouvement (un satellite géosynchrone a typiquement une vitesse angulaire apparente de $15''/s$) des fausses alarmes.

Aux Etats-Unis, des astronomes se sont intéressés aux possibilités énormes d'observation du système GEODSS, et ont élaboré un projet de prolongement du système de traitement des données, qui permettrait de mémoriser et de stocker (sous une forme compressée) les informations sur les étoiles qui seraient sans cela éliminées. Peu encombrant et n'interférant absolument pas avec les opérations des militaires, ce système n'a pas été rejeté par ces derniers (réf.(40)).

Mettant à profit le caractère aléatoire des zones du ciel balayées par les télescopes, l'astronome BH Margon calcule que

7000 degrés² seront observés chaque nuit par chaque instrument. Le système **qu'il** propose produirait une bande magnétique CCT standard par nuit et par station. Enfin, **il** estime qu'une étoile donnée aurait 90% de probabilité **d'être** observée :

- tous les 9 jours **par** un senseur donné,
- tous les jours par l'ensemble des 5 stations complètes.

L'**avantage** considérable **qu'aurait** une base de données astronomiques ainsi constituée, en dépit de l'**absence** d'information de couleur, serait sa souplesse **d'emploi** (entièrement **informa-**tique) par rapport aux plaques photographiques traditionnelles. En particulier, les recherches concernant les phénomènes **dyna-**miques **seraient** grandement facilitées, **comme** par exemple :

- étoiles variables,
- novae,
- étoiles émettrices de sursauts **gamma**.

On notera, en ce qui concerne les propositions sur les sursauts **gamma**, l'implication de Messieurs Vedrenne et **Hurley** du CESR de Toulouse (cf. CR 36/0582, 60/0982 et 68/1082).

SOMMAIRE DU VOLUME N° 3

oooooooooooooooooooooooooooo

	<u>PAGE</u>
III. LA SITUATION DANS LE MONDE	1
III.1. <u>Prises de contact</u>	1
III.1.1. Prospection systématique	1
III.1.2. Contacts particuliers	2
III.1.3. Phénomènes autres que la foudre et les météores	3
III.2. <u>Détection de la foudre</u>	4
III.2.1. Afrique du Sud	6
III.2.2. Benelux	10
III.2.3. République Fédérale d'Allemagne	10
III.2.4. Etats - Unis	13
- Description des émissions associées aux décharges	15
- Détection du sol et/ou d'avion	17
- Travaux réalisés sur des données de satellites	20
- Projets d'avenir	23
III.3. <u>Détection des météores</u>	27
III.3.1. Le réseau Européen	30
III.3.2. Le réseau PRAIRIE	32
III.3.3. Le réseau MORP	33
III.4. <u>Détection des satellites</u>	35