# Présentation de projet dans le cadre EUREKA :

# Système de surveillance du ciel EUROCIEL

Par : F. LOUANGE
Le : 06.03.1986

# S O M M A I R E


| | | Pages |
|---|---|---|
| I | - INTRODUCTION | 1 |
| II | - INTERET DU PROJET | 2 |
| III | - PRESENTATION DU SYSTEME | 4 |
| | III.1 - Optiques et détecteurs | 4 |
| | III.2 - Prétraitement en temps réel | 5 |
| | III.3 - Stockage et transmission des images | 5 |
| | III.4 - Centre de dépouillement des données | 6 |
| IV | - ORGANISATION DES TRAVAUX | 7 |
| V | - CALENDRIER ET COUTS ESTIMES | 8 |
| ANNEXE 1 | : Etude préliminaire | 9 |
| ANNEXE 2 | : Première analyse des tâches | 14 |
| ANNEXE 3 | : Extensions possibles | 17 |

# I - INTRODUCTION

La coopération dans le cadre EUREKA offre à des industriels européens la possibilité de réaliser un projet pluridisciplinaire ambitieux, mettant simultanément en jeu plusieurs technologies de pointe. La prise en charge de la totalité d'un tel projet par un industriel serait difficile à concevoir et encore plus à justifier, tandis qu'une coopération européenne permettra à la fois de minimiser les risques économiques et de valoriser les échanges de savoir-faire entre les différents partenaires.

Le projet EUROCIEL consiste à concevoir et mettre au point la maille élémentaire d'un réseau de surveillance du ciel, composée de plusieurs stations de détection au sol et d'un système central de dépouillement des données. Les stations seront de deux types, fonctionnant respectivement dans le domaine visible et dans l'infra-rouge, et réaliseront l'acquisition, la sélection en temps réel et le stockage de séquences d'images numériques qui, en temps différé, seront retransmises vers le centre de dépouillement ; les moyens de ce centre permettront d'effectuer aussi bien des traitements interactifs spécifiques sur les images (analyses photométriques, par exemple) que des dépouillements répétitifs à l'aide de systèmes experts (calculs de trajectoires, par exemple).

Les principaux domaines technologiques abordés à travers ce projet sont les suivants :

- optiques à grand angle
- détecteurs optoélectroniques matriciels (visible et infra-rouge)
- prétraitement en temps réel de séquences d'images simples
- stockage et transmission par satellite ou par lignes enterrées de séquences d'images numériques
- traitement interactif d'images numériques
- systèmes experts.

## II - INTERET DU PROJET

Dans le cadre EUREKA, il est proposé de définir et de réaliser un mini-réseau, composé de 16 stations et un centre de dépouillement, et de démontrer le bon fonctionnement effectif de toutes ses fonctionnalités.

Les retombées concrêtes que les industriels peuvent attendre de ce projet sont de trois ordres :

1°) Le mini-réseau EUROCIEL lui-même, qui par conception devra être extensible, présente un grand intérêt pour plusieurs communautés d'utilisateurs :

- l'utilité scientifique d'un tel réseau a déjà fait l'objet d'une étude préliminaire (voir Annexe 1), qui a conclu à la nécessité de remplacer les systèmes actuels de détection photographique de météores à l'aide des technologies nouvelles proposées. L'Union Astronomique Internationale (IAU) a expressément recommandé de poursuivre et d'étendre les activités de tels réseaux de détection.

- des études complémentaires plus récentes ont montré chez les astrophysiciens un intérêt pour l'observation automatique des phénomènes d'"airglow" et des aurores boréales.

- l'étude d'autres applications pourra être approfondie en cours de projet, comme la météorologie (surveillance de l'activité orageuse ou de la couverture nuageuse "vue de dessous"), le contrôle du trafic aérien à basse altitude, la surveillance de la pollution atmosphérique ou la sécurité des futurs vols spatiaux habités.

2°) A partir de l'expérience acquise avec ce mini-réseau probatoire, de grands réseaux opérationnels pourront être proposés à de grands clients nationaux ou internationaux, civils ou militaires. Typiquement, une bonne couverture de l'Europe méditerranéenne (caractérisée par sa faible couverture nuageuse) pourrait être envisagée avec un réseau de 256 stations reliées à plusieurs centres de dépouillement.

3°) Les industriels participant au projet bénéficieront directement des connaissances acquises ou améliorées et des progrès réalisés dans chacune des technologies de pointe mises en jeu prise séparément, immédiatement transposables à d'autres champs d'application :

- réalisations optiques originales : astronomie spatiale, systèmes de surveillance

- nouveaux composants optoélectroniques matriciels : astronomie, télédétection, avionique

- algorithmes de traitement en temps réel d'images simples : robotique, contrôle du trafic

- stockage et transmission d'images à haute définition : télévision future, télédétection

- systèmes experts pour le dépouillement de séquences d'images : météorologie, astrophysique, médecine.

## III - PRESENTATION DU SYSTEME

Les 16 stations d'EUROCIEL seront de 2 types : 8 fonctionneront dans le visible et 8 dans l'infra-rouge. La phase de définition permettra de fixer précisément les 2 plages de longueurs d'onde correspondantes, ainsi que les paramètres dimensionnants de chacun des scus-ensembles présentés ci-après.

### III.1 - Optiques et détecteurs

Pour chacun des deux types de stations, l'ensemble capteur, qui fournira des séquences d'images numériques, sera principalement caractérisé par les paramètres suivants :

- optique : . ouverture
  . champ angulaire

- matrice de détecteurs : . taille et nombre de détecteurs élémentaires
  . type de détecteurs (réponse spectrale)
  . fréquence de lecture des images
  . nécessité ou non d'une amplification de brillance.

Ces choix résulteront d'études qui devront prendre en compte :

- l'altitude minimale de couverture continue du réseau, qui conditionne la distance entre les stations

- la spécification de "cibles-types" à détecter (luminance, vitesse angulaire apparente), qui conditionne les bilans énergétiques.

## III.2 - Prétraitement en temps réel

Une fois spécifiées la taille en pixels des images numériques et leur fréquence de rafraîchissement, il faudra définir pour le sous-ensemble micro-informatique de la station un algorithme de sélection en temps réel des séquences d'images "probablement intéressantes", de façon à ne conserver pour traitement ultérieur que certaines des images formées par le système, et à réduire ainsi notablement le volume des données à stocker et à transmettre.

Cet aspect du projet, qui est l'un des plus originaux, trouve sa justification dans l'ampleur des problèmes de gestion que pose toujours l'accumulation de données images en informatique, en raison de leur volume important.

La faisabilité et l'intérêt d'une solution hybride optique-numérique de ce problème de sélection en temps réel seront également étudiés pendant la phase de définition du projet.

## III.3 - Stockage et transmission des images

Le stockage des images numériques dans chaque station pose à la fois un problème de capacité et de robustesse dans un environnement hostile (stations implantées dans la nature). De nouveaux supports d'information compacts, comme le disque optique numérique, devront être envisagés.

La retransmission des données par satellite, même en différé et à vitesse plus lente, posera également des problèmes de robustesse et de simplicité de mise en oeuvre (petite antenne à faible gain disposée à côté de chaque station).

Un dispositif de transmission par ligne enterrée sera mis en oeuvre pour certaines stations.

## III.4 - Centre de dépouillement des données

Dans ce centre seront reçues et stockées les séquences d'images transmises par satellite ou par ligne enterrée. Il sera doté de puissants outils de calcul et de traitement interactif d'images, qui permettront aux différents utilisateurs de réaliser des mesures sur les phénomènes ou cibles détectés (photométrie, photogrammétrie), ainsi que des calculs de trajectographie lorsque plusieurs stations auront fourni simultanément des données sur le même évènement.

Des programmes de type "systèmes experts" seront également développés pour alléger la tâche des utilisateurs dès qu'elle aura un caractère répétitif (tri et regroupement des séquences d'images, calculs de trajectoires, par exemple).

## IV - ORGANISATION DES TRAVAUX

Les industriels et laboratoires européens suivants se sont déjà concertés, et ont pu vérifier que leurs capacités respectives leur permettraient de mener à bien ce projet, en raison de leur complémentarité.

### Espagne

ENTEL S.A. (Madrid) : filiale de TELEFONICA, première Société d'électronique espagnole

GEOCISA (Madrid) : filiale du groupe DRAGADOS Y CONSTRUCCIONES

Instituto de Optica (Madrid) : institut du C.S.I.C.

### Belgique

I.A.L. SPACE (Liège)
AMOS (Liège)
BRITTE (Liège)

} Sociétés habituées à collaborer sur des projets spatiaux

### France

MATRA Espace (Toulouse et Vélizy)
BERTIN (Aix)
Institut d'Optique (Orsay)
I.N.S.U. (C.N.R.S.)
F. LOUANGE, Cabinet-Conseil (Paris)

Dès à présent des discussions sont en cours avec des laboratoires partenaires qui se sont déclarés a priori intéressés par l'exploitation du mini-réseau dès qu'il sera disponible.

Une première analyse des tâches est proposée en Annexe 2.

## V - CALENDRIER ET COUTS ESTIMES

Le projet porte sur une durée totale de 4 à 5 ans, correspondant à 3 phases distinctes :

Phase de définition : 18 mois

Rédaction des spécifications techniques détaillées des stations et du centre, après développement de maquettes simplifiées mettant en jeu des composants du commerce.

Phase de développement et d'intégration : 18 à 30 mois

La durée de cette phase dépendra essentiellement de l'importance des développements de composants optoélectroniques décidés en phase de définition. Elle pourra être précédée d'un prédéveloppement lancé au cours de la phase de définition.

Phase de démonstration : 1 an

Exploitation pré-opérationnelle du mini-réseau sur une période d'une année. Le bon fonctionnement d'EUROCIEL sera un élément essentiel dans le "marketing" de grands réseaux auprès de grands clients européens.

Le coût total des études et de la réalisation du mini-réseau, composé de 16 stations et 1 centre, est estimé à environ 500 MF ; cette estimation peut varier notablement en fonction du niveau d'ambition du projet et des développements spécifiques qui auront été décidés (composants optoélectroniques notamment).

Il est proposé de débuter par la phase de définition, qui représente un coût d'environ 30 MF T.T.C. sur une durée de 18 mois, y compris la réalisation de certaines maquettes.

## ANNEXE 1 : ETUDE PRELIMINAIRE

L'analyse de la situation en France et dans le monde en matière de détection de phénomènes aérospatiaux fugitifs et imprévisibles, à l'aide de tous types de capteurs, a fait l'objet en 1982 d'un contrat d'étude du CNES. A la suite des recommandations exprimées en conclusion, des travaux complémentaires ont été réalisés sous la forme d'un stage de fin d'études par deux élèves-ingénieurs de l'ENSTA.

Un résumé de cette étude et de ces travaux est présenté ci-dessous.

### Les besoins

Il existe une classe de phénomènes aérospatiaux lumineux fugitifs, imprévisibles et généralement non reproductibles qui, en l'absence de moyens de détection systématique, ne sont observés que fortuitement.

En particulier, les phénomènes lumineux associés aux rentrées de bolides dans l'atmosphère (météores) ne peuvent être étudiés scientifiquement que s'ils font l'objet d'enregistrements dans le cadre d'un système de surveillance du ciel. Il faut noter que s'il existe de grandes compétences en Europe dans le domaine de l'analyse des matériaux extraterrestres, les météorites recueillies sur terre constituent un matériau très rare et recherché ; or seule l'exploitation des données fournies par un réseau de surveillance permet, par calculs de trajectographie, de reconstituer leur orbite d'origine (extrapolation vers l'amont) et de localiser rapidement les points de chute de ces objets (extrapolation vers l'aval).

D'autres phénomènes lumineux plus rares ne peuvent être étudiés qu'à l'aide de campagnes d'observation systématique ; c'est le cas, par exemple, des flashes optiques associés aux "sursauts gamma" de certaines étoiles, que les astronomes de plusieurs pays cherchent à mettre en évidence.

Les phénomènes d'électricité atmosphérique constituent une gêne importante pour les responsables de certains équipements (antennes, pylônes, ...), et cela peut justifier une surveillance constante de l'activité orageuse par détection et comptage des coups de foudre.

D'un point de vue militaire on peut, par extension, considérer comme phénomène lumineux imprévisible le passage dans le ciel nocturne d'un satellite artificiel inconnu ; la surveillance systématique du ciel est un besoin moderne pour une Défense autonome.

## La situation

L'étude de l'état de l'art en matière de détection des phénomènes aérospatiaux rares a fait l'objet d'un contrat d'étude du CNES en 1982 (1). Tous les systèmes de surveillance existants et les projets en cours de développement ont été passés en revue, ainsi que les besoins des organismes scientifiques et autres. Le constat final peut se résumer ainsi :

### En France :

Aucun des réseaux de couverture radar systématique (aviation civile, militaire, météorologie nationale, ...) ne présente d'intérêt opérationnel vis-à-vis du problème posé. Au plus, certains projets en cours justifient-ils un suivi d'information.

Il n'existe actuellement aucun moyen permettant l'observation systématique des météores ou de l'activité orageuse sur le territoire national.

Dans le monde :

Un certain nombre de réalisations fournissent des données systématiques sur les phénomènes concernés, et notamment :

- en Afrique du Sud et en Amérique du Nord, de nombreux travaux sont consacrés depuis longtemps à la détection de la foudre, véritable fléau dans certaines régions.

- au Benelux, il existe des réseaux de détecteurs électromagnétiques de foudre à distance ("sferics" à 10 KHZ), qui pourraient aisément être étendus à des pays voisins (Instituts Météorologiques).

- à Berlin, Tel-Aviv et Pretoria, un système de localisation à très grande distance des centres orageux couvre, entre autre, la totalité de l'Europe (Institut Astronomique de l'Université de Bonn).

- dans le domaine des bolides, au moins quatre réseaux de détection photographique ont fonctionné ou fonctionnent encore. Il faut souligner qu'en 1982 l'IAU (commission 22) a recommandé en assemblée générale la poursuite des programmes de détection de météores à l'aide de tels réseaux :

  . le premier en date, le réseau PRAIRIE aux U.S.A., n'est pas repris à l'heure actuelle dans les priorités de la NASA.

  . au Canada, le réseau MORP fonctionne avec succès.

  . le plus important réseau a été créé en Tchécoslovaquie par le plus grand spécialiste de la détection de météo-

res, Monsieur CEPLECHA. Ce "réseau européen" s'étend également en Autriche et en R.F.A. (Max-Planck-Institut de Heidelberg), jusqu'à la frontière française ; il a même comporté dans le passé des stations tenues par des amateurs en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas. Ce réseau, avec son système de traitement des données photographiques, relève de technologies simples et très éprouvées, et ses responsables sont prêts à mettre leur expérience au service d'une coopération.

. les Russes gèrent au moins un réseau de détection, en Ukraine ; ils ont organisé en Août 1985 un symposium "GLOBMET" sur la détection des météores.

Enfin, il faut rappeler le système militaire américain GEODSS qui réalise, à l'aide de stations extrêmement sophistiquées, la surveillance de l'activité spatiale dans le monde. Ce système n'a aucun équivalent en Europe.

Le stage

L'étude du CNES comportait des recommandations pour l'étude d'un système original de détection optique mettant en jeu des détecteurs optoélectroniques (très sensibles) et un système de prétraitement en temps réel réalisant un stockage sélectif des données images, en vue d'une exploitation ultérieure. En prolongement de cette étude, les stages de fin d'études de deux élèves-ingénieurs de l'ENSTA ont permis, avec l'aide de deux laboratoires, de progresser dans la définition d'un tel système.

Au CESR (Toulouse) ont été étudiées au titre de ce stage :

- la caractérisation fine des phénomènes observés (ciel nocturne, physique de phénomènes lumineux types)

- la justification quantifiée du principe de stockage sélectif : l'analyse d'une campagne de prises de vue d'une centaine d'heures réalisée avec une caméra vidéo à grand angle au Pic du Midi a permis de confirmer qu'on pouvait espérer un taux de réduction du volume de données compris entre 10 et 100.

- la définition de la chaîne optique (objectif grand angle, capteur CCD, éventuel amplificateur de brillance) permettant la détection d'un phénomène-type.

A l'ETCA (Arcueil), la partie algorithmique a été étudiée sur une puissante configuration de traitement d'images :

- mise au point d'un outil de simulation (génération de séquences d'images du ciel et de divers phénomènes lumineux)

- développement et test d'un premier algorithme de prétraitement.

Cette étude préliminaire, qui a fait l'objet d'un compte-rendu final commun aux deux stagiaires (2), montrait la faisabilité d'un système permettant la détection aussi bien d'un météore-type (magnitude + 1, vitesse angulaire de 10°/s) que d'un satellite défilant moyen (magnitude entre + 2 et + 3, vitesse de 0.5°/s).

REFERENCES

(1) "Etude sur la détection des phénomènes aérospatiaux rares"
(5 volumes plus 1 classifié), par F. LOUANGE,
Décembre 1982, Contrat n° 82/CNES/0758

(2) "Projet de système de détection de phénomènes aérospatiaux rares", par T. CATHALA et P. FLAMENT,
Juin 1983, Projet ENSTA n°113.

ANNEXE 2 : PREMIERE ANALYSE DES TACHES

Une première décomposition en tâches élémentaires des travaux et fournitures est proposée ci-dessous. Chacune d'elles sera prise en charge, dans l'un des pays participants, par un industriel ou un laboratoire.

T0 : Coordination générale du projet EUROCIEL

T1 : Etude de définition de la station "visible"

- T11 : Synthèse des besoins des différents clients potentiels
- T12 : Revue de l'état de l'art en détection dans le visible
- T13 : Analyse du système
- T14 : Etude préliminaire du prétraitement en temps réel des séquences d'images
- T15 : Réalisation d'une maquette et expérimentation

T2 : Etude de définition de la station "infra-rouge"

- T21 : Synthèse des besoins des différents clients potentiels
- T22 : Revue de l'état de l'art en détection dans l'infra-rouge
- T23 : Analyse du système
- T24 : Etude préliminaire du prétraitement en temps réel des séquences d'images (éventuellement identique à T14)
- T25 : Réalisation d'une maquette et expérimentation

T3 : Etude de définition du centre de dépouillement

- T31 : Synthèse des besoins des différents clients potentiels
- T32 : Réalisation de programmes expérimentaux et de simulations

T4 : Maîtrise d'oeuvre industrielle et intégration des 8 stations "visible"

T41 : Réalisation du sous-ensemble capteur

T411 : Développement des optiques, y compris les éventuelles optiques de traitement d'images
T412 : Fourniture des matrices de détecteurs
T413 : Fourniture des amplificateurs de brillance et des convertisseurs analogique/numérique

T42 : Réalisation du sous-ensemble informatique

T421 : Développement d'un générateur de séquences d'images simulées (logiciel)
T422 : Développement de l'algorithme de prétraitement en temps réel sur des moyens généraux
T423 : Transposition de cet algorithme sur microprocesseur
T424 : Fourniture et couplage du support de stockage des images

T43 : Réalisation du sous-ensemble de télécommunication

T431 : Négociations pour l'utilisation d'un satellite de télécommunication
T432 : Fourniture et installation du dispositif de télécommunication par satellite
T433 : Fourniture et installation du dispositif de télécommunication par ligne enterrée

T5 : Maîtrise d'oeuvre industrielle et intégration des 8 stations "infra-rouge"

T51 : Réalisation du sous-ensemble capteur

T511 : Développement des optiques, y compris les éventuelles optiques de traitement d'images
T512 : Fourniture des matrices de détecteurs en infra-rouge
T513 : Fourniture des amplificateurs de brillance et des convertisseurs analogique/numérique

T52 : Réalisation du sous-ensemble informatique (adaptation de T42)

T53 : Réalisation du sous-ensemble de télécommunication (adaptation de T43)

T6 : Intégration du centre de dépouillement

T61 : Fourniture des moyens de calcul et de gestion des données (matériel et logiciel de base)
T62 : Fourniture du système de traitement interactif d'images (matériel et logiciel de base)
T63 : Développement des logiciels d'application interactifs
T64 : Développement des systèmes experts.

T7 : Conduite de la phase de démonstration

T71 : Gestion du centre de dépouillement (opérations, maintenance)
T72 Gestion des stations de détection (opérations, maintenance)

## ANNEXE 3 : EXTENSIONS POSSIBLES

Les grands systèmes opérationnels dérivés d'EUROCIEL pourront comporter, outre les fonctionnalités incluses dans le présent programme EUREKA, certaines extensions :

- Introduction dans chaque station de différents dispositifs (radar, microphone, microbarographe, ...) pour en faire un système multi-capteurs.

- Installation d'une station centrale privilégiée comportant des instruments plus sophistiqués que les stations récurrentes (dispositif d'analyse spectrale, sondeur atmosphérique, ...).

- Asservissement de capteurs plus directifs (radars, télescopes) à certaines stations du réseau ou à la station centrale, permettant d'obtenir en temps réel des données beaucoup plus précises sur les évènements observés.