

N° 3

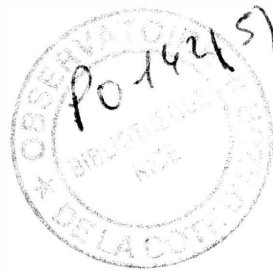
**C
E
R
G
A**

**PROJET D'UN CENTRE D'ETUDES
ET DE RECHERCHES GEODYNAMIQUES
ET ASTRONOMIQUES**

C E R G A

Novembre 1973

C E R G A



ETAT D'AVANCEMENT DU PROJET DE CENTRE D'ETUDES
ET DE RECHERCHES GEODYNAMIQUES ET ASTRONOMIQUES

Rapport rédigé par

Jean KOVALEVSKY

TABLE DES MATIERES

	PP
Table des Matières	2
Table des Sigles	3
I - Introduction	4
II - Choix du site de CALERN	8
III - Activité de la Station du CALERN (1970-1973)	11
1) Contrôle de la qualité météorologique du site .	11
2) Observations à l'astrolabe	15
3) Observation Radio-électriques de Satellites ...	18
4) Station horaire	19
5) Marées Terrestres	19
6) Programmes récemment commencés	22
IV - Implantation du CERGA	23
1) Centre d'Observation du Plateau de CALERN	24
2) Centre technique et administratif	26
V - Mise en route du CERGA (1973-1974)	26
1) Constructions et équipements	27
2) Cadre administratif	27
3) Personnel	29
VI - Programme scientifique du CERGA	30
1) Laser-Lune	30
2) Laser-satellite de 2ème génération	34
3) Astrolabe photo-électrique	35
4) Télescope de Schmidt	37
5) Synthèse d'ouverture en rayonnement infra-rouge	39
6) Moyens de calcul	40
7) Astrométrie à long foyer	42
8) Autres équipements	43
VII - Projets à longue échéance	43

Table des Sigles

Nous nous excusons d'employer dans ce document quelques sigles qui ne sont familiers qu'aux spécialistes, mais qui allègent le texte. Nous en donnons ci-dessous la signification :

ATP	Action thématique Programmée (action scientifique de l'INAG)
BIH	Bureau International de l'Heure (à Paris)
CERGA	Centre d'Etudes et de Recherches géodynamiques et Astronomiques
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
GRGS	Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale
INAG	Institut National d'Astronomie et de Géophysique (Institut du CNRS)
JPL	Jet Propulsion Laboratory (aux Etats Unis)
ONERA	Office National d'Etudes et Recherches Aérospatiales
RCP	Recherche Coopérative sur Programme (action scientifique du CNRS)

I - INTRODUCTION

Dans un premier document, daté de décembre 1970, et intitulé "Projet d'un Centre d'Etudes et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques (CERGA)", un certain nombre de personnes, pour la plupart astronomes, donnaient leurs idées sur ce que devait être un nouveau centre d'activité scientifique qui se spécialiserait sur tous les problèmes liés aux mouvements dans le système Terre-Lune, le système Solaire et les systèmes stellaires ainsi que les forces qui les régissent.

Après un certain ralentissement des projets dans ce qu'il était convenu d'appeler astronomie fondamentale, ralentissement dû surtout à un vieillissement des méthodes et des instruments d'observation, on voyait récemment apparaître une nouvelle ère marquée par l'invention de nouvelles familles d'instruments et de méthodes de mesure qui laissaient présager des améliorations souvent de plusieurs ordres de grandeur des précisions d'observation ou de la sensibilité des instruments. Instruments observant le mouvement de satellites artificiels, équipements à bord de ces satellites, lasers de types divers permettant une mesure très précise de distances, interféromètres sur diverses gammes de longueur d'onde, instruments d'optique astronomique plus classiques, mais améliorés et surtout automatisés, calculateurs électroniques puissants, c'est autant de moyens nouveaux d'investigation qui se présentaient et pouvaient être appliqués aux divers problèmes d'astronomie de position, de Mécanique du système solaire et des systèmes d'étoiles, de dynamique de la Terre et de la Lune prises dans leur ensemble, et de la physique du globe terrestre, tous ces domaines étant d'ailleurs fortement interdépendants.

Pourquoi un tel centre ? Et d'abord pourquoi faire un effort de recherche dans ces domaines ? En premier lieu parce que, lorsque l'on va avoir à sa disposition des instruments dix, cent,

mille fois plus précis ou plus puissants, il n'y a pas d'exemple que cela n'entraîne de nombreuses découvertes et ne fasse apparaître des phénomènes nouveaux, insoupçonnés. D'autre part, parce que de tout temps, l'Astronomie fondamentale, la Géodésie et la Mécanique Céleste ont été des sciences pour lesquelles la contribution de la France a été majeure et qu'il y a actuellement de nombreux jeunes chercheurs qui ne demandent qu'à aller de l'avant dans ces domaines pourvu qu'on leur en donne les moyens. Enfin, certaines des techniques ou même certains résultats peuvent avoir des applications directes pour la société. Certaines techniques de poursuite radio des satellites sont employées pour la navigation qui demande cependant aux centres de recherche de fournir le moyen de calculer exactement la position du satellite. Les variations du mouvement du pôle - un des sujets principaux de recherche du CERGA - ne sont peut-être pas étrangères à certains tremblements de Terre. En tous cas, l'étude des mouvements des plaques continentales pour laquelle un point fondamental se trouvera au CERGA est très directement lié à l'étude des zones de sismicité.

Une fois admis l'effort à faire dans ces domaines, pourquoi un centre d'études nouveau et spécialisé et non pas faire ces travaux dans les observatoires français déjà existants ? En ce qui concerne le lieu, la réponse est évidente : les observatoires français sont pour la plupart situés dans des villes ou dans leur voisinage immédiat et on ne peut plus y observer de façon satisfaisante. On s'est donc appliqué à chercher le site le meilleur. Les qualités d'un tel site ne coïncident pas avec celles qui sont exigées pour les observatoires astrophysiques, et c'est pourquoi on a écarté les quelques observatoires français non situés près d'une agglomération. Ceci étant, il était bien entendu plus économique de faire un centre plutôt que plusieurs. Mais sur ce point encore les raisons scientifiques de concentrer les moyens sont nombreuses. Citons-en quelques unes.

La plupart des instruments que l'on pouvait imaginer construire pour travailler dans le centre de recherches ainsi défini sont souvent complémentaires, mais permettent aussi de mesurer en partie les mêmes paramètres physiques. Il est bon d'en comparer les résultats pour éliminer les erreurs et par

conséquent il est bon de les mettre en un même lieu. C'est également souhaitable, pour les équipes dont les intérêts sont voisins sans être confondus, d'être réunies pour assurer une vie scientifique plus variée et, partant, plus fructueuse. Ce centre verra aussi se développer une compétence technique dans ce domaine et pourra développer de nouveaux instruments ou améliorer et automatiser les anciens dans des conditions meilleures que si de petites équipes techniques étaient distribuées en France.

Enfin, ce centre a une particularité que n'ont pas les grands observatoires modernes d'astrophysique ou de radio-astronomie : les phénomènes qu'on y étudie varient plus ou moins lentement avec le temps et c'est précisément cette variation qui est l'objet des recherches. Cela a pour conséquence que les programmes d'observation doivent être continus et s'étendre de façon homogène, parfois sur des dizaines d'années. Il s'ensuit que ce ne doit pas être un observatoire où l'on vient faire des missions d'observation, comme c'est le cas de l'Observatoire de Haute-Provence ou de l'Observatoire Européen austral, mais un observatoire qui comporte un important personnel d'astronomes observateurs chargés de faire fonctionner de façon homogène et continue les instruments sur des programmes précis et suivis.

Telles sont les idées-force qui ont amené à la conception présente du CERGA et qui sont le développement logique de l'idée initiale, datant de 1963-1964, qui consistait à créer une station astrométrique à FONT-ROMEU ou éventuellement dans un meilleur site pour un méridien et l'observation de satellites. Ce projet, dont J. LEVY et P. SEMIROT ont été les promoteurs, avait été retenu pour le 5ème plan d'équipement. Depuis, ces idées ont été élargies et précisées et ont été acceptées par les autorités scientifiques françaises, notamment par l'Institut National d'Astronomie et de Géophysique (INAG) du Centre National de la Recherche Scientifique. Son Directeur actuel, J. DELHAYE, qui disposait dès 1965 de moyens pour faire une recherche de site d'un observatoire d'astrophysique, avait à l'époque, rattaché l'étude des sites astrométriques à son action, ce qui a grandement facilité le démarrage de l'opération. C'est cette étude qui a abouti au choix de la

région de GRASSE pour le projet initial qui, revu et amplifié, est devenu le CERGA (Centre d'Etudes et de Recherches Géodynamiques et Astronomiques).

L'objet de ce fascicule est de montrer comment le projet encore bien abstrait décrit en fascicule CERGA 1970, est entré dans une phase de réalisation, ce qu'est actuellement, en automne 1973, son état d'avancement et comment il devrait se développer dans un proche avenir.

II - LE CHOIX DU SITE DU CALERN (Communes de Cipières et de Caussois).

La première version du projet (1964-65) prévoyait qu'il fallait établir, quelque part en France, un observatoire astrométrique dans le but d'étudier, essentiellement par des techniques optiques, la position et le mouvement des astres. Pour cela le site idéal devait avoir les qualités suivantes :

1° - Le nombre de nuits d'observation devait être aussi grand que possible

2° - Les images des étoiles devaient être aussi stables que possible; il fallait surtout éviter que des instabilités de périodes comprises entre une seconde et quelques dizaines de secondes existent. C'est en effet, la durée pendant laquelle les étoiles sont, en moyenne, observées pour leur position et il ne faut pas que des réfractions accidentelles introduisent des erreurs sur les visées.

3° - Les qualités de transparence et de pureté du ciel, essentielles pour l'astrophysique, sont moins importantes pour les programmes astrométriques; en particulier, il n'y a pas lieu de rechercher a priori une grande altitude.

Il a été convenu que les résultats des observations à l'astrolabe impersonnel de A. DANJON, étaient des indicateurs particulièrement sensibles des qualités recherchées. C'est pourquoi des stations provisoires avaient été installées en plusieurs coins de la France, préalablement sélectionnés pour leurs qualités météorologiques (grand nombre de nuits claires).

Notons pour la petite histoire que cette liste ne comprenait pas le CALERN et qu'en 1968, les résultats s'avéraient décevants, au point que le projet allait être abandonné. Mais J. LEVY proposa alors ce nouveau site pour faire une dernière tentative...

Dans chaque station, des observations continues à l'astrolabe avaient été effectuées pendant plusieurs mois à un an et demi.

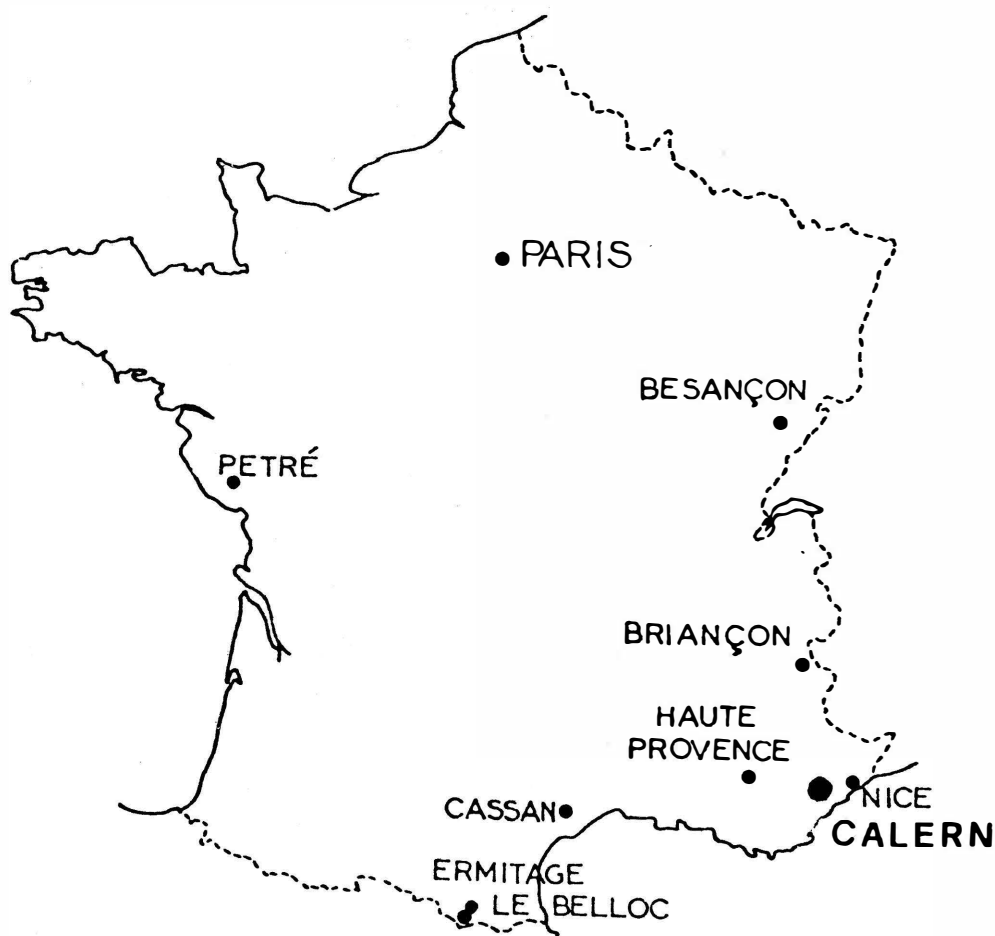
A titre de comparaison, on connaissait les résultats de plusieurs années d'observations continues à cet instrument en trois observatoires : ceux de Paris, de Besançon et de Haute-Provence. Les mêmes astronomes qui avaient observé dans ces observatoires avaient travaillé dans les stations, ce qui permettait, par comparaison, d'éliminer du résultat, les facteurs individuels. Ainsi les résultats obtenus par un observateur médiocre étaient-ils comparés avec les résultats obtenus à Paris par lui-même ou un observateur de mêmes capacités, si bien que l'analyse définitive est indépendante des qualités des observateurs.

Les sites prospectés ont été les suivants :

- L'Ermitage (près de Font-Romeu) : Juin 1965-Septembre 1966
- Le Belloc (près de Font-Romeu) : Janvier 1967-Septembre 1969
- Les Gondrans (près de Briançon) : Juin 1965-Septembre 1965
- Nice (Observatoire de Nice) : Février 1966-Mai 1966
- Cassan (nord de Pézénas) : Avril 1967-Août 1967
- Pétré (Vendée) : Octobre 1967-Juillet 1968
- Calern (nord de Grasse) : Mai 1969-Septembre 1969 et
Octobre 1970 à ce jour

FIG.1

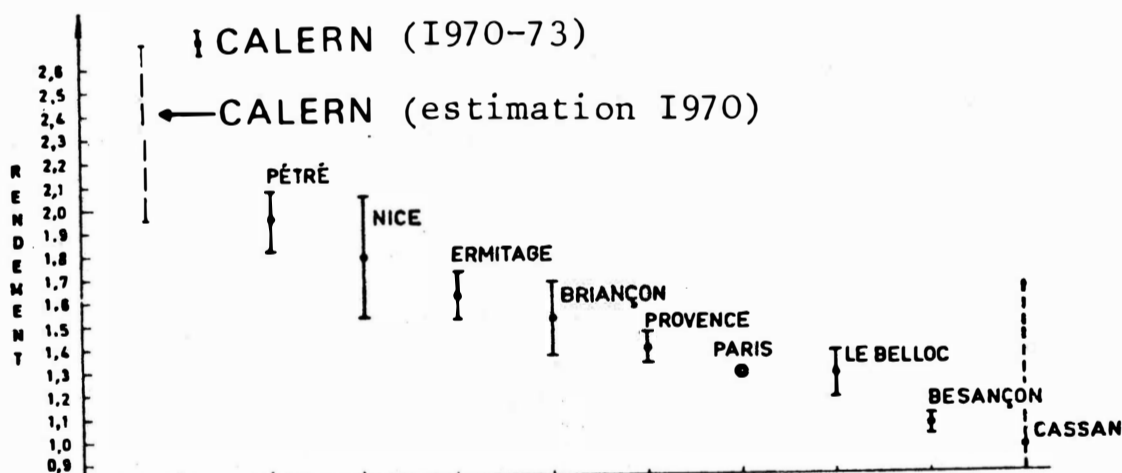
Sites étudiés pour le choix d'un observatoire astronomique en France



L'analyse des résultats pour la comparaison de ces sites a été faite par F.LACLARE qui a défini le rendement R de chaque station comme un nombre proportionnel au nombre de nuits claires par an et proportionnel au poids (c'est-à-dire inversement proportionnel au carré des erreurs moyennes d'observation). Ainsi, un site est d'autant meilleur qu'il y a plus de nuits claires et que les observations sont plus précises. La figure 2 donne le résultat de ce travail, affiné en ce qui concerne la station du Calern. On y voit que cette dernière avait un "rendement astrométrique" nettement supérieur à celui des sites étudiés et des observatoires de comparaison (2,3)

Figure 2

Résultats de la prospection astronomique en France. Le rendement d'une station dépend de la qualité des images et du nombre de nuits d'observation par an.



Les observations à l'astrolabe faites au plateau de Calern en 1969 étaient en nombre insuffisant pour avoir une estimation précise de la qualité du site. Cependant il apparaissait d'ores et déjà que cette qualité, sauf circonstances exceptionnellement favorables, peu vraisemblables, que ni la Vendée ni l'Observatoire de Nice, ni a fortiori les autres sites ne seraient meilleurs que le plateau de Calern.

C'est donc ce site qui a été choisi et c'est là qu'a été établi, dès Octobre 1970, une station de l'Observatoire de Paris, en avant-garde du Centre projeté. On a reporté sur cette figure le résultat obtenu après trois années d'observation : 2,7. La qualité du site avait donc été sous-estimée lors de la première campagne et il s'agit donc bien d'un site exceptionnel pour la France.

III - ACTIVITE DE LA STATION DU CALERN (1970-1973)

Cette station d'avant-garde a été créée par J. LEVY grace à des postes et des moyens matériels accordés par le CNRS dans le cadre, notamment, d'une Recherche Coopérative sur Programme (RCP) et par l'Observatoire de PARIS. A partir de 1971, l'INAG a financé, dans le cadre d'une action spécifique, puis d'une action thématique programmée (ATP) de l'INAG. Les tâches qui lui ont été confiées sont les suivantes :

- observations de contrôle du site,
- démarrage d'un programme d'observations d'astrolabe et éventuellement, d'autres instruments,
- préparation des installations définitives du centre.

La responsabilité générale de la station d'avant-garde est donc assurée par J. LEVY, à l'Observatoire de PARIS, aidé de Mme S. GRILLOT pour les problèmes financiers et administratifs.

Sur place, c'est F. LACLARE, Ingénieur de l'Observatoire de PARIS qui assure l'exécution du programme, entouré de :
Mme L. SAINT-CRIT et MM. J.F. MANGIN, G. MERLIN, G. VIGOUROUX, G. GUALLINO, R. BERAN et C.R. ATTARD.

1°- Contrôle de la qualité météorologique du site

Des observations météorologiques se déroulent de façon continue sur le plateau de Calern.

Le bilan des nuits utilisables pour des observations astrométriques est donné par le tableau suivant dressé par G.GUALLINO.

Classe		Janv.	Fevr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
I	1971	13	17	15	8	13	18	28	21	12	17	14	17
	1972	7	5	15	13	13	13	21	17	8	10	13	15
II	1971	6	7	2	4	7	5	1	7	9	8	7	6
	1972	7	6	4	3	10	9	0	7	7	9	6	3
III	1971	12	4	14	18	11	7	2	3	9	6	9	8
	1972	17	18	12	14	8	8	10	7	15	12	11	13

Classe I : nuits totalement utilisables -clair ou peu nuageux)

Au total 47 % des nuits appartiennent à cette classe (en moyenne 172 par an).

Classe II: nuits partiellement utilisables (au minimum deux heures de suite) : tête ou marge d'un système nuageux.

Au total 19 % de nuits appartiennent à cette classe (en moyenne 70 par an).

Classe III : nuits inutilisables (corps d'un système nuageux).

Au total, 34 % des nuits appartiennent à cette classe :
(en moyenne 124 par an).

On peut donc estimer à deux tiers la proportion de nuits d'observation par an, ce qui est bien supérieur aux autres observatoires français.

Le degré hygrométrique du plateau est assez stable le long de l'année sans variation importante : moyennes mensuelles comprises entre 50 et 80 %, sans effet saisonnier notable. Le maximum est atteint pendant la première moitié de la nuit.

Notons que l'on a constaté que la qualité des observations est influencée de façon favorable par le degré hygrométrique, ainsi que l'indique le tableau suivant.

Hygrométrie à minuit	Fréquence	Poids moyen des groupes observés dans des conditions
< 50 %	25 %	3,4
> 50 %	75 %	4,6

Remarquons que le plateau de Caussols, situé un peu plus bas, est un peu plus humide de 10 à 15 % que le plateau de Calern. Cependant, on constate qu'il est aussi plus fréquemment couvert de brouillard.

Le régime des vents est aussi un point important. Les vents du Nord-Ouest, fréquents et souvent forts ne sont pas liés à des précipitations. Les vents de Nord-Est en hiver et Sud-Est en été sont généralement faibles et amènent souvent la pluie. On note aussi qu'ils se calment fréquemment en cours de nuit.

Les forts vents détériorent la qualité des observations dès qu'ils dépassent 5 m/s (thèse de Laclare). C'est confirmé par les résultats de trois années d'observations au Calern, comme le montre le tableau suivant.

Vent	Fréquence	Poids moyen
Nul	43 %	4,3
Est < 5 m/s	18 %	4,6
Est > 5 m/s	4 %	3,7
Ouest < 5 m/s	17 %	4,3
Ouest > 5 m/s	18 %	3,5

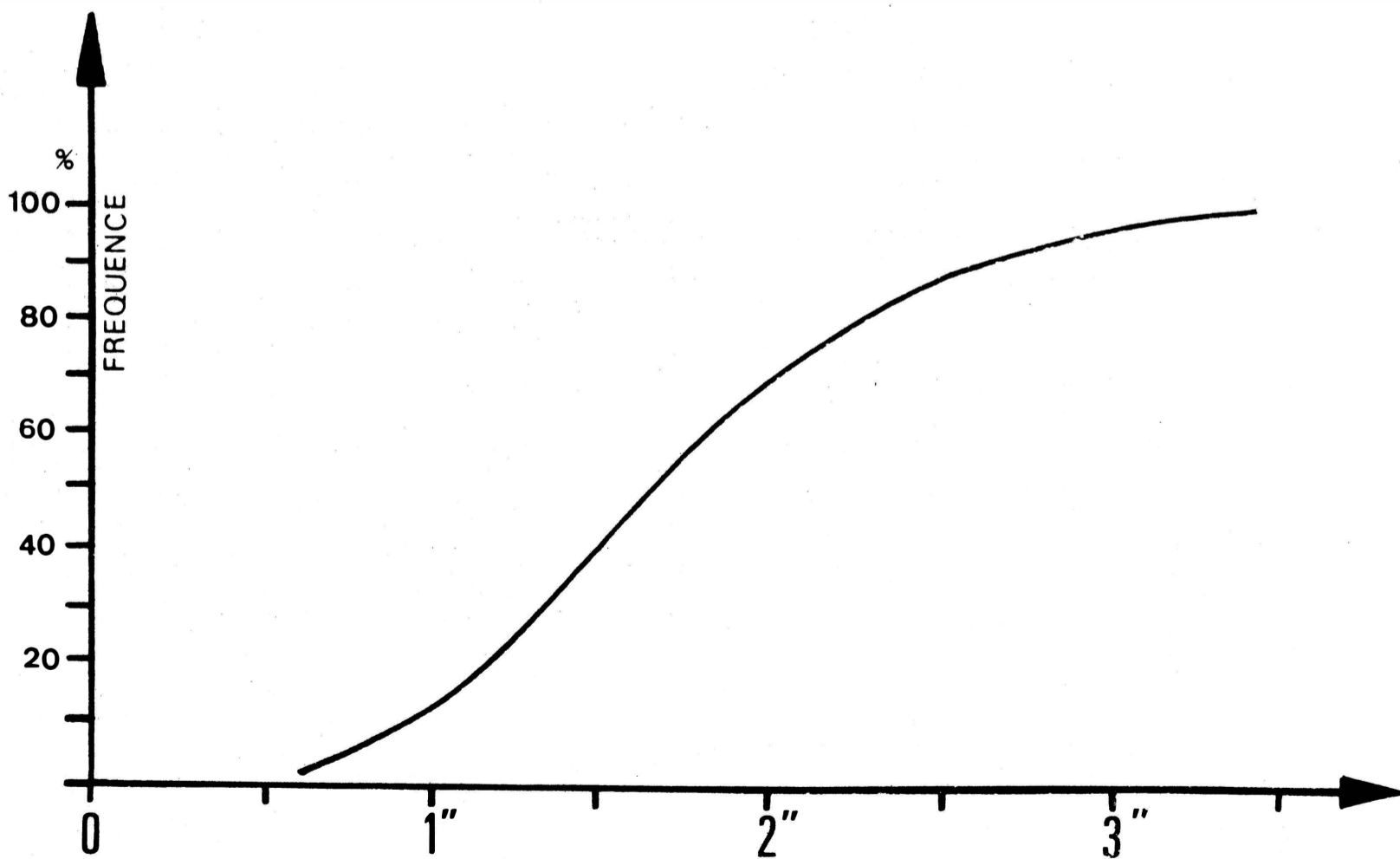
Certains de ces forts vents se produisent pendant des nuits claires et 6% sur les 66% de nuits claires sont difficilement utilisables (vents supérieurs à 10m/s).

Malgré cela, ces résultats à l'astrolabe assurent qu'en général le ciel de Calern est très stable pour des périodes comprises entre une seconde et quelques dizaines de secondes.

La stabilité générale des images est observée par d'autres méthodes, notamment en mesurant la largeur des traces photographiques laissées par les images d'étoiles. On utilise pour cela une lunette polaire qui permet de poser plusieurs heures de suite sur la même étoile.

Une telle lunette a été installée à Calern de Janvier à Juillet 1971. On a obtenu 171 traces qui ont été mesurées par GUALLINO et VIGOUROUX

Fig.3



La figure 3 donne la fréquence des nuits pour lesquelles la demi-largeur de la trace est inférieure à un angle donné. On constate une bonne corrélation avec la qualité des résultats à l'astrolabe : les nuits sont simultanément bonnes ou mauvaises. Mais le résultat obtenu n'est pas remarquable et indique en particulier que la finesse des images n'est pas la qualité dominante de ce site et que la scintillation est généralement assez forte.

2° - Observations à l'astrolabe

L'astrolabe de DANJON, installé à son site définitif en Octobre 1970, a été continuellement utilisé depuis à un programme régulier d'observations pour le compte des programmes de détermination du mouvement du pôle et de la rotation de la Terre de l'Observatoire de Paris. Le manque de personnel n'a pas permis de profiter de toutes les nuits claires.

D'octobre 1970 à septembre 1973 inclusivement, le nombre d'observations effectuées est donné par le tableau suivant :

TABLEAU DES OBSERVATIONS A L'ASTROLABE

Période	O b s e r v a t e u r s									
	VIGOUROUX		LACLARE		GUALLINO		MANGIN		MERLIN	
	Nbre de groupes	Poids	Nbre de groupes	Poids	Nbre de groupes	Poids	Nbre de groupes	Poids	Nbre de groupes	Poids
Oct. 70 Déc. 70	27	3.1	43	4.1						
1971	112	3.9	82	4.2	40	1.7	32	2.4		
1972	89	4.0	56	5.1	67	2.2	45	2.7	32	3.0
Janv. 73 15 sept. 73	76	3.8	43	4.4	35	2.3	11	2.7	14	2.7
TOTAL	304	3.8	224	4.4	142	2.1	88	2.6	46	2.9

Tableau des observations à l'astrolabe (suite)

PERIODE	TOTAL GROUPEES	NOMBRE DE NUITS UTILISABLES
Octobre 70 Décembre 70	70	70
1971	265	262
1972	290	221
Janvier 73 15 Septembre 73	179	184
TOTAL	804	737 68,5 %

En comparant les résultats obtenus par VIGOUROUX et LACLARE avec ceux qu'ils ont obtenus dans d'autres sites (Paris, Le Belloc), on peut calculer le rendement réduit du site CALERN; on obtient 2,78. La ligne 4 donne les fréquences cumulées des poids obtenus à l'astrolabe DANJON par LACLARE respectivement à CALERN et à Paris et par VIGOUROUX respectivement à CALERN et au BELLOC.

La figure 4 (page 17) montre de façon plus explicite de combien chaque observateur observe mieux à CALERN que dans d'autres sites français. Notons, pour expliquer les allures différentes des deux courbes que les observateurs avaient un meilleur résultat à Paris qu'au BELLOC.

L'ensemble des observations effectuées à Calern a permis de tracer la courbe des variations de latitude de la station pendant cette période. Cette courbe, donnée figure 5, traduit les variations de la position du pôle selon le méridien de Grasse pendant la période considérée.

En plus de ces travaux continus, le CERGA a été amené à participer à deux campagnes d'observations intensives dirigées, de Paris, par le Bureau International de l'Heure (BIH).

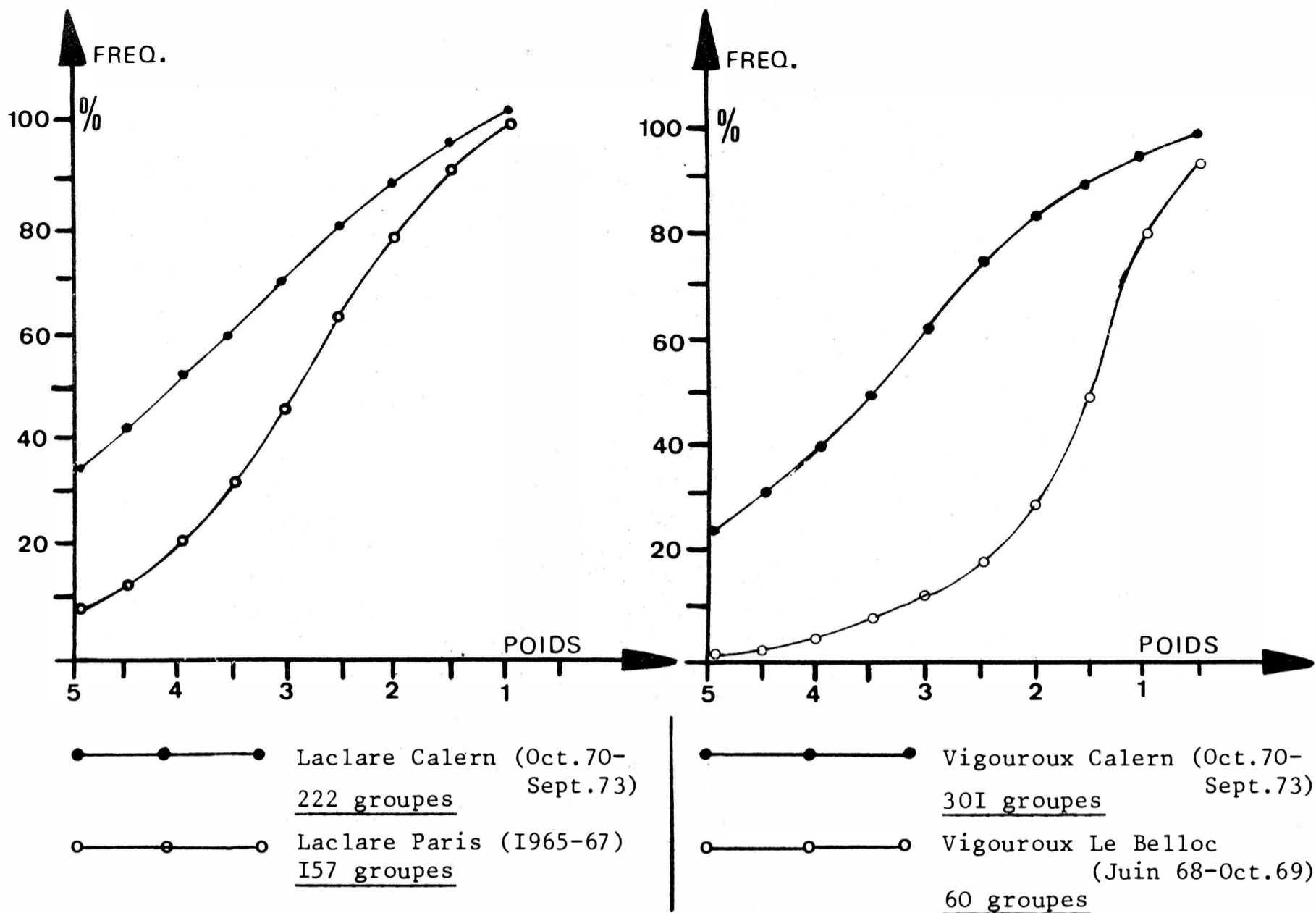


Fig 4 Comparaison des résultats obtenus par deux observateurs au Calern et dans un autre site.

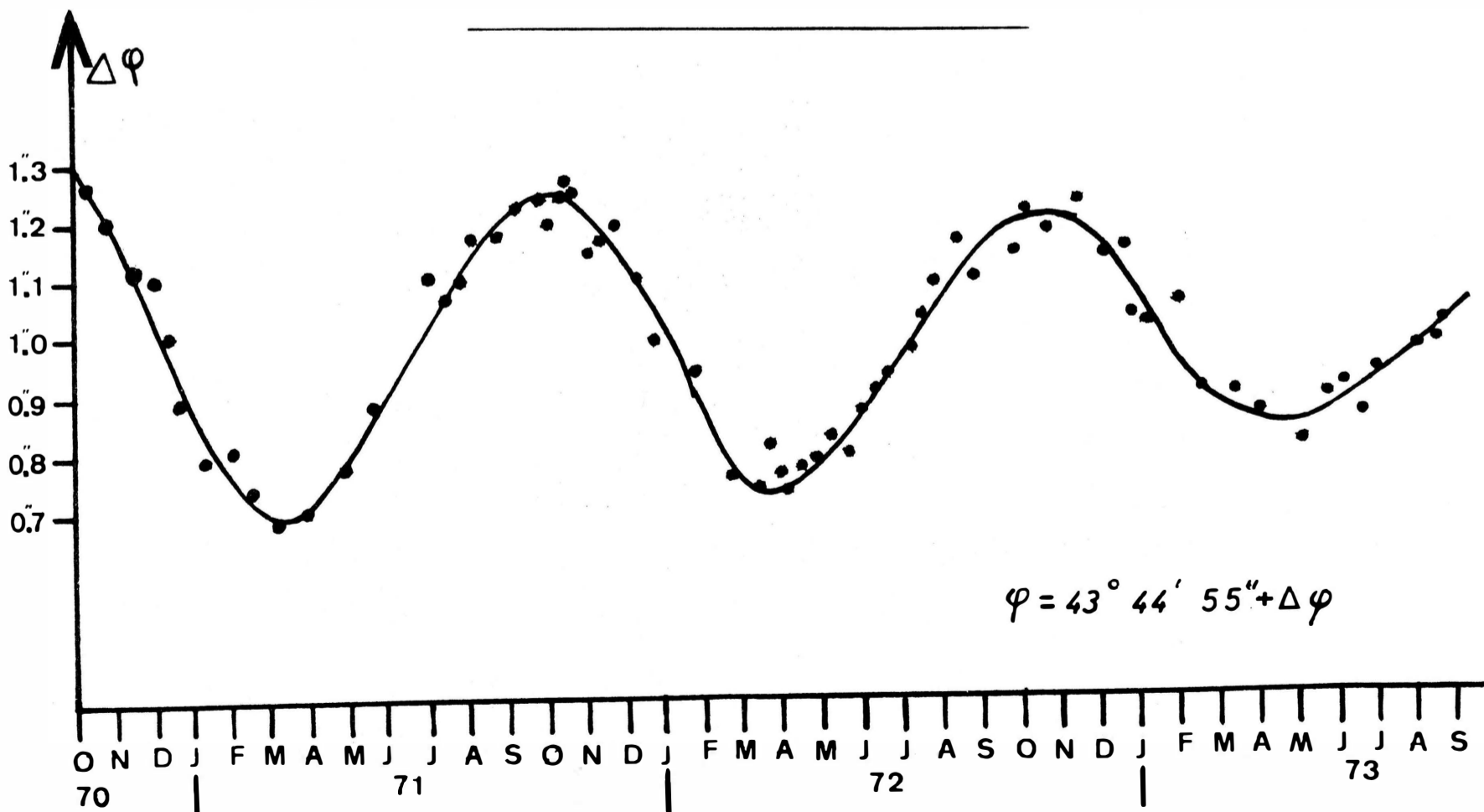


Fig 5 Variation de la latitude de Calern (φ) d'après les observations à l'astrolabe. Chaque point représente environ dix observations (somme des poids = 30)

- Opération JPL (Jet Propulsion Laboratory). Afin de permettre de télécommander avec toute la précision désirable le mouvement de la sonde sur Mars, MARINER 9, il avait été organisé une campagne d'observations intensives du mouvement du pôle. Au cours de cette période, 46 groupes ont été observés au CERGA. Les observations étaient dépouillées aussitôt et les résultats communiqués le matin même au BIH.

- Opération TRAPOL. Des observations à l'astrolabe simultanées aux mesures Doppler (voir ci-dessous) ont été faites de façon continue; 45 groupes ont ainsi été observés en six semaines.

3° - Observations radio-électriques de satellites.

On peut aussi déduire le mouvement du pôle de l'analyse systématique du mouvement de satellites. Les satellites de navigation TRANSIT sont particulièrement bien adaptés et nous désirons mettre cette technique en pratique au CERGA.

En avril et mai 1972, un récepteur des émissions des satellites TRANSIT a été installé au CALERN, simultanément à d'autres récepteurs installés à Paris, Brest et Brétigny-sur-Orge.

Il a observé pendant 40 jours et cette campagne a permis de mettre au point les techniques d'observations et de réduction.

Cette campagne a montré que la précision de détermination de la latitude d'une station était de l'ordre de un mètre après plusieurs jours d'observations (Mme N. CAPITAINE, Bulletin du GRGS N° 9, juillet 1973). Il a donc été décidé de poursuivre cette expérience. Le Centre National des Etudes Spatiales (CNES) a mis à la disposition du CERGA une station de réception sur 150 et 400 MHz. Cette station a été mise en état de marche et améliorée par MM. MANGIN et MERLIN qui poursuivent grâce à une

aide apportée par le CNRS dans le cadre de la recherche coopérative sur programme " Mouvement du pôle (RCP 307)", une automatisation complète de cette station et une extension des réceptions aux fréquences des satellites américains GEOS est en cours de réalisation.

A la suite d'un accord passé entre B.GUINOT, directeur du BIH et les autorités américaines responsables du système TRANSIT, la station du CERGA participera de façon continue au programme d'observation à partir d'octobre 1973. Provisoirement, les réductions seront effectuées à Paris (Observatoire de Paris) et à Brétigny (CNES); la liaison télex étant assurée avec Grasse depuis 1972.

4° - Station horaire

Les observations sur l'astrolabe et surtout les observations de satellites doivent se référer à une base de temps liée aux autres observatoires. Depuis le 15 Avril 1972, une horloge à césium est installée à Calern. On effectue des comparaisons avec l'échelle de temps atomique du BIH au moyen de signaux de télévision. Depuis, juillet 1973, ces comparaisons ont été automatisées par MERLIN. De plus, des comparaisons de l'horloge locale avec les signaux horaires sont effectuées.

5° - Marées terrestres

Dans un centre où des mesures de position de satellites ou de la Lune très précises vont être effectuées, il est nécessaire de suivre de très près les mouvements mêmes du socle sur lequel l'observatoire est placé.

Ces mouvements, dus à l'action de la Lune sur l'écorce terrestre sont ce que l'on appelle les marées terrestres. D'amplitude moindre (20 à 30 cm), ces mouvements sont néanmoins analogues aux marées océaniques. Pour les étudier, on utilise des pendules horizontaux qui suivent la variation de la direction de la verticale. Ils doivent être placés dans un lieu non soumis aux perturbations locales.

F. LACLARE a créé dans ce but, une station expérimentale de marées terrestres et a dirigé tous les travaux d'installation.

Deux pendules horizontaux ont été prêtés au CERGA par l'Observatoire Royal de Belgique (Mr.MELCHIOR). Le goufre de l'aven CRESP, sur le plateau de CAUSSOLS a été entièrement aménagé (accès, éclairage, etc..) par l'équipe du CERGA avec l'aide, en particulier de Bernard LAPLAUD (Groupe Spéléologique de Michel Siffre), et une banquette a été creusée dans le socle calcaire très dur pour recevoir ces appareils qui fonctionnent de façon continue depuis le 15 avril 1973.

L'emplacement choisi est au fond de la galerie principale à environ 70 mètres sous le niveau du plateau de Caussols (et se trouve à près de 2 km des terrains du Calern). La figure 6 donne le schéma de la grotte principale et le tracé de l'accès aménagé.

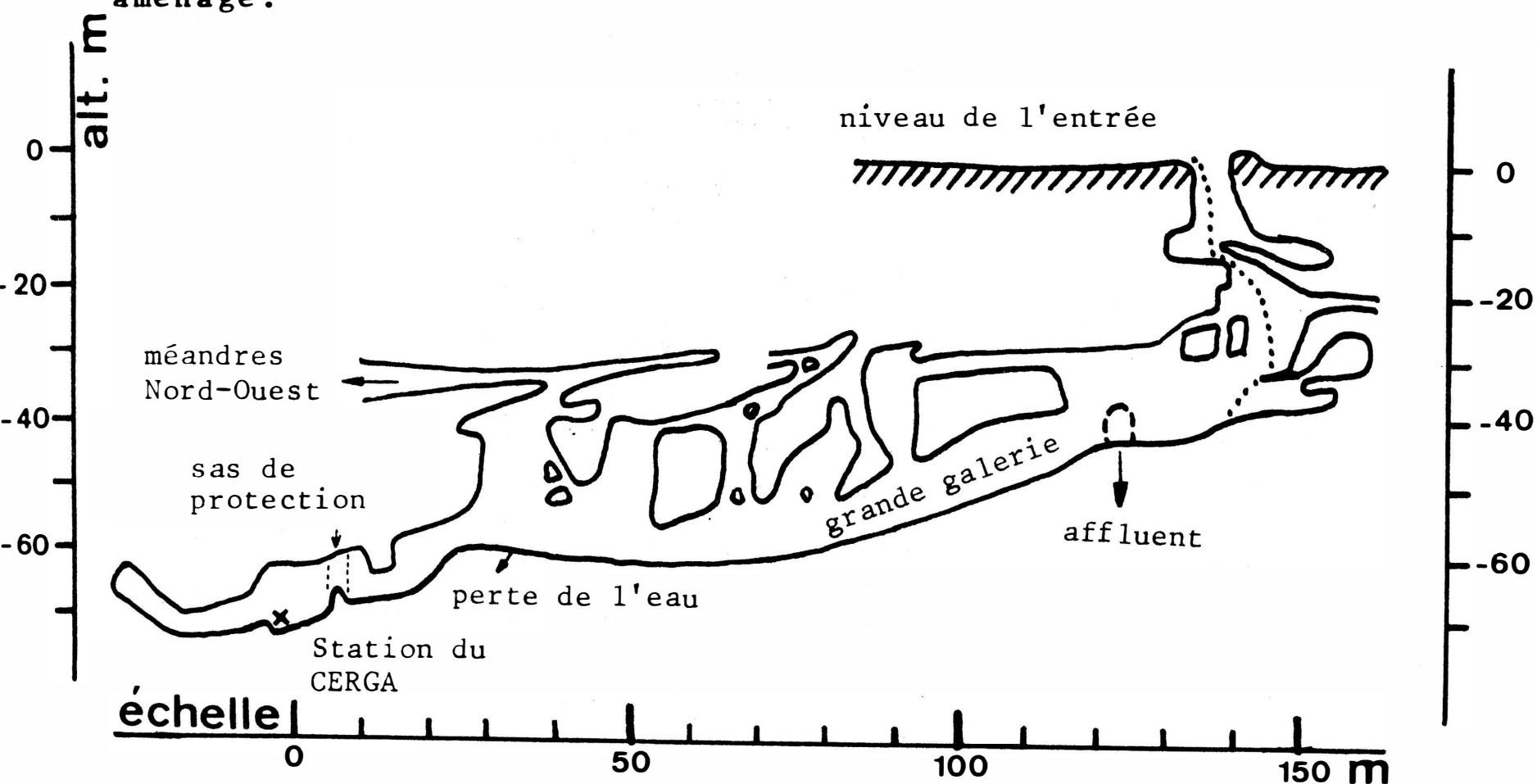


Fig 6 Plan en projection verticale de l'aven CRESP

Les enregistrements obtenus sont très stables et les premières analyses de nos collègues belges ont été très satisfaisantes en ce qui concerne les ondes diurnes. Les ondes semi-diurnes sont fortement affectées par les marées de la Méditerranée. La figure 7 montre les enregistrements obtenus par les deux pendules marquant respectivement les déflexions de la verticale dans les directions Nord-Sud et Est-Ouest. La période d'enregistrement agité correspond à une période de mauvais temps sur la Méditerranée qui se répercute aussi sur le socle continental.

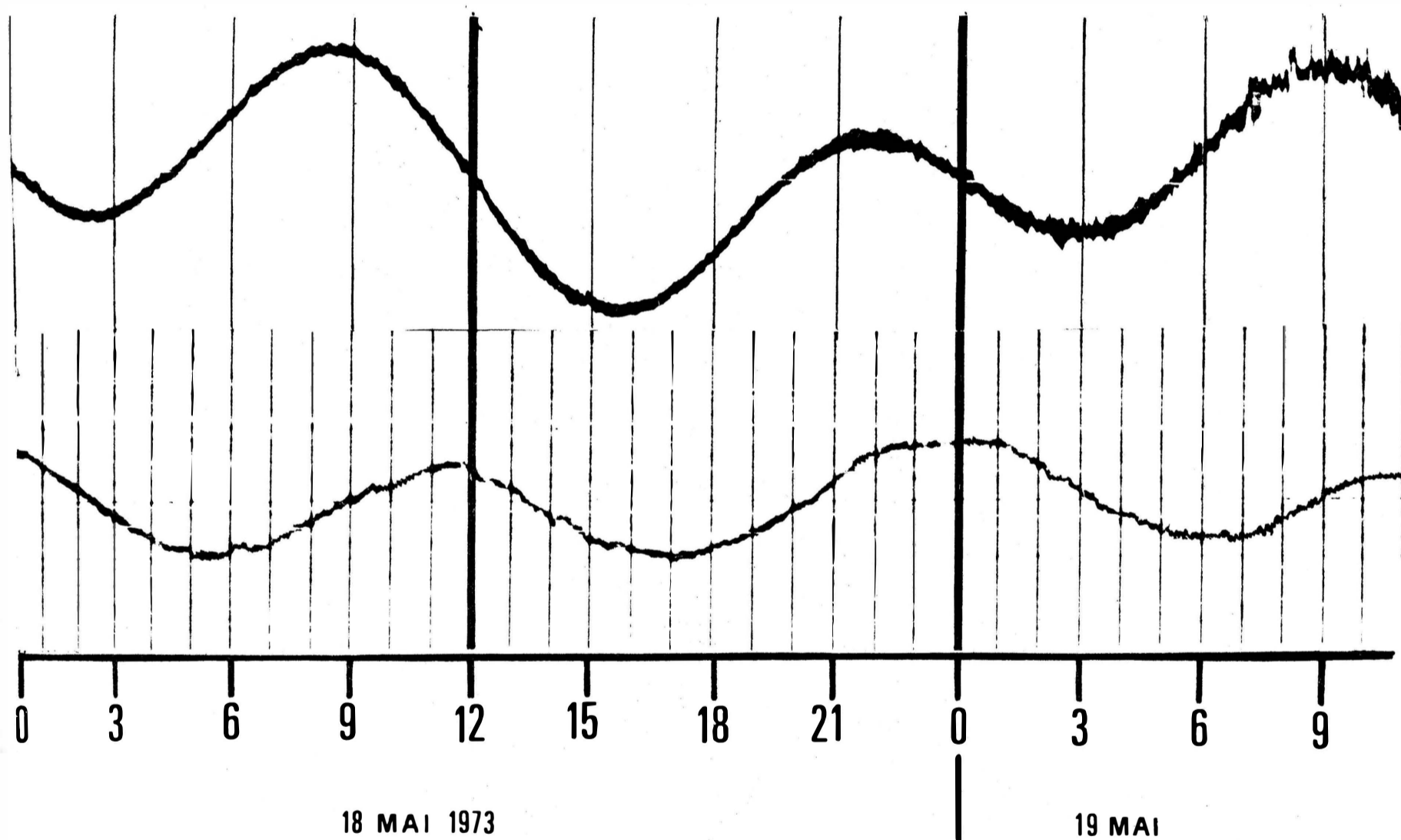


Fig 7 Exemple d'enregistrement obtenu par les pendules horizontaux de l'aven CRESP. En haut, enregistrement du pendule VM77, (période 76,2 s) donnant la composante Est-Ouest. En bas, enregistrement du pendule VM30, réglé à une période de 80,4s, donnant la composante Nord-Sud.

Un autre effet des marées terrestres est une variation périodique de la pesanteur. Un gravimètre très sensible, également prêté par l'Observatoire Royal de Belgique, a été mis en station de décembre 1972 à avril 1973 et a permis d'obtenir l'allure et l'amplitude des termes périodiques dans le déplacement vertical de la station du Calern.

6° - Programmes récemment commencés

a) Etude photométrique du ciel de jour. Afin de préparer éventuellement, des observations photométriques absolues du Soleil, PEYTURAUX, Directeur de Recherches à l'Institut d'Astrophysique de Paris, a préparé des programmes continus de mesure photométriques du Soleil (tracé de droites de Bougues). Il s'agit de tester la stabilité photométrique du ciel et non la transparence. Les observations sont effectuées sur place par BERAND et dureront un an.

b) Interférométrie Infra-Rouge.

Ce programme est décrit dans le chapitre VI. Afin de préparer l'installation des appareils, M. GAY, astronome-adjoint à l'Observatoire de Meudon, avec MM. JOURNET et GRANES, se sont installés au CERGA le 1er septembre 1973 et ont commencé à préparer leur appareillage tout en participant aux tâches d'intérêt général du centre.

IV - IMPLANTATION DU CERGA

L'implantation provisoire de l'équipe de l'Observatoire de Paris dans la région de Grasse-Calern comprend la station provisoire sur le Plateau de Calern, les installations de l'aven Cresp et les locaux administratifs et techniques. Ces derniers avaient été d'abord installés à Saint-Vallier puis, à partir du 1er janvier 1972, ils ont été installés à Grasse, dans l'immeuble MIRASOL (8, Boulevard Emile Zola) où 307 m² ont été mis à la disposition du CNRS par l'administration des finances (Tél : 365195).

L'implantation définitive est assurée par l'INAG sur ses crédits d'équipement (l'opération "Observatoire astrométrique" dont le CERGA est la réalisation, était inscrite au 6ème Plan d'Equipement pour une somme de 8 millions de Francs). Ces crédits sont budgétisés sous forme d'une " Action Thématique Programmée (ATP) " de l'INAG, dénommée "Astrométrie et Géodésie". Les traits généraux de cette implantation ainsi que le programme scientifique du CERGA sont décidés par l'INAG, sur proposition du Conseil Scientifique de l'ATP "Astrométrie et Géodésie" comprenant une dizaine d'astronomes et présidée par J.KOVALEVSKY. L'exécution technique est contrôlée par la division technique de l'INAG et plus particulièrement par C.DUMOULIN, ingénieur chargé du projet.

Les crédits mis par l'INAG à la disposition de l'ATP (y compris le fonctionnement de la station) ont été les suivants :

1972 : 1.500.000 F.

1973 : 2.200.000 F.

A ces chiffres s'ajoutent des participations de l'Observatoire de Paris et du CNRS au fonctionnement ou à l'équipement de la station. L'essentiel de ces sommes est consacré aux installations du futur centre.

1° - Centre d'observation du Plateau de Calern

Le terrain d'emprise sur le Plateau a été déterminé compte-tenu non seulement des besoins propres du CERGA, mais aussi des besoins de l'INAG pour une installation éventuelle d'un grand interféromètre en ondes millimétriques. On y ajoute les deux sommets du Calern et de la COLLE DE ROUGIES qui dominant le terrain et où l'on doit éviter toute construction avec lumière et où l'on devra installer des mires.

Le terrain comprend :

- environ 258 hectares sur la commune de Cipières
- et environ 92 hectares sur la commune de Caussols.

Il faut y ajouter les terrains de la route d'accès, tous sur la commune de Caussols.

L'ouverture d'une enquête d'utilité publique a été prescrite par Mr. Le Préfet des Alpes Maritimes, le 24 juillet 1972. Cette enquête s'est déroulée du 7 au 24 août 1972 et les avis favorables de tous les organismes et commission concernées ont été recueillis. L'enquête parcellaire s'est effectuée du 13 juin au 10 juillet 1973 selon une procédure définie par un Arrêté préfectoral, en date du 7 mai 1973.

Ces formalités devraient être suivies, avant la fin de l'année, par un Arrêté de cessibilité et, enfin, par l'ordonnance d'expropriation.

Sans attendre cette ordonnance, des plans ont été faits concernant la première tranche d'implantation de bâtiments sur le plateau, en liaison avec Mr. DUNAN, de Grasse, architecte du CERGA. Dans cette première tranche de travaux, financés sur le budget 1973 de l'ATP Astrométrie et Géodésie, il est prévu de construire un bâtiment d'environ 260 m² de surface habitable, comprenant 7 chambres ou bureaux, un laboratoire d'électronique et une cuisine-salle à manger. Le permis de construire a été obtenu en juillet 1973.

A cette construction s'ajoute la construction d'une première coupole pour l'interféromètre infra-rouge (dit SOIRDETE) et la coupole pour le télescope de Schmidt (financée indépendamment par l'INAG). Les prises de possession préalables des terrains où ces bâtiments sont prévus ont été obtenus des propriétaires et l'appel d'offre lancé en juillet et modifié en septembre a permis de choisir les contractants. Une ligne électrique de moyenne tension a été amenée en automne 1971 et une liaison téléphonique provisoire a été réalisée pour l'hiver 1971-72. Pour l'adduction d'eau, une convention a été signée entre l'INAG et la commune de Cipières. Elle sera réalisée sous la direction technique du service du Génie rural des Eaux et Forêts des Alpes Maritimes. La portion de financement de l'INAG est de 20 %, ce qui représentera 200.000 F. Les travaux ont commencé en été 1973.

La route d'accès a été construite en 1972 et achevée en 1973 sur des terrains à acquérir par l'INAG. Le financement a été fait par l'INAG, le tracé et le contrôle technique de l'opération ayant été pris en charge par la direction départementale des Ponts et Chaussées. A cette construction s'est ajoutée l'élargissement de la route communale existante.

2° - Centre technique et administratif

Plusieurs terrains ont été considérés pour l'implantation du centre technique et administratif, à Saint-Vallier, Cabris, Saint-Cézaire et Grasse. Après examen des dossiers, c'est un terrain sur le Plateau Napoléon, au-dessus de Grasse, qui a été choisi. Il s'agit de 14.000 m² qui appartiennent à la Mairie de Grasse et qui sont en instance de vente au CNRS.

Une première tranche de travaux, prévoyant le centre de calcul et quelques bureaux est en étude, les travaux devant commencer en hiver 1973-74.

Ce centre devra en effet, dans un premier temps, abriter le terminal du centre de calcul du CNES à Toulouse. C'est dans un second temps, en 1976-77, que ce centre sera agrandi afin d'abriter tous les services techniques et administratifs restant à Grasse, et qui, entre-temps, seront abrités dans l'immeuble "Mirasol".

V - MISE EN ROUTE DU CERGA (1973-1974)

L'année scolaire 1973-74 sera une année-clé pour l'établissement du CERGA à Grasse. Le Conseil de l'ATP a en effet fixé comme objectif à atteindre : le stade pleinement opérationnel pour la rentrée de septembre 1974.

Pour cela, il faudra mener simultanément plusieurs actions dans le domaine des constructions et équipements, définir un cadre administratif, faire venir des équipes scientifiques et techniques et compléter le personnel par la création de postes nouveaux.

1° - Constructions et équipements

Pour l'automne 1974, les constructions de bâtiments sur le plateau de Calern et à Grasse, tels qu'ils ont été décrits au chapitre précédent, devront être achevées et rendues habitables. En particulier, la viabilisation (eau, électricité, téléphone) devra être assurée pour ces deux corps de bâtiments. Bien que les crédits déjà accordés pour 1973 permettent de réaliser une grande partie de ces travaux, une certaine somme devra cependant être consacrée en 1974 à la viabilisation du terrain de Grasse et à l'équipement mobilier général de ces bâtiments. Nous traiterons dans le chapitre VI le problème des équipements scientifiques.

2° - Cadre administratif

La création du CERGA sera faite grâce à des actions concertées de plusieurs organismes. L'équipement provient pour une grande partie de l'INAG, tandis que le personnel sera, pour une grande partie, du personnel scientifique et technique dépendant de l'Enseignement Supérieur (cadre des Observatoires principalement). Quant aux crédits de fonctionnement, qui ont été fournis jusqu'à présent par l'INAG, ils devront être progressivement pris en charge par l'Enseignement Supérieur, mais il est hors de doute que les opérations scientifiques continueront à être tributaires de crédits INAG et CNRS. Cela implique qu'une association du CERGA avec le CNRS sera indispensable sous une forme non encore définie. En revanche, pour le personnel et la partie des activités du CERGA ayant un caractère technique ou de recueil systématique des observations, une structure "Enseignement Supérieur" conforme à la Loi d'Orientation était indispensable.

Cette dernière structure est en voie de création. Selon elle, le CERGA sera un "Service Commun Inter-Universitaire" ayant les missions suivantes :

- Rassembler les instruments efficaces dans le domaine de l'astrométrie, de l'astronomie de position, de la géodésie, de la physique du globe et de l'observation de satellites artificiels et d'en assurer le fonctionnement dans les meilleures conditions.

- Permettre aux chercheurs des Etablissements contractants de mener des recherches dans ces domaines à l'aide des instruments ainsi mis à leur disposition, éventuellement en collaboration avec des chercheurs chargés d'assurer sur place les missions du Centre.

- Développer et expérimenter les diverses techniques d'observation dans les domaines de compétence du centre.

- Effectuer tout programme d'observations à caractère systématique et continu destiné à accumuler ces données pour des études scientifiques dans le domaine de l'astronomie et de la géophysique".

De plus, ce centre pourra

- Développer des techniques, construire, installer des instruments et en assurer le fonctionnement sur demande d'Etablissements ou d'Organisations extérieures aux Etablissements contractants.

- Abriter des équipes de recherche des Universités ou Observatoires contractants ou d'autres Etablissements, lorsque leurs programmes de recherche nécessitent l'usage des instruments du Centre.

L'Observatoire de Paris -Etablissement public ayant rang d'Université- sera l'Université de rattachement de ce Centre. Les autres Universités qui ont été approchées pour être partie contractante dans la création de ce service inter-universitaire sont les Universités de Besançon , Bordeaux, Nice ,Paris 6 et Strasbourg.

Une fois obtenu l'accord de ces Universités, la création du Centre sera prononcée par le Ministère de l'Education Nationale.

3° - Personnel.

Nous avons dit que la station provisoire avait un personnel de huit personnes. Trois autres personnes, formant une petite équipe scientifique dirigée par J.GAY, astronome-adjoint, se sont joints au premier groupe en septembre 1973, tandis que Mr.KARCHER, du groupe satellites de l'Observatoire de Nice, participe aux observations à l'astrolabe.

Mais c'est en septembre 1974 que s'effectuera la décentralisation de plusieurs équipes parisiennes et que s'y joindront quelques chercheurs ou techniciens de l'Observatoire de Besançon et de l'Observatoire de Nice.

Si on ne considère que le personnel ayant d'ores et déjà accepté de venir à Grasse en septembre 1974, il y aura à ce moment-là une douzaine de chercheurs, six ingénieurs et une vingtaine de techniciens de divers niveaux.

Pour faire fonctionner ce Centre, il faudra en plus obtenir la création d'une dizaine de postes de techniciens, personnel administratif et personnel de service.

Enfin, quelques personnes supplémentaires ne sont destinées à venir au CERGA qu'en 1975 ou 1976. Le développement ultérieur du Centre dépendra à la fois des équipements nouveaux qu'il sera possible d'acquérir, des programmes scientifiques approuvés par le Conseil d'Administration du CERGA et par les autorités scientifiques nationales (CNRS, INAG, etc..) et des locaux qui devront obligatoirement être construits pour compléter la première tranche de 1973-74 et qui est tout à fait insuffisante, même pour un avenir proche.

VI - PROGRAMME SCIENTIFIQUE DU CERGA

L'établissement du programme scientifique du CERGA est une des principales tâches du Conseil Scientifique de l'ATP "Astrométrie et Géodésie" de l'INAG et ceci jusqu'à la mise en place des structures définitives du CERGA. Au stade actuel, ce programme est basé sur un certain nombre d'équipements scientifiques que nous allons passer en revue et qui sont dans des phases diverses d'approbation ou de réalisation.

1° - Laser-Lune

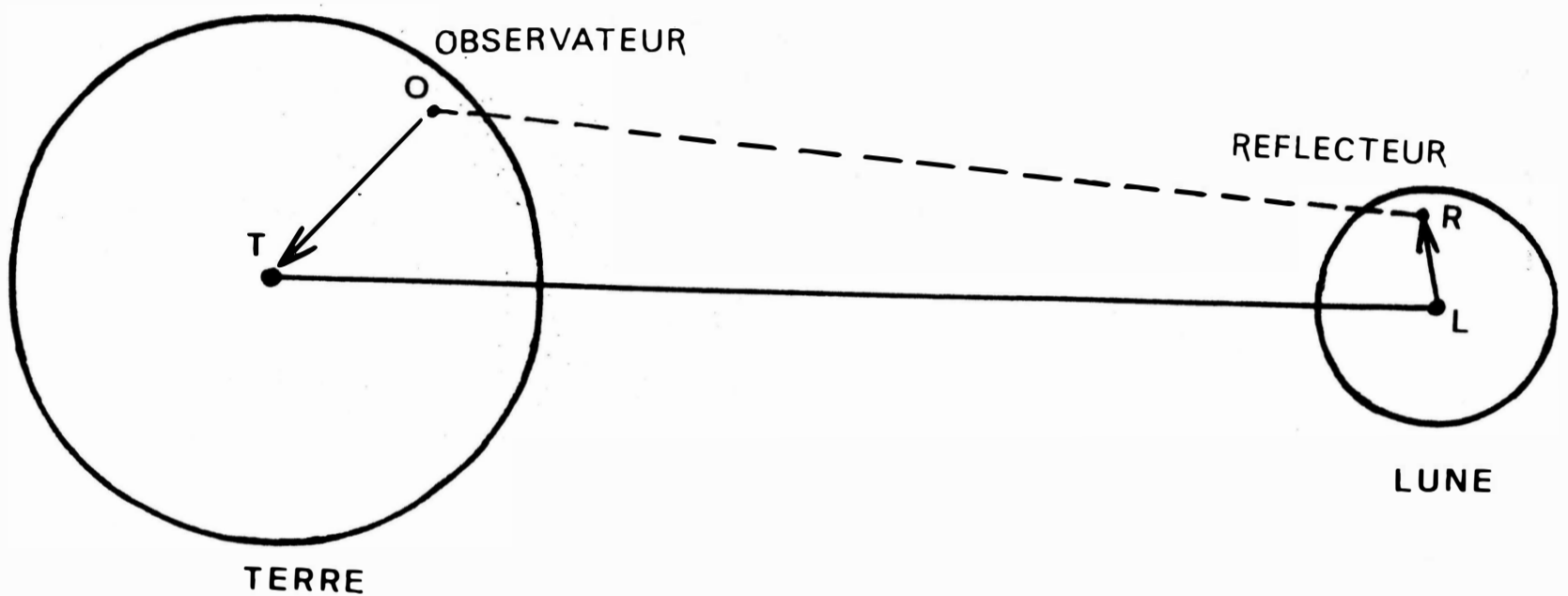
Cet équipement a été placé en toute première priorité par le Conseil de l'ATP. Le but de cet instrument est de mesurer sa distance aux réflecteurs cataphotes déposés sur la Lune par les missions Apollo 11, 14 et 15 et ainsi qu'aux réflecteurs français à bord des deux véhicules lunaires soviétiques Lunakhod 1 et 2.

La mesure de ces distances est une fonction des trois quantités indépendantes suivantes (fig.8):

- le vecteur \vec{OT} joignant la station d'observation au centre de masse de la Terre,

- le vecteur \vec{TL} joignant le centre de la Terre au centre de masses de la Lune ,
- le vecteur \vec{LR} joignant le centre de la Lune au réflecteur observé.

Fig.8



Ceci signifie que la mesure de la distance OR est susceptible de donner des renseignements sur les trois vecteurs et par conséquent sur tous les phénomènes qui occasionnent leur variation.

a) Vecteur \vec{OT} . Ce vecteur dépend :

- de la position de l'Observatoire, donc de ses coordonnées géodésiques par rapport à un système de référence mondial.

- des mouvements de cet Observatoire dus aux marées terrestres et, éventuellement, aux dérives continentales.
- de la position de ce système de référence par rapport à un système inertiel, donc des divers paramètres décrivant le mouvement du pôle, la rotation de la Terre (TU1) ainsi que la précession et la nutation.

b) Vecteur \vec{TL} . Ce vecteur représente le mouvement du centre de masse de la Lune et dépend donc :

- des six paramètres orbitaux ou conditions initiales du mouvement de la Lune.
- des paramètres physiques qui déterminent les forces gravitationnelles subies par la Lune : masses de la Terre et de la Lune, éléments de l'orbite de la Terre, masses et éléments orbitaux des planètes, grandeur des perturbations des orbites de la Terre et des planètes, coefficients principaux du potentiel de la Lune.
- des paramètres physiques décrivant l'échange d'énergie dans le système Terre-Lune due à l'existence de la dissipation par le phénomène de marées et entraînant en particulier un terme quadratique dans la longitude de la Lune et une augmentation séculaire du demi-grand-axe de son orbite.

c) Vecteur \vec{LR} . Ce vecteur dépend :

- de la position du réflecteur dans un système de référence sélénodésique.

- des paramètres de la rotation de la Lune qui dépendent eux-mêmes des moments principaux d'inertie de la Lune ainsi que d'autres moments d'ordre supérieur,
- des paramètres définissant la libration libre de la Lune,
- des marées subies par la Lune

En fait, si cette méthode fait un peu double emploi avec d'autres méthodes d'études de la rotation de la Terre ou du mouvement du pôle (tout en assurant un contrôle externe extrêmement important), elle est sans concurrence pour l'étude des mouvements de la Lune (vecteurs \vec{TL} et \vec{LR}). Elle permettra donc des études de Mécanique Céleste sur ces mouvements, des études sur l'évolution du système Terre-Lune par la détermination des variations du demi-grand axe de l'orbite lunaire, des études sur la structure mécanique de la Lune par la mesure des marées sur la Lune et des études sur les échanges d'énergie entre la Terre et la Lune d'après l'évolution de l'orbite lunaire.

Actuellement, il existe en France, une station expérimentale installée à l'Observatoire du Pic du Midi ayant des performances peu satisfaisantes, mais permettant de mettre au point l'appareillage d'observation. Un nouvel émetteur laser pour cet instrument a été acquis par l'INAG et installé au Pic du Midi, au foyer du télescope de 1 mètre. Mais il est maintenant nécessaire d'étudier un instrument spécialisé, entièrement conçu pour l'observation régulière des distances de la Lune. Ce problème a été pris en charge par l'INAG. Son financement commencera en 1974 et il est prévu qu'il pourra entrer en service en 1976. La précision nominale serait de 15 cm (précision actuellement atteinte seulement par l'instrument américain situé à l'Observatoire McDonald au Texas) mais on pense qu'on pourra la réduire à la précision ultime de 2 à 3 cm quelques années plus tard. C'est donc un gain de précision d'un facteur de 10.000 que l'on aura par rapport aux moyens classiques d'observation avant l'ère spatiale et encore 200 par rapport à l'interprétation la meilleure que l'on ait actuellement de ces mouvements.

2). Laser satellite de 2^o génération.

L'étude globale du champ de gravité terrestre est faite d'après l'analyse du mouvement des satellites artificiels. Les satellites artificiels subissent en effet la résultante de toutes les forces d'attraction terrestre et l'analyse de leur trajectoire permet de restituer ces forces.

Les techniques de restitution des forces est du domaine de la Géodésie spatiale et de la mécanique céleste.

Pour aboutir, il faut avoir des observations précises des positions successives des satellites artificiels. Certains de ces satellites, ayant une mission de recherche géodésique, sont munis de cataphotes réflecteurs et leur distance peut donc être mesurée à l'aide de télémètres à laser avec une très grande précision.

Les équipes françaises sont techniquement et scientifiquement très bien placées dans la compétition mondiale dans ce domaine, tout de suite après les importantes équipes américaines de la NASA et de Smithsonian Astrophysical Observatory. Au cours de récentes campagnes mondiales d'observation, les deux lasers français du CNES et celui de l'ONERA ont apporté plus de 20% d'observation. D'excellents résultats ont été obtenus par les équipes du GRGS notamment en ce qui concerne l'étude globale des déformations de la Terre due aux marées terrestres et dans la détermination des termes zonaux du potentiel.

Il faut maintenant avoir des mesures plus précises et passer de la précision de l'ordre du mètre (laser français actuels) à une précision de l'ordre du décimètre, puis de quelques centimètres. Dans le cadre général des programmes français en géodésie spatiale qui comprend notamment une boule de réflecteurs lasers (satellite STARLETTE prévu en 1974) le CNES a décidé de construire un télémètre laser de précision décimétrique et pouvant observer de nuit comme de jour, que le satellite soit éclairé par le soleil ou invisible. Cette station sera assemblée en 1974-75 au CERGA et y assurera des observations continues dans le cadre de programmes internationaux. Elle sera aussi parfois destinée à faire des campagnes d'observation dans d'autres pays.

Ces observations, seront traitées avec des observations analogues faites par des instruments d'autres pays ainsi qu'avec des observations d'autre nature (gravimétrie, altimétrie, sismologie...). Les buts scientifiques sont les suivants :

- amélioration de la connaissance du champs de gravité terrestre. Ceci donnera des renseignements importants sur la structure du manteau terrestre entre 1500 et 500 kilomètres de profondeur.
- étude des variations de ce champ : marées terrestres globales et effets météorologiques.
- étude cinématique des mouvements de la Terre : mouvement des pôles (voir aussi chapitre 4, pour la technique radio) et rotation de la Terre (à l'aide du futur satellite américain LAGEOS)
- étude de la haute atmosphère qui ralentit les satellites et permet ainsi de déduire la densité de l'atmosphère de 200 à 1000 kilomètres d'altitude.
- détermination précise relative de la position de la station par rapport à d'autres, pour déterminer leur variation éventuelle dans le temps (dérive des continents).

Il faut aussi ajouter au but technique de calibration et de détermination des orbites pour certaines missions spatiales nécessitant une connaissance précise de la trajectoire des satellites (satellites de navigation, satellites avec altimètre, etc...)

En définitive, il s'agira donc d'un instrument moderne de recherche concernant les propriétés dynamiques, cinématiques et mécaniques de la Terre prise dans son ensemble ; ce sera l'instrument essentiel des programmes de géodynamique du CERGA.

3). Astrolabe photo-électrique

L'objet principal des observations effectuées à l'astrolabe est de déterminer la direction de la verticale du lieu par rapport aux étoiles.

On peut montrer que l'analyse de telles observations faites en de nombreuses stations bien réparties autour du monde, permet de mesurer le mouvement du pôle sur la croûte terrestre ainsi que la vitesse de rotation de la Terre.

Il s'agit de problèmes géodynamiques de première importance. Les variations de la position du pôle montrent qu'il y a un fort amortissement (dont il faut découvrir l'origine) et aussi une excitation du même ordre de grandeur (dont on ignore complètement le mécanisme). Le ralentissement de la rotation de la Terre est lié à un échange d'énergie avec la Lune (étudié par le Laser-Lune) et à une dissipation d'énergie due à des frottements internes ou océaniques des effets météorologiques. Mais ces phénomènes sont encore mal connus et les ordres de grandeur parfois même contestés.

Pour résoudre tous ces problèmes il faut d'une part obtenir des observations de plus en plus précises de ces paramètres (grâce surtout aux observations précises des satellites et de la Lune, voir les alinéas précédents) mais aussi, pour les effets séculaires ou à longue période, avoir des séries longues, continues et homogènes d'observations.

L'astrolabe est un instrument destiné à fournir ce second type d'observations.

Les observations continues à l'astrolabe ont commencé en 1970 et le programme d'observation sera continué après l'arrivée des nouvelles équipes.

Mais ces observations constituent une charge lourde; d'autre part, on peut craindre que l'observation visuelle introduise des erreurs systématiques qui dépendent de l'observateur. C'est pourquoi un prototype d'astrolabe photo-électrique est actuellement en construction, sous la direction de G. BILLAUD, et sera installé au CERGA en 1975. L'observation pourra se faire à deux hauteurs différentes grâce à des équerres optiques interchangeables, ce qui permettra aussi de déterminer les déclinaisons absolues de certaines étoiles (ce sera le premier instrument de ce type dans le monde).

Cet effort en vue d'une automatisation totale de l'instrument sera poursuivi, au fur et à mesure que les étapes intermédiaires seront réalisées et rendues opérationnelles.

4) Télescope de Schmidt

Le projet d'un télescope de Schmidt est un programme de l'INAG indépendant du CERGA. Ce télescope, capable de prendre des clichés à grand champ ($6^\circ \times 6^\circ$) jusqu'à des magnitudes de l'ordre de 20. C'est un instrument essentiel pour servir de "guide" au grand télescope franco-canadien de 3,60 m destiné à être installé aux îles Hawai. Mais en attendant son installation dans un site définitif, suffisamment haut pour que l'absorption atmosphérique ne soit plus trop gênante, il a été décidé de l'installer dès 1975 au CERGA où il sera notamment employé pour démarrer un gros programme d'astrométrie.

Ce télescope aura un miroir de 150 cm de diamètre, la lame correctrice étant de 90 cm ; il sera installé dans une coupole dont la construction se fera avec celle des premiers bâtiments du Calern.

La réduction astrométrique des clichés pris par cet instrument est prévue pour donner une précision de l'ordre de $0",10$. Les programmes suivants sont envisagés :

- Amélioration de la connexion entre le système d'étoiles brillantes (catalogues déjà existants, liés au système fondamental du FK4) et les galaxies, en utilisant comme intermédiaire des étoiles de magnitude 10 à 15.
- Démarrage d'un catalogue type "Carte du Ciel" pour des étoiles faibles (jusqu'à une magnitude 14 à 16).

L'intérêt de ce type de travaux est la détermination des mouvements propres rapportés à un système de référence fixe (lié aux galaxies), mouvements dont l'analyse a pour but l'étude de la

cinématique de la Galaxie. Mais pour en arriver à ces mouvements propres, il faut prendre deux séries de clichés séparés par dix à vingt années. C'est pourquoi la première grande tâche du télescope de Schmidt sera de prendre une ou plusieurs séries de clichés de première époque pour les diverses combinaisons de magnitudes relatifs aux programmes ci-dessus.

En plus, un certain nombre de programmes plus limités dans leur ampleur, mais néanmoins importants doivent être entrepris dès l'installation du télescope notamment

- Rattachement à des étoiles brillantes des radio-sources servant aux radio-astrométristes pour la construction de leur système fondamental par observations radio-interférométriques.
- Observation systématique des satellites extérieurs des grosses planètes et de quelques autres astres faibles du système solaire importants (Pluton).

A ces programmes astrométriques s'ajoutent les programmes d'intérêt astrophysique qui comprennent, en plus des données de position et des données cinématiques (qui nécessitent la prise de clichés à deux époques différentes), des observations systématiques de magnitudes en diverses couleurs. Ces données permettent d'obtenir des renseignements sur les propriétés physiques des étoiles et les corréler avec leurs propriétés cinématiques, grâce à des études statistiques. Enfin, ce télescope doit avant tout permettre de reconnaître les objets faibles intéressants à étudier par des télescopes plus puissants, mais à champ beaucoup plus réduit.

Un nouveau point important doit maintenant être signalé : un télescope astrométrique est quasiment inutile s'il n'est pas possible de disposer sous une forme chiffrée les renseignements qui s'enregistrent sur les plaques photographiques. Chaque image d'étoile doit en effet être transformée en coordonnées sur la voûte céleste et une première phase pour arriver à ce but est

d'avoir les coordonnées de l'image sur le cliché lui-même. Il faut donc une machine à mesurer et, compte tenu du nombre considérable de pointés à faire, on ne peut pas utiliser les machines de type ancien où les mesures étaient faites par pointage visuel. Il est donc nécessaire de compléter l'équipement du Schmidt par la construction d'une machine à mesurer automatique, garantissant une précision de micron ou mieux. Une telle machine est à l'étude à l'INAG et sa construction devrait intervenir en 1975-76.

5) Synthèse d'ouverture en rayonnement infrarouge

Le but de ce projet est d'appliquer les principes des techniques radioastronomiques d'interférométrie et de synthèse d'ouverture à des rayonnements infrarouges de longueurs d'ondes voisines de 10 mm.

Des expériences préliminaires faites à l'étranger, et en France par J.GAY, ont montré qu'il était possible de réaliser de telles expériences dans ce domaine spectral.

L'intérêt de ces techniques interférométriques est très grand en astrophysique (pour la mesure de diamètres d'enveloppes de poussière circumstellaires, la recherche de compagnons très froids, l'étude de systèmes doubles serrés etc...) et aussi en astronomie fondamentale, pour la construction d'un catalogue précis de sources et la mesure de la rotation de la Terre.

C'est à cause de ce dernier programme que le projet dit SOIR D'ETE (Synthèse d'ouverture en Infrarouge par Détection Hétérodyne) a été inscrit au programme du CERGA. L'appareil comprendra deux télescopes fonctionnant en interféromètre séparés de cent mètres. Le premier de ces télescopes est actuellement en construction et il en est de même de la coupole qui l'abritera. La construction du second télescope devrait être commencée en 1974 et l'obtention des franges devra être entreprise dès son installation.

Par ailleurs, ces télescopes pourront servir, seuls, de télescopes infra-rouge ordinaires et un programme de cartographie infra-rouge du ciel entre les déclinaisons -20° et $+70^\circ$ commencera dès l'installation du premier de ces télescopes. Il est prévu que le catalogue qui en résultera comprendra plus de 3000 objets. C'est parmi ces objets que seront choisis les sources à observer pour les programmes astrométriques.

6) Moyens de calcul

Le fonctionnement technique et scientifique d'un centre tel que le CERGA ne se conçoit pas sans que des moyens de calcul importants y soient associés. Les tâches de calcul sont de plusieurs types

- a) Assistance à l'observation. La plupart des instruments seront plus ou moins automatisés, c'est à dire qu'il faut introduire dans les circuits de commande des informations codées concernant par exemple le pointage de l'instrument (Laser-Lune), l'ouverture des fenêtres de réception (cas des lasers de télémétrie) ou l'instant du début et de la fin de l'observation (récepteurs radio des satellites). Ces informations doivent être calculées au jour le jour et mises sous une forme accessible aux organes de lecture de l'instrument, généralement une bande perforée ou une bande magnétique.

Un premier rôle de calculateur du CERGA sera donc de préparer ces bandes en vue des observations à effectuer.

- b) Réduction des observations.

Les observations brutes ne sont pas directement utilisables et il faut leur appliquer un certain nombre de corrections avant de les utiliser de façon scientifique (corrections de calibration, de réfraction). Il faut aussi étudier globalement une série de résultats pour en éliminer les données aberrantes, comme par exemple les signaux du bruit de fond dans la télémétrie Terre-Lune. Enfin, il faut souvent faire des réductions assez complexes d'une série

d'observations pour en déduire rapidement ce qui est utile ; c'est le cas des observations à l'astrolabe pour lesquelles il faut obtenir en quelques heures les corrections relatives à la position du pôle et à la rotation de la Terre. C'est aussi le cas de la détermination de la position des étoiles à partir d'un cliché photographique.

c) Calcul scientifique

Les équipes présentes au CERGA auront, en plus des charges d'observations et des programmes scientifiques correspondants, d'autres projets, souvent à caractère théorique, qui nécessitent parfois de très longs calculs sur des ordinateurs puissants. Citons, parmi de tels programmes, le calcul des perturbations des orbites de satellites artificiels pour déduire les quantités géodynamiques, amélioration des théories du mouvement de la Lune et des planètes, calculs de statistique ou de cinématique stellaire, etc, etc...

Pour satisfaire tous ces besoins, notamment ceux des théoriciens, il faudrait disposer d'un grand ordinateur, sans que, pour cela, la durée totale d'utilisation justifie un tel investissement.

C'est pourquoi, la solution choisie est celle du partage d'un grand ordinateur avec d'autres Etablissements avec possibilité d'y avoir accès de Grasse même, sans déplacement. Cet ordinateur sera le calculateur CDC 7600 du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) qui doit être installé en Juillet 1974 à Toulouse. Le CERGA disposera d'un ensemble Télémécanique T 1600 dont une première tranche, en 1974 comportera le calculateur de base avec certaines extensions, pouvant être un lecteur-perforateur de bandes, une imprimante et un lecteur-perforateur de cartes. L'ensemble sera relié à Toulouse et pourra soit faire localement de petits calculs, soit faire faire à distance des calculs importants par l'ordinateur du CNES. Une augmentation de la capacité de mémoire et des moyens de sortie est prévue pour 1975. L'INAG dispose aussi à Meudon d'un gros centre de calcul où se trouve une

bibliothèque très importante de programmes d'intérêt astronomique. Une liaison sera étudiée sans doute en collaboration avec l'observatoire de Nice.

7). Astrométrie à long foyer

A titre de programme complémentaire du Laser-Lune, il faut avoir des mesures de la position angulaire de la Lune. Ceci implique la détermination de la position de la Lune par rapport aux étoiles avec la plus grande précision possible - c'est-à-dire avec un télescope ou une lunette de grande distance focale. La technique la plus appropriée paraît celle des occultations d'étoiles par la Lune, à la fois par des méthodes photo-électriques et à l'aide de micromètre à double image. Cependant, un tel programme n'a de sens que s'il est continu pendant toute l'année. C'est pourquoi l'usage à cet effet des lunettes de l'observatoire de Nice ne peut qu'être provisoire et, dans un avenir proche, il faudra installer au CERGA un instrument de long foyer, de distance focale au moins égale à 7 mètres, si possible plus.

Un tel instrument s'il est photographique satisfera également aux besoins des recherches de forme de la Lune et de la position de points de repère (sélénodésie) qui est aussi un programme qui forme un ensemble cohérent avec les autres travaux sur la Lune prévus au CERGA.

Par ailleurs ce même instrument photographique permettrait de suivre l'évolution des positions des gros satellites proches des planètes, notamment ceux de Jupiter et de Saturne. Le besoin urgent de telles observations est d'autant plus grand que la connaissance actuelle du mouvement de ces corps est insuffisant pour le planning des futures missions spatiales vers ces planètes.

Enfin, il pourrait aussi être utilisé pour le démarrage, en France, de mesures de parallaxes trigonométriques, techniques de base pour la mesure des distances des étoiles.

Si le principe de l'installation rapide d'un tel instrument au CERGA a été admis, l'instrument qui pourrait être placé n'a pas encore été choisi.

8) .Autres équipements

En plus de ces grands programmes, d'autres équipements doivent être mis en place, soit pour améliorer ou doubler les installations existantes soit pour faire de nouvelles mesures dans le cadre des programmes adoptés. Il est difficile de les prévoir d'avance. En tous cas, parmi les programmes déjà commencés et déjà cités au début, la mesure des marées terrestres sera poursuivie. La station horaire, "coeur du CERGA" devra être doublée, notamment en ce qui concerne l'étalon à césium. Enfin, des installations techniques suffisantes devront être progressivement mises en place pour permettre l'étude des nouveaux instruments ou l'amélioration de ceux qui existent : bureau d'études et de dessin, laboratoire d'électronique, ateliers de mécanique et d'électricité, etc... Enfin, une bibliothèque scientifique et technique spécialisée constituera un équipement indispensable à toutes les équipes.

VII - PROJETS A LONGUE ECHEANCE

=====

Pour les années 1976 et suivantes, on ne peut que donner quelques indications sur ce que pourrait être le CERGA ou sur ce qu'il serait souhaitable qu'il devienne. Les grandes tendances du développement du CERGA devront être précitées par le VIIe plan d'équipement.

La première urgence, en 1976-77 sera de donner au CERGA les moyens en locaux : bureaux, ateliers, laboratoires, qui correspondent aux moyens matériels et humains mis en oeuvre. Les constructions de 1974 ne correspondent qu'à une première tranche minimale, concevable seulement dans les conditions de pénurie de crédits de ces années et à la condition de concerner les locaux du Mirasol. Il faudra, au minimum tripler les surfaces

habitables sur le plateau de Calern et ajouter 1500 m² aux constructions du plateau Napoléon.

Du point de vue de l'équipement, les équipements donnés au chapitre précédent devraient être achevés s'il ne le sont pas à ce moment là. La machine à mesurer automatique devrait avoir une grande priorité dès lors que le télescope de Schmidt sera installé. Une automatisation aussi complète que possible des moyens d'observation devra être étudiée et réalisée dans toute la mesure où les progrès techniques le permettront. La précision des instruments existants devra aussi être continuellement améliorée.

Du point de vue des nouveaux équipements, il apparaît que l'instrument le plus utile serait un instrument méridien photo-électrique capable d'atteindre la magnitude 13. Les recherches actuellement menées dans les observatoires de Besançon et de Bordeaux préparent un tel équipement. Un tel instrument constituerait l'intermédiaire indispensable entre le système fondamental défini par des étoiles brillantes, jusqu'à la magnitude 8 et les objets faibles présents dans les plaques astrométriques du télescope de Schmidt.

A longue échéance, également, il faudra entreprendre l'étude et la construction d'un astrographe à long foyer. Cependant, un tel projet devra être soigneusement préparé par l'utilisation sur place d'un tel instrument à long foyer plus modeste pendant les années qui viennent. Par ailleurs, des méthodes pour observer la position du Soleil par rapport à des étoiles devraient être étudiées.

Enfin, les projets géodynamiques spatiaux qui verront le jour, devront faire partie du programme scientifique du CERGA qui devrait être équipé de toute nouvelle instrumentation de géodésie spatiale nécessaire pour l'utilisation de ces nouveaux moyens.

Il est évident que l'on ne peut pas, en 1973, prévoir exactement

ce que sera le CERGA en 1980. L'expérience acquise et les difficultés rencontrées dans la mise en place d'un centre qui est unique au monde obligera probablement à quelques corrections en cours de route qui peuvent modifier assez sensiblement les plans initiaux. Mais l'esprit général qui a présidé à la constitution de ce centre devra, lui, être sauvegardé.

