OBSERVATOIRE DE PARIS-MEUDON

L'EXPERIENCE STEREO-MJS 77

Observations des émissions en provenance de

JUPITER et du SOLEIL

dans la bande 15MHz à 40,5 MHz

Rapport préparé par : Yolande LEBLANC

et les membres du Groupe Décamétrique

Novembre 1975

STATION DE RADIOASTRONOMIE DE NANÇAY

GROUPE DE RADIOASTRONOMIE DÉCAMÉTRIQUE

L'EXPERIENCE STEREO-MJS 77

Observations des émissions en provenance de

JUPITER et du SOLEIL

dans la bande 15MHz à 40,5 MHz

Rapport préparé par : Yolande LEBLANC

et les membres du Groupe Décamétrique

Novembre 1975

TABLE DES MATIERES

- Description de la Mission MJS 77
  (Mariner-Jupiter-Saturne 1977) et de l'expérience PRA
  (Planetary-Radio Astronomy)
  Paramètres importants pour des observations de type stéréo.
- Description des émissions de Jupiter et du Soleil.
  Résultats attendus de Stéréo-MJS.
- Les observations au sol : la station de réception décamétrique de Nançay - projet de déroulement des observations.

TABLE DES MATIERES

page

INTRODUCTION 1

CHAPITRE II : L'EXPERIENCE MJS - 77

I But de l'expérience MJS77 4

II Déroulement - trajectoires. 5

III L'expérience PRA 7

- Principe
- Antennes
- Polarisation
- Récepteurs
- Sorties
- Télémétrie
- Modes de fonctionnement

IV Paramètres importants pour les observations Stéréo. 10

A. Pour les observations joviennes

B. Pour les observations solaires

CHAPITRE III : INTERET de l'EXPERIENCE STEREO-MJS

I. Rappel des résultats d'observation 11

A. Jupiter

1. Observations au sol

2. Observations à partir de sondes spatiales

B. le Soleil 13

1. Observations au sol

2. Observations à partir de sondes spatiales

II Intérêt des observations Stéréo 16

1. Jupiter

2. Le Soleil

page

III Résultats attendus 18

A. Jupiter

1. Directivité des émissions
2. Dérive d'ensemble des structures spectrales
3. Source d'émission et influence de Io
4. Probabilité d'émission et champ magnétique

B. Le Soleil 22

1. Conditions exceptionnelles d'observations
2. Effets de propagation et largeur du lobe à l'émission
3. Polarisation droite et gauche et mécanisme d'émission.

CHAPITRE IV : LES OBSERVATIONS AU SOL

I. Couverture internationale 26

II. La station de réception DAM de NANCAY 28

A. Description générale du système

1. Equipement permanent
2. Equipement NASA

B. Programme d'observation 29

1. Fréquences utilisées
2. Enregistrement
3. Identification des émissions
4. Modes de fonctionnement souhaités

CONCLUSION 32

LISTE DES FIGURES 33

1 - Les résultats déduits des observations de la sonde seule.

L'utilisation d'une expérience radioastronomique à bord d'une sonde allant jusqu'à Jupiter et Saturne ouvre des perspectives nouvelles pour:

- L'étude des émissions joviennes à des fréquences subionosphériques inobservables depuis la Terre.

- La recherche d'un éventuel effet autre que Io sur les émissions joviennes.

- La recherche de certaines émissions joviennes inobservables depuis la Terre parce que trop peu intenses, ou émises dans des directions éloignées de celle de la Terre (émission des orages atmosphériques, des aurores polaires, émissions dans les régions nocturnes . . .).

- La détermination (au moins approchée) de la position de la ou des sources d'émission près de Jupiter.

- La détection d'un rayonnement non thermique de Saturne

- La détection des sursauts solaires émis dans le milieu interplanétaire jusqu'à des distances de 5 U. A. , etc. . . .

2 - Les résultats déduits de la comparaison des observations faites simultanément sur Terre et sur la Sonde.

Ce type d'expérience est analogue à celui développé par J. L. Steinberg et son équipe sur les émissions solaires. Il permet en particulier de déterminer :

- La directivité (diagramme de rayonnement) des émissions de Jupiter et du Soleil et en particulier l'énergie totale rayonnée à chaque instant.

- L'influence de Io sur les émissions vues d'une direction différente de celle de la Terre, de façon à mieux comprendre comment ce satellite contrôle les émissions joviennes.

- L'influence du milieu interplanétaire sur le profil temporel et spectral des émissions.

Cette expérience de type Stéréo sera réalisée à Nançay par le groupe de Radioastronomie Décamétrique de l'Observatoire de Meudon. Elle a été rendue possible grâce à la construction d'un nouveau réseau (Fig 1) de 32 antennes pilotées par ordinateur, et grâce au récepteur identique au modèle embarqué dans la sonde, que nous prête la NASA à partir d'Août 1976. Cet ensemble antennes-récepteur nous permettra d'obtenir des observations directement comparables à celles enregistrées sur la sonde : la seule limitation est le gain d'antenne, très supérieur sur la sonde au voisinage de Jupiter C'est pourquoi la réalisation d'un grand réseau de 25 db de gain, en portant le nombre d'antennes précédentes à 144, serait souhaitable pour tirer le maximum de résultats de cette expérience (cf. " Projet de Grand Réseau décamétrique " Septembre 1975).

L'expérience Stéréo MJS étudiera les rayonnements décamétriques (15 à 40 MHz) émis par le soleil et Jupiter.

Le présent rapport comprendra :

- Une description rapide de la mission MJS 77 et de l'expérience PRA (Planetary Radio Astronomy) ainsi que les paramètres importants pour des observations de type Stéréo (chap. II).

- Une brève description des émissions de Jupiter et du Soleil et des résultats attendus de " Stéréo-MJS. " (chap. III)

- Une description des instruments que nous allons utiliser à Nançay et un projet de déroulement des observations (chap. IV).

CHAPITRE II

L'EXPERIENCE MARINER-JUPITER-SATURNE 1977

I - BUT DE L'EXPERIENCE MJS 77

La mission MJS 77 a été définie dans le but de compléter les informations obtenues par Pioneer 10 et 11. Les objectifs scientifiques de Pioneer 10 à 11 étaient les suivants:

- Connaissance de la magnétosphère, (champ magnétique, particules ...),
- connaissance de l'atmosphère (température densité, composition ..),
- et de la surface (conductivité, champ magnétique ...) de la planète Jupiter

Ces objectifs ont été partiellement atteints, et le rôle de MJS sera de préciser d'une part un certain nombre de résultats déjà obtenus par les Pioneers (champ magnétique, particules) mais surtout d'obtenir une meilleure connaissance du Plasma jovien (température, densité ...)et du rayonnement non thermique en provenance de Jupiter et de Saturne. C'est dans ce cadre que s'inscrit l'expérience PRA (" Planetary Radio Astronomy ") qui consiste à étudier tout au long du voyage et au cours des rencontres, les émissions radio planétaires dans la gamme 12 KHz à 405 MHz.

II - DEROULEMENT

La mission comporte le lancement par fusées Titan/Centaur de deux sondes en Août et Septembre 1977. Les sondes sont du type MARINER, mises au point par le Jet Propulsion Laboratory. Ce sont des sondes stabilisées trois axes ayant un grand réflecteur de 3,7 mètres dirigé vers la terre. Une plateforme orientable (qui n'est pas utilisée pour l'expérience de Radioastronomie) permet de pointer les instruments vers la surface de la planète.

Des exemples de trajectoire sont représentés sur la fig. 2 : les rencontres avec Jupiter et Saturne se feront respectivement en 1979 et en 1981.

Il est à noter que la première sonde passera très près du satellite Io (22.000 Km) et la deuxième sonde tout près de Ganymède (37.000 Km).

Au voisinage de Saturne, une des sondes passera tout près du satellite Titan qui est d'un grand intérêt scientifique depuis la découverte d'une atmosphère autour de ce satellite.
Le tableau 1 résume quelques caractéristiques de la trajectoire de MJS 77.

T A B L E A U

LANCEMENT	Août-Sept. 1977
JUPITER	
date d'arrivée	Fev. -Sept. 1979
durée du parcours	1,6 - 2 ans
occultations	Soleil et Terre par Jupiter
SATURNE	
date d'arrivée	1980-1981
durée du parcours	3,4 - 4 ans
occultation	de la Terre par Saturne

III - L'EXPERIENCE PLANETARY - RADIO ASTRONOMY (PRA)

L'expérience PRA a été proposée par une équipe internationale (dont deux membres du groupe décamétrique A Boischot et Y. Leblanc et C. C. HARVEY du Groupe de Recherche Spatiale) sous la direction du Professeur J. Warwick.

Principe : L'expérience PRA mesure le spectre, la polarisation et la structure temporelle des émissions de Jupiter et de Saturne (et du Soleil) dans une gamme comprise entre 1.2 KHz et 40.5 MHz.
Les récepteurs fonctionnent selon un certain nombre de modes sélectionnés depuis la terre par télécommande, et adaptés aux différentes émissions pendant les rencontres mais aussi pendant tout le reste du voyage (plus de trois ans).

Antennes

L'ensemble capteur est formé de deux fouets orthogonaux (monopôles) de 10 m de long. Le plan de ces fouets fait un angle de 45° avec la direction principale du satellite : direction de la Terre visée par le grand réflecteur de télémétrie (fig. 3).

Polarisation

Les antennes sont reliées à deux convertisseurs de fréquence identiques et les moyennes fréquences envoyées sur un hybride qui donne les polarisations circulaires droite et gauche.

Récepteurs (fig 4)

Les signaux moyenne fréquence sont analysés par deux récepteurs à balayage discret couvrant respectivement les parties basses et hautes de la gamme avec les caractéristiques suivantes :

	Gamme	Nombre de Canaux	Séparation	Bande passante
Récepteur B_1	1.2KHz à 1.3MHz	70	19.2KHz	7.2KHz
Récepteur B_2	1.3MHz à 40.5MHz	128	300KHz	200KHz

Sorties

Les signaux de sortie sont envoyés sur un convertisseur A/D (8 bits/mot) puis sur le FDS (Flight Data System) qui les retransmet à la terre en temps réel.

Télémétrie

Le débit maximum (continu) d'information T est de 266. 2/3 bps entre la Terre et Jupiter; il diminue ensuite. Les observations sont reçues en temps réel, sans possibilité de stockage à bord par les antennes du " Deep Space Network " (à Goldstone, Madrid et Camberra).

Modes de fonctionnement

Le récepteur PRA peut fonctionner suivant 6 modes différents : POLLO, POLHI FIXLO, VLOBR, HARAD, et LEVEI. Ces modes sont sélectionnés depuis la Terre par télécommande.

- POLLO (Polarization Low bit rate) : c'est le mode de fonctionnement courant qui donne le spectre des émissions sur toute la gamme. Le temps d'intégration est de 30 ms par fréquence discrète. Le balayage complet des 198 canaux est accompli en 6 secondes (fig 5.). Chaque 30 ms, un mot de 8 bits est transmis par télémétrie, ce qui correspond à 266 bits/s.

- POLHI (Polarisation High bit rate) : ce mode est destiné à l'étude des sursauts rapides et fonctionne dans la seule bande B_2 (1.3 à 40.5 MHz). Trois canaux sont balayés chacun en 0.14 ms de la façon suivante : fo, 4 fo, fo, 8fo, fo, 4 fo, etc... la fréquence fo pouvant être commandée de la Terre. Une séquence complète durera 13.75 ms et il y aura une séquence toutes les 6 secondes seulement pour ne pas dépasser la capacité de télémétrie de 266bps.

- FIXLO (Fixed Frequency Low bit rate) : ce mode est identique au mode POLHI mais la période d'intégration sur une fréquence est de 30 ms au lieu de 0.14 ms, ce qui permet une observation quasi continue à 3 fréquences fo, 4 fo, et 8 fo. Ce mode donnera avec une très bonne résolution le profil temporel des sursauts solaires ou joviens.

- VLOBR (Very Low bit rate) : ce mode consiste à observer sur une seule fréquence qui peut être choisie de la Terre.
La sonde transmet la valeur moyenne et la valeur maximum du flux reçu toutes les 10 minutes. Ce mode sera utilisé en particulier loin de JUPITER quand le débit d'information sera réduit.

- HARAD : mode destiné à mesurer les caractéristiques du plasma par la méthode du sondage à relaxation aux harmoniques de la fréquence d'alimentation (2,4 KHz).

- LEVEL : mode de calibration du récepteur sur chacune des fréquences.

IV - Paramètres importants pour les observations Stéréo.

A Emissions en provenance de Jupiter.

Les fig 6, 7, 8, 9, 10 donnent les paramètres suivants :

- La distance Terre-Sonde, Jupiter-Sonde et Terre-Jupiter (fig 6).
- Le rapport du flux reçu au sol et à bord de la sonde(fig7)
- La variation de l'angle Stéréo (Terre Jupiter, sonde) (fig 8) et de l'angle Soleil-Jupiter-Sonde (fig 9).
- L'angle D_E de déclinaison de Jupiter vu de la Terre (fig 10).

En admettant que le gain d'une antenne spirale de Nançay est environ double des antennes de la sonde, le réseau de 32 antennes aura une sensibilité supérieure ou égale à celle de la sonde sur 75% du trajet, ce qui correspond à une distance Sonde-Jupiter de l'ordre de 2.10^8 cm. Avec le réseau de 144 antennes on pourra faire des observations Stéréo sur une distance supplémentaire de 2×10^8 km ; or c'est au voisinage de Jupiter que l'angle Stéréo atteint les valeurs les plus élevées.

B. Emission en provenance du Soleil.

Les figures 11, 12, 13, représentent :

- La distance Soleil-Sonde et Terre-Sonde en fonction du temps (fig 11).
- Le rapport du flux des émissions solaires reçues au sol et à bord de la sonde par des sursauts émis au voisinage du Soleil (fig 12).
- L'angle Stéréo Terre- Soleil- Sonde tout le long de la trajectoire de MJS (fig 13).

La plupart des évènements intenses (sursauts de type II, type III, et type IV) seront reçus par la sonde sur 80% de sa trajectoire (3 ans environ) L'angle Stéréo atteindra 6 fois 90° et 3 fois 180°.

CHAPITRE III

INTERET DE L'EXPERIENCE STEREO-MJS

I - RAPPEL DES RESULTATS D'OBSERVATIONS

A. JUPITER

1-Observations au sol

L'observation des émissions radioélectriques en provenance de Jupiter depuis le sol, a déjà apporté un certain nombre de découvertes importantes :

- La présence d'un champ magnétique dipolaire intense, dont l'axe est incliné sur l'axe de rotation, excentré, à polarité inverse de celui de la Terre.
- l'existence d'une magnétosphère autour de Jupiter
- l'existence de ceintures de particules piégées de haute énergie.
- l'influence du satellite Io sur l'interaction particules-plasma responsable des orages décamétriques.

L'émission décamétrique a une densité de flux qui peut atteindre 10^{-19} Wm^{-2} Hz^{-1} et provient de sources extrêmement petites : l'étude d'un mécanisme responsable de températures de brillance de 10^{20} °K présente un intérêt considérable pour la physique des plasmas. La structure spectrale des orages, très complexe en temps et en fréquence, donne à penser que plusieurs phénomènes d'émission et de propagation sont mêlés : les élucider revient à étudier les conditions physiques locales dans la source d'émission et aussi les conditions qui règnent dans l'ensemble de la magnétosphère (au cours de la propagation).

L'étude radioastronomique depuis la Terre de l'émission décamétrique de Jupiter a permis de préciser un certain nombre de ses propriétés, qui semblent dépendre étroitement de la configuration Io-Jupiter-Terre (IJT) et de l'angle de déclinaison jovicentrique D_E de la Terre.

- l'intensité (maximum vers 7 MHz) décroît quand la fréquence augmente et dépend de IJT. (fig 14).

- Le spectre est brusquement coupé vers les hautes fréquences : la fréquence de coupure dépend de IJT et ne dépasse jamais 40 MHz. (fig 14).

- l'émission est sporadique. Entre 7 et 40 MHz, avec un gain d'antenne de 10 db, elle n'est observée que durant 5% du temps environ.
Cette proportion augmente beaucoup (90%) dans certaines configurations IJT (" Sources " de rayonnement) (fig. 15, 16)

- La polarisation du rayonnement est surtout elliptique droite, mais les paramètres de la polarisation (qui n'ont été mesurés qu'en quelques expériences limitées, à fréquences fixes) paraissent varier avec IJT et la fréquence

- Plus de 50% des orages ont lieu lorsque Io occupe deux positions particulières (à l'Est et à l'Ouest) par rapport à la ligne de visée. Io semble donc déterminer l'émission : mais une bonne partie des sursauts (surtout aux fréquences inférieures à 20 MHz) ne dépend pas de Io

- Les spectres à haute résolution montrent des structures d'origine jovienne (échelles de temps comprises entre 0.1 ms et 10 s, échelles de fréquences comprises entre 10 et 300 KHz). Ces structures (" bandes de modulation", " sursauts de la milliseconde ", etc ...) sont étroitement liés à IJT.

2 - Observations à partir de sondes spatiales

L'émission de Jupiter a déjà été observée à partir de satellites terrestres (RA 1 , IMP6) ou lunaire (RA2) mais seulement sur fréquences basses non détectables à partir du sol. Le spectre de ces émissions (fig 14) montre un second maximum d'intensité vers 1 MHz, et s'étend jusque vers 20 KHz . La composante ayant son maximum vers 1 MHz serait analogue à l'émission de la Terre, extrêmement intense, qui fut découverte récemment.

B. LE SOLEIL

1 - Observations au sol :

Ces observations sont très nombreuses et très détaillées. Les instruments nécessaires ont été développés un peu partout dans le monde mais principalement en Australie , en France et aux Etats Unis.

L'observation terrestre a permis d'étudier un grand nombre de caractéristiques des émissions radioélectriques solaires. Ces émissions sont des évènements dont l'intensité , le spectre et la durée varient énormément d'un cas à l'autre. Nous attribuons aujourd'hui cette variété d'aspects à la diversité des mécanismes d'émissions.

L'étude des émissions radio permet de déduire un certain nombre de paramètres physiques de la couronne, tels que la température, les modèles de densité ou la configuration du champ magnétique mais aussi d'approfondir notre connaissance sur la physique des plasmas, en particulier l'interaction faisceau-plasma et la propagation des ondes de choc sans collisions.

Depuis leur découverte les évènements ont été classés selon l'évolution de leur spectre en fonction du temps . Nous décrirons ici plus précisément les émissions enregistrées dans la bande 20-80 MHz. Le Tableau 2 résume les caractéristiques des différents évènements dans la gamme des fréquences décamétriques sur lesquelles l'expérience Stéréo-PRA va fonctionner (20-40 MHz).

Ces évènements se présentent surtout sous forme " d'orages " : un orage est composé d'une succession de sursauts (de type I, III, IIIb, " drift pairs ") superposés sur un continuum. Ils ne sont pas corrélés en temps à des éruptions. (fig 21).

Dans la gamme décamétrique on observe surtout des orages de type III et IIIb qui sont presque toujours corrélés à des orages de type I dans la gamme métrique.
La limite basse fréquence des orages de type I se situe généralement au voisinage de 40 MHz. Cette " coupure " serait dûe à un changement de la configuration du champ magnétique coronal (lignes de champ fermées dans la basse couronne, et ouvertes vers 1.5 ou 2 R☉). Elle semble être reliée à la longitude de la région active associée. Il a été montré d'autre part, que les émissions d'orages de type III et IIIb présentent un effet centre-bord statistique : les types IIIb sont plus souvent observés quand la région active associée se trouve au voisinage du limbe ; par contre les orages de type III apparaissent surtout quand la région active associée est au voisinage du méridien. Cette différence est attribuée au cône de rayonnement de ces émissions qui serait perpendiculaire dans le premier cas et parallèle dans le deuxième cas au champ magnétique radial.
Il serait donc important d'observer le même évènement dans deux directions différentes , et en particulier quand ces deux directions sont perpendiculaires.
Quelques orages de type I sont observés jusque dans la bande 20-40 MHz ; il sera alors important d'étudier la polarisation circulaire de ces émissions dans deux directions afin de préciser si la polarisation est dûe au mécanisme lui-même ou aux effets de propagation . Les autres types de sursauts (II, III, et IV) associés à des éruptions ont sensiblement les mêmes caractéristiques que sur ondes métriques.

T A B L E A U 2

Résumé des caractéristiques des sursauts solaires $20 < f < 80$ MHz

Type de sursauts	Intensité $Wm^{-2}Hz^{-1}$	Durée	Largeur de bande	Phénomènes Opt. associés	Directivité
I (Orage)	10^{-21}	qq h	1MHz		oui en ondes métriques ? en ondes DAM
III (Orage)	10^{-20} à 10^{-19}	qq h	20-40MHz		?
III b (Orage)	10^{-20} à 10^{-19}	qq h	20-40 MHz structure : 99100KHz		?
III	10^{-19} 10^{-18}	qq sec: dérive	20-80MHz	éruptions	oui en ondes métriques (émission fondamentale)
I	10^{-18}	qq mn	99MHz dérive	éruptions	?
IV	10^{-18}	qq mn	20-40MHz	éruptions	?

2 Observations à partir de sondes spatiales

Le spectre dynamique basse fréquence (inobservable depuis la Terre) des émissions solaires (en particulier les émissions de type III) a pu être étudié grâce aux expériences spatiales de radioastronomie (IMP6, RAE1, OGOV ..) ce qui a permis de déduire des paramètres physiques de la haute couronne et du vent solaire.

Les expériences de type " Stéréo " réalisées par le groupe de radioastronomie spatiale de Meudon ont donné des résultats très importants sur la directivité des sursauts solaires de type I et III à 169 MHz. Des observations sur 30 et 60MHz sont en cours de dépouillement.

II Intérêt des observations STEREO

L'intérêt d'une expérience " STEREO " n'est plus à démontrer en radioastronomie solaire, après les résultats importants obtenus par le Groupe de Radioastronomie Spatiale de Meudon.
Cependant les deux expériences " Stéréo " réalisées par ce groupe furent limitées à 3 fréquences d'observation (169 60 et 30 MHz) et un angle stéréo inférieur à 75°.
Avec PRA, 80 fréquences seront communes à la sonde et au sol entre 40.5 et 15 MHz, et l'angle stéréo atteindra 180°.

Le but des expériences de type stéréo est de déterminer la directivité des émissions car la connaissance de ce paramètre a des implications importantes sur l'étude du mécanisme d'émission et sur les effets de propagation.

1 - JUPITER : Les diverses propriétés des émissions mettent en évidence une forte directivité du rayonnement décamétrique (dues aux effets combinés de la directivité propre de l'émission et de la focalisation au cours de la propagation) aussi bien en latitude qu'en longitude.

Cette directivité n'a pu jusqu'à présent être étudiée que statistiquement à l'aide de la rotation de Jupiter et des légères oscillations de la Terre de ± 11° en longitude par rapport à la ligne Soleil-Jupiter (au rythme de 400 jours) et de ± 3.3° en latitude par rapport à l'équateur jovien (au rythme de 11. 9 ans).

On voit ainsi l'intérêt d'observations stéréoscopiques du rayonnement décamétrique de Jupiter. La directivité de l'émission peut alors être étudiée à la fois statistiquement (mais sans faire appel à des variations séculaires qui nécessitent l'hypothèse d'un phénomène ayant des caractéristiques stables pendant des années) et directement en comparant les deux spectres d'un même orage reçus dans deux directions différentes.

2 - Le SOLEIL : Un grand nombre d'évènements présente un effet statistique " Centre-bord ".
Cependant cette pseudo-directivité ne permet pas d'atteindre la directivité réelle de chaque évènement pris individuellement. La seule preuve de la directivité des sursauts solaires est l'observation simultanée dans deux directions différentes.

III . Résultats attendus

A. JUPITER

Les observations au sol ont montré la grande complexité des spectres dynamiques des émissions joviennes. on distingue en particulier ;

- les sursauts millisecondes,
- les sursauts longs,
- les bandes de modulation " modulation lanes ".

Ces phénomènes peuvent être dûs soit au mécanisme d'émission lui-même, soit à un effet de propagation dans la magnétosphère jovienne, soit à un effet de propagation lors de la traversée du milieu interplanétaire.

L'observation du même phénomène dans deux directions différentes permettra de distinguer entre ces possibilités. D'autre part, nous allons montrer que des observations de type Stéréo permettront de préciser le rôle du satellite Io et du champ magnétique jovien sur la probabilité des émissions.

1. - Directivité des émissions (angle d'émission)

A un instant donné, les sources joviennes émettent dans un cône plus ou moins étroit . L'observation simultanée de l'émission dans deux (ou trois) directions différentes permettra d'avoir une idée de la largeur de ce cône. Pour cela, il faut comparer l'intensité reçue dans les deux directions, après correction de l'effet de distance sur une fréquence fixe. Cette intensité peut-être :

- Soit l'intensité moyenne d'un orage (intégrés sur quelques minutes). On peut alors utiliser le mode POLLO, en séparant les gammes de fréquences (par exemple par bande de 5 MHz) et en ajoutant les signaux des voies correspondantes. La moyenne aura alors une signification assez précise (faisant abstraction de la structure fine du spectre), mais ne permettra pas de différencier les divers types d'émission (fig 17).
- Soit l'intensité maximale (et le profil en temps) de sursauts " individuels " L (Long) ; Il est alors nécessaire d'utiliser le mode FIXLO où la " couverture " en temps est quasi continue. (fig 18).

2 - Dérive d'ensemble des structures spectrales

Des structures spectrales à plus grande échelle(temps et fréquence) correspondent à des dérives d'ensemble de la fréquence moyenne et de la coupure HF et BF des émissions. Elles dépendent de la rotation de la planète et de la position de Io sur son orbite. Faciles à distinguer sur POLLO, (en prenant l'enveloppe des émissions) il sera très intéressant de les étudier de deux directions différentes, pour en comprendre l'origine (fig 19).

3 - Sources d'émission et influence de Io

Nous avons mentionné dans l'introduction les propriétés caractéristiques du rayonnement décamétrique de Jupiter, elles dépendent étroitement à la fois :

- de la position de l'observateur définie par la longitude équatoriale L (système III 1965.0)
- de sa déclinaison D_E dans un repère jovien
- de la position du satellite Io par rapport à la ligne de visée (définie par ϕ , phase orbitale de Io par rapport à la conjonction supérieure pour l'observateur).

Jusqu'à présent, les observations depuis la Terre ont permis d'étudier cette dépendance par voie statistique : les représentations les plus utilisées ont été

i) les histogrammes en fonction de L, (fig 16)

ii) les histogrammes en fonction de ϕ, (fig 16)

iii) les histogrammes à deux dimensions en fonction de (L, ϕ).fig 15

Pour les fréquences supérieures à 20 MHz les " pics " de ces histogrammes se retrouvent identiquement lorsqu'on porte en ordonnées la probabilité d'observation ou l'intensité des émissions reçues ; ils dérivent légèrement en fonction de D_E .

Physiquement, le diagramme (L, Φ) est important, car il décrit la forme du lobe d'émission à la source, modifiée par la réfraction au cours de la propagation. Jusqu'à présent, aucun des modèles proposés pour expliquer le rayonnement décamétrique de Jupiter n'a permis de rendre compte du diagramme (L, Φ)

Le point important est de savoir :

- si Io excite l'émission en survolant des régions privilégiées (par ex. magnétiquement) de Jupiter (ce qui traduirait simplement la forme du diagramme (L, Φ) ou
- si Io excite l'émission sur toute son orbite, l'émission étant reçue dans des directions privilégiées à cause des propriétés conjuguées du lobe d'émission et du champ magnétique jovien.

Ce point pourra être simplement précisé par des observations stéréo. En effet les deux positions privilégiées de Io sur son orbite sont Φ = 90° et 240° pour un observateur terrestre.

Comptée à partir de la sonde, cette phase devient Φ_S telle que : $\Phi_T - \Phi_S = \Theta$ (angle stéréo Terre-Jupiter-Sonde) (+ fig 20). On pourra utiliser les observations faites pendant toute la trajectoire de la sonde et pour obtenir un diagramme de probabilité en phase de Io on calculera pour chaque évènement la phase de Io ramenée à la Terre ($\Phi_T = \Phi_S - \Theta$). Si les 2 pics de probabilité vers 90° et 240° subsistent on peut penser que c'est la première hypothèse qu'il faut retenir ; par contre si les 2 pics sont complètement brouillés, on peut conclure que Io excite l'émission sur toute son orbite (fig 16b).

IV - - Probabilité d'émission et champ magnétique

La probabilité d'émission en longitude du méridien central (LCM) fait apparaître deux maxima vers 160° et 240°, positions symétriques par rapport au champ magnétique dont la longitude est de 200° .(fig 21).

Il sera donc important de faire le diagramme LCM en utilisant les observations faites à bord de la sonde et en les corrigeant de l'angle Θ ($LCM_S = LCM_T - \Theta$)

Si les deux pics de probabilité apparaissent toujours, on pourra mieux préciser le rôle joué par le champ magnétique.

Diagramme de Io-LCM

Nous connaissions celui obtenu depuis la Terre (fig 14) il faudrait faire le même diagramme pour différents angles Θ : les différences devraient nous donner des indications sur la largeur du cône d'émission.

Pour que ce diagramme soit statistiquement valable, il faudrait 200 orages joviens ; or, l'angle Θ reste égal à 20-30° pendant 150 jours environ (fig 8). Ceci sera suffisant pour obtenir un bon diagramme Io-LCM . l'observation à bord de la sonde étant continue et non limitée à quelques heures par jour.

Diagramme Io-LCM et variation de D_E

La probabilité d'observation et l'intensité des émissions dépendent de D_E, déclinaison jovicentrique de la Terre. Or cet angle varie de $\pm$ 3° en 12 ans, période très proche de celle du cycle solaire (11 ans) ce qui laisse une ambiguité sur l'origine de cet effet : activité solaire ou dérictivité de l'émission en latitude

l'angle D_S vu de la sonde sera différent de D_E su une grande partie de la trajectoire. La comparaison des diagrammes (Io-LCM) Terre et $(Io\text{-}LCM)_{sonde}$ permettra donc de mieux comprendre cette directivité en latitude du rayonnement jovien.

B . LE SOLEIL

Les émissions en provenance du soleil seront facilement identifiées grâce à leur spectre dynamique parfaitement connu et à la polarisation des différents sursauts.

1. Conditions exceptionnelles d'observations

La date de lancement de MJS, fin 1977, correspond au début de la croissance de l'activité du cycle solaire.; celle-ci sera maximale vers 1979-81. La durée de vol de MJS (1977-1981) se situe donc pendant toute une période où l'activité solaire sera très intense. Pour les observations stéréo, la figure 12 montre qu'un grand nombre de sursauts (type II; III et IV) seront encore reçus à bord de la sonde même quand celle-ci aura dépassé Jupiter.

On peut donc s'attendre à observer pendant une durée de l'ordre de 3 ans un très grand nombre de sursauts solaires avec de très bonnes résolutions temporelles ou spectrales. Pendant cette période l'angle stéréo atteindra 90° et 180° (fig 13). Il sera donc possible de faire pour la première fois des études sur le rayonnement émis par un même centre dans deux directions perpendiculaires ou même opposées. De plus l'expérience PRA donnera la possibilité d'étudier la polarisation circulaire des sursauts reçus.

Le tableau 3 résume les caractéristiques de l'expérience PRA stéréo, comparées à celle des deux expériences solaires stéréo réalisées par Steinberg et al. Ce tableau illustre bien les possibilités énormes de PRA grâce au gros débit de la télémétrie (266 bits/s), au temps d'observation (6 heures par jour pendant plusieurs années) et au nombre de fréquences balayées (80 fréquences communes à la sonde et au sol) en polarisation droite et gauche.

T A B L E A U 3

CARACTERISTIQUES COMPAREES DES EXPERIENCES STEREO I, STEREO V et STEREO - MJS.

	Activité Solaire	Durée de Vol	Temps d'Obs /Jour	Fréquence d'Obs.	Angle Stéréo mx	Nombre bits.
Stéréo I	décroissance du cycle	9mois	1h	169MHz	75°	20.000/h
Stéréo V	minimum du cycle	8mois	2h	30et60MHz	70°	20.000/h
StéréoMJS	croissance et max du cycle	3 ans	6h à 12h	80 fréquences entre 25et40MHz balayées toutes les 6s. ou3fréq. fixes	180°	827.600/h (266 bps)

2. Résultats attendus sur les

Effets de propagation et largeur du lobe à l'émission

La variation de l'angle stéréo (O - 180°) nous permettra de faire une analyse statistique des évènements : on pourra déterminer l'angle stéréo maximum pour lequel on voit le même évènement du sol et de la sonde.

Cette étude pourra être faite pour les différents types de sursauts (sursauts d'orage de type I, de type III et type IIIb, émissions de type II fondamentale et harmonique, émission de type IV).
Une autre information sur le diagramme d'émission sera fournie en comparant les différences d'intensité d'un même évènement vu de la sonde et vu du sol, ceci pour différents angles stéréo.
Le mode FIXLO sera le plus adéquat pour ces différentes études (fig 22).

Toutes ces informations permettront de réduire le nombre d'hypothèses pour déterminer la directivité propre à l'émission.

Un cas particulier très intéressant et dont l'étude sera tout à fait possible quand l'angle stéréo atteindra 90° et 180°, est celui des orages de type III et IIIb provenant d'un même centre :

A partir des émissions au sol nous avons mis en évidence un effet " centre-bord " statistique pour ces émissions : les Type III sont plus nombreux que les Type IIIb quand la région active est au voisinage du centre du disque ; et inversement les Type IIIb sont plus nombreux que les Type III quand la région active est sur le limbe.

Il serait important de vérifier cette propriété pour le même centre actif vu au centre du disque (à partir du sol) et sur le limbe (à partir de la sonde) ; si cette propriété n'apparaît que statistiquement on pourra déduire des informations sur les effets de propagation. Par contre si c'est le même centre qui donne les deux types d'émission, on pourra préciser le diagramme de rayonnement de chacune de ces émissions.

De même on pourra étudier le diagramme de rayonnement des sursauts dont la source serait située sur le limbe : si le centre actif est observé simultanément dans la direction de la Terre et dans la direction opposée ($\Theta = 180°$), on pourra mettre en évidence une éventuelle assymétrie du rayonnement par rapport à l'axe radial.

3. Mesure de la polarisation circulaire droite et gauche des sursauts sous deux directions différentes :

- Sursauts de type I : ces émissions présentent une polarisation circulaire importante quand le centre actif est au voisinage du méridien. Si cette polarisation (rayonnement gyromagnétique) est dûe au mécanisme d'émission on devrait observer une variation du taux de polarisation circulaire avec la ligne de visée. Par contre le rayonnement peut être polarisé après propagation si le mécanisme d'émission fait intervenir la production d'ondes de plasma.

- Sursauts de type III : l'évolution du taux de polarisation circulaire avec la ligne de visée devrait apporter des informations importantes sur les conditions de propagation.

LES OBSERVATIONS AU SOL

I Couverture internationale

Les stations équipées de récepteurs décamétriques de grande sensibilité qui recevront les émissions de Jupiter pendant la durée de vol MJS sont les suivantes :

Aux Etats Unis :

- la station de Boulder
- la station de Floride.

En Australie :

- la station de Tasmanie (mais les conditions d'observations de Jupiter seront défavorables pendant la durée de vol de MJS)

En Europe :

- la station de Nançay

Le tableau 4 résume les caractéristiques des différents instruments décamétriques.

A ces instruments il faut ajouter le réseau de surveillance NASA de faible sensibilité.

TABLEAU 4

Station	Méridien du lieu	Type de récepteur	Bande de fréquence	gain ant.	durée d'Observ.
Boulder	105° O.	balayage de fréquence + récepteur identique au modèle du vol.	15MHz à 80MHz	10à12 db 5à6 db	12 h
Florida	115° O.	fréquence fixe	f= 26MHz	20 db	qq h
Tasmanie	150° E.	balayage fréquence	10à20MHz	25 db	6 mn
Nançay	2° E.	1récepteur à balayage. 4 récepteurs à à fréquence fixe. R. multicanal. R. identique au modèle vol.	20-40 accord variable accord variable	Pol. vert 10db Pol. cir. 15 db	12 h 6 h

II La station de réception sur ondes décamétriques de NANCAY

A. Description générale du Système (fig23) ,

1. Equipement permanent :

Nous disposons actuellement à Nançay de

- Deux récepteurs à balayage de fréquence : 20-40 et 40-80 MHz
- quatre récepteurs à fréquence fixe (accord variable)
- un récepteur multicanal (50 canaux de 20 KHz - accord variable de 20 à 100 MHz).
- un récepteur à balayage de fréquence (10-110 MHz) à visualisation sur fac-similé.

Tous ces récepteurs sont encore couplés, à deux antennes log-périodiques à poursuite automatique (20-80 MHz) ayant 10 db de gain. Un réseau de 32 antennes à polarisation circulaire a été construit en 1975. Ces antennes seront pilotées par ordinateur et la mise en marche est prévue courant 1976. Un facteur 8 en sensibilité est ainsi gagné sur les antennes log-périodiques.

Nous espérons cependant qu'une extension de ce réseau à 144 antennes soit faite d'ici 1977. Nous aurons alors un gain supérieur ou égal à celui de la sonde sur 80% du trajet en polarisation circulaire droite et gauche.

Système d'enregistrement et de mesure

1 - Caméra à défilement continu et film 35mm avec visualisation sur oscilloscope pour spectrographes

2 - Enregistreur graphique rapide 4 voies pour fréquences fixes.

3- Caméra à défilement continu et film 35 mm avec visualisation par diodes photoémissives pour multicanal.

4 - Enregistreur FACSIMILE pour spectrographe de routine 10-110 MHz

5 - Enregistreur magnétique analogique (7voies; 2 MHz de bande passante)

6 - Enregistreur graphique de contrôle

8 - Chaine d'acquisition de données (ordinateur PDP 11 16 K)

2. Equipement NASA

Un récepteur identique au récepteur embarqué à bord de MJS 77 nous sera confié à Nançay (dans le cadre de la participation de deux membres du groupe décamétrique à l'expérience Planetary Radio Astronomy de la NASA).

Ce récepteur sera couplé à notre grand réseau d'antennes. Les observations seront numérisées grâce à l'ordinateur, puis enregistrées sur bande magnétique.

B. Programme d'observation.

1. Description des fréquences utilisées :

- Un récepteur à balayage de fréquence couplé aux antennes log-périodiques $20 < f < 40$ MHz - polarisation linéaire.

- Un récepteur à balayage de fréquence couplé au réseau de 32 antennes :

$20 < f < 40$ MHz - polarisation circulaire (émissions joviennes)

et $40 < f < 80$ MHz - polarisation linéaire (émissions solaires)

- Un récepteur multicanaux - polarisation linéaire- largeur de bande = 1 MHz . Cette bande sera placée au voisinage d'une fréquence FIXLO du récepteur sonde.

- Quatre récepteurs à fréquence fixe : polarisation linaire - deux fréquences seront dans la bande 20-40 MHz , et deux fréquences dans la bande 40-80 MHz (pour les émissions solaires)

- Le récepteur NASA à balayage de fréquence : polarisation circulaire D et G.

Seule la partie 15-40 MHz sera utilisable. Les modes de fonctionnement seront les mêmes que ceux adoptés par le récepteur sonde.

2 Enregistrement

- Récepteur NASA - enregistrement sur bande magnétique
  observation : ± 3h passage au méridien de Jupiter
  ± 3h passage au méridien du Soleil
  (ces deux périodes interfèrent au moment de la conjonction)
  le récepteur fonctionnera selon le mode POLLO, FIXLO, ou POLHI, adopté pour le récepteur sonde.
- Récepteurs 20-40 MHz - enregistrement sur film.
  même temps d'observation que le récepteur NASA.

Ce récepteur permettra d'identifier les émissions.

- Les récepteurs multicanaux et fréquences fixes serviront d'appoint pour identifier et correler les émissions reçues à bord de la sonde et au sol.

3. Identification des émissions

Le mode FIXLO ne permet pas d'identifier l'origine des émissions (sauf pour les sursauts de type III qui ont un profil très caractéristique) - Il sera donc nécessaire de se reporter aux enregistrements spectrographiques et aux fréquences fixes enregistrés au sol. Le problème sur l'origine de l'émission (Soleil ou Jupiter) se posera quand il y aura une décorrélation totale, ce qui pourra se produire pour les grands angles stéréo. C'est pourquoi il sera utile d'alterner les modes POLLO et FIXLO toutes les 5 minutes par exemple (un orage jovien dure environ 30 mn) quand l'angle stéréo sera supérieur à 20°.

4. Modes de fonctionnement souhaités

Ce paragraphe sera développé dans un prochain rapport quand le récepteur NASA sera mis à notre disposition, et qu'un certain nombre d'observations auront été faites. Cependant quelques remarques nous permettent déjà de sélectionner les modes qui seront les plus intéressants pour des observations de type Stéréo.

Il apparaît, d'après les fig 18 et 22 que le mode FIXLO en donnant une observation quasi continue à une, deux ou trois fréquences, en polarisation droite et gauche sera le plus utile pour l'étude des profils temporels, des intensités et de la polarisation des différents sursauts d'origine jovienne ou solaire.

Le mode POLLO permettra de tracer l'enveloppe d'une émission ainsi que des courbes d'intensité. On pourra ainsi déterminer la dérive de l'enveloppe (étude particulièrement importante pour les émissions de Jupiter, et pour les émissions de type II solaires). D'autre part ce mode permettra d'identifier les sursauts solaires de type III et IIIb.

Le mode POLHI (14 ms toutes les 6s sur une deux ou trois fréquences) nous paraît par contre peu adapté à des observations de type stéréo car la probabilité de faire coïncider les observations à bord de la sonde et au sol est relativement faible . Cependant il sera surement très important de faire une étude des profils temporels des sursauts millisecondes au moins pour quelques cas.

Les différents modes étant télécommandés depuis la Terre, et en tenant compte de ces quelques considérations, il serait souhaitable que les modes FIXLO et POLLO soient surtout utilisés pendant la période de croisière (80% de la trajectoire) et que le mode POLHI soit surtout utilisé au voisinage de Jupiter et à quelques reprises seulement, pendant le mode de croisière, quand la probabilité d'émission de Jupiter est élevée pour un observateur terrestre.

CONCLUSION

Nous n'avons présenté ici que les études susceptibles d'être faites au moyen d'observations simultanées au sol et à bord de la sonde MJS.
Toutes les études sur les émissions joviennes, solaires et terrestres à des fréquences subionosphériques (15MHz à 1.2KHz) seront tout aussi importantes à faire.

En ce qui concerne l'expérience Stéréo elle-même, nous avons montré comment elle nous permettra d'étudier la distribution angulaire réelle et non plus statistique et apparente des émissions en provenance de Jupiter et du Soleil. Il sera aussi possible de faire une étude sur la polarisation circulaire des sursauts reçus, ce qui permettra de dinstinguer entre la polarisation dùe au mécanisme lui-même et les conditions de propagation. Enfin, ces études pourront être faites sur un très grand nombre d'évènements étant donné les possibilités énormes de PRA (266 bps , 6 heures d'observation par jour au moins pendant plus de 3 ans, angle stéréo atteignant 18O°, 8O fréquences balayées).

LISTE DES FIGURES

N°

1 Vue du réseau de 32 antennes et d'une antenne élémentaire.

2 Trajectoires possibles de la sonde MJS

3 Description de la sonde MJS. Emplacement des différentes expériences

4 et 4 bis Vues de la maquette récepteur PRA (Planetary Radio Astronomy)

5 Les différents modes de fonctionnement

Paramètres importants pour les observations stéréo :

6 Distance Terre-Sonde, Jupiter-Sonde, Terre-Jupiter

7 Rapport Signal Sonde/Signal Terre pour des antennes de même gain

8 Variation de l'angle stéréo-Jupiter (Jupiter, Terre, Sonde)

9 Angle Soleil-Jupiter-Sonde

10 Angle de déclinaison jovicentrique de la Terre.

11 Distances Soleil-Sonde et Terre-Sonde

12 Décroissance du flux des émissions solaires reçues par la sonde

13 Angle stéréo-Soleil et distance Soleil-Sonde

14 Spectre d'émission de Jupiter

15 Probabilité d'émission du rayonnement décamétrique de Jupiter (diagramme Io-LCM)

16 Probabilité d'émission de Jupiter en longitude et en phase de Io.

17 Emission de Jupiter vue à travers le mode de fonctionnement POLLO

18 Emission de Jupiter vue à travers le mode de fonctionnement FIXLO

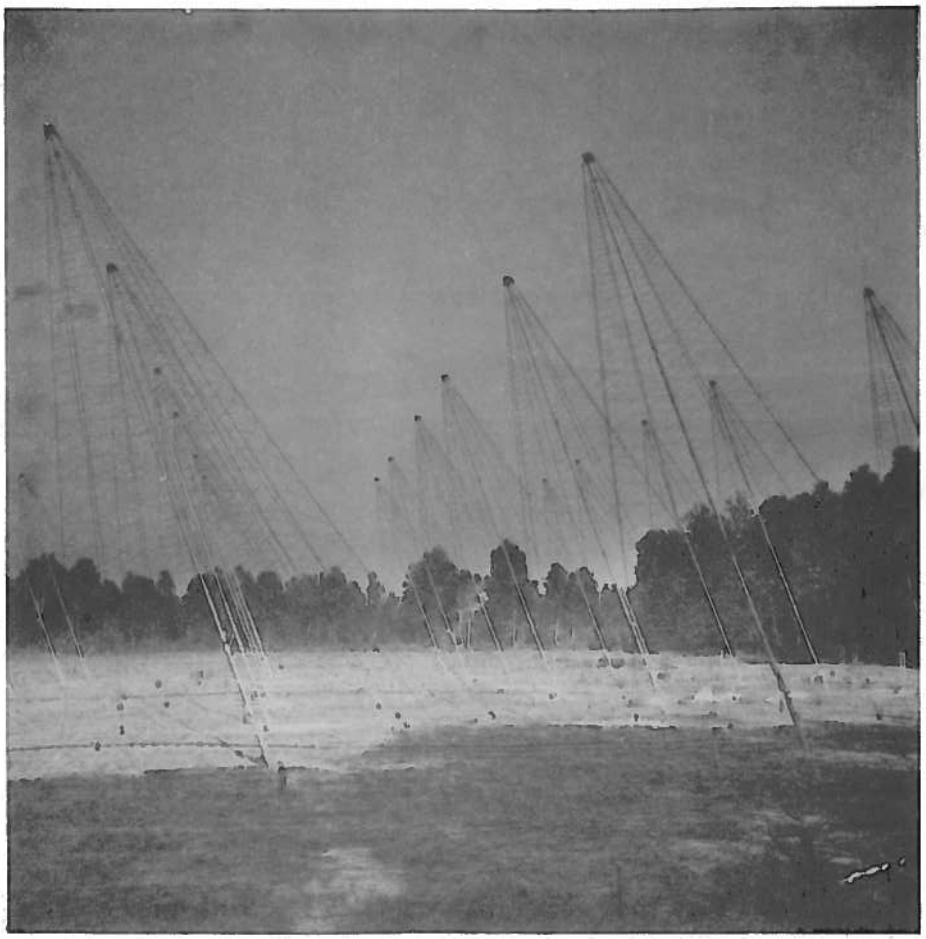
19 Spectre à large bande d'une émission de Jupiter et le mode de fonctionnement POLLO

20 Configuration Terre-Jupiter-Sonde

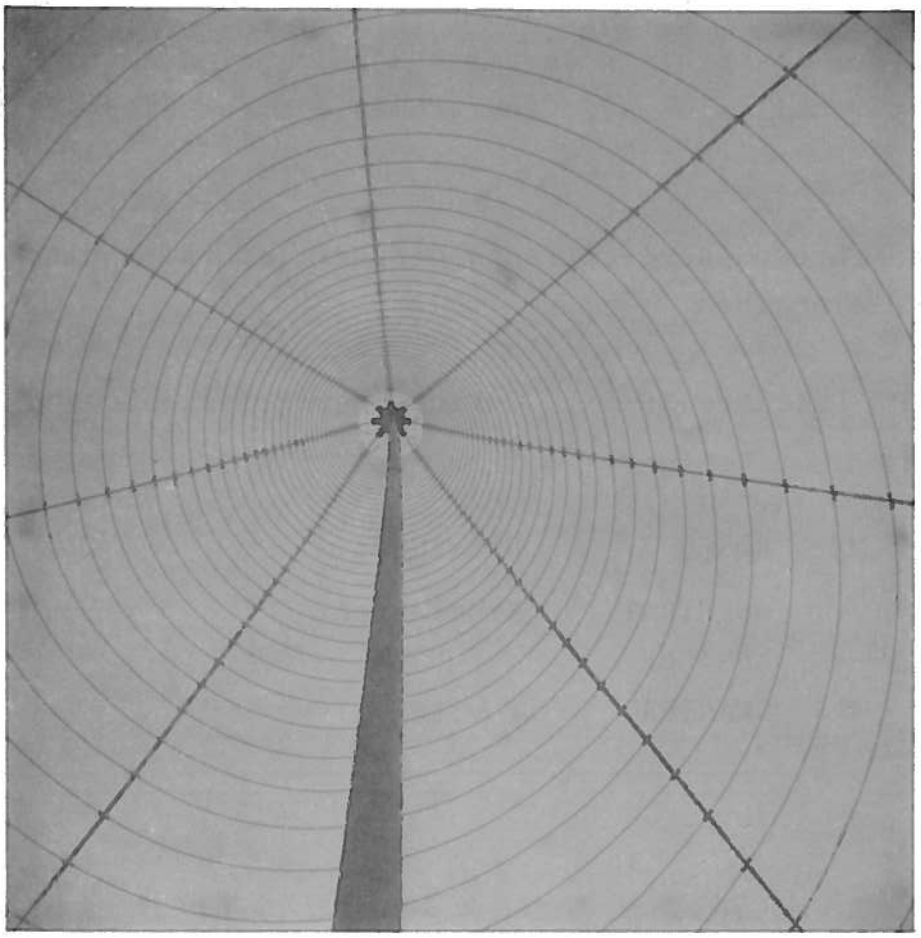
21 Sursauts solaires de type III et IIIb et le mode de fonctionnement POLLO

22 Sursauts solaires de type II et III et le mode de fonctionnement FIXLO

23 Description de la station de réception de Nançay



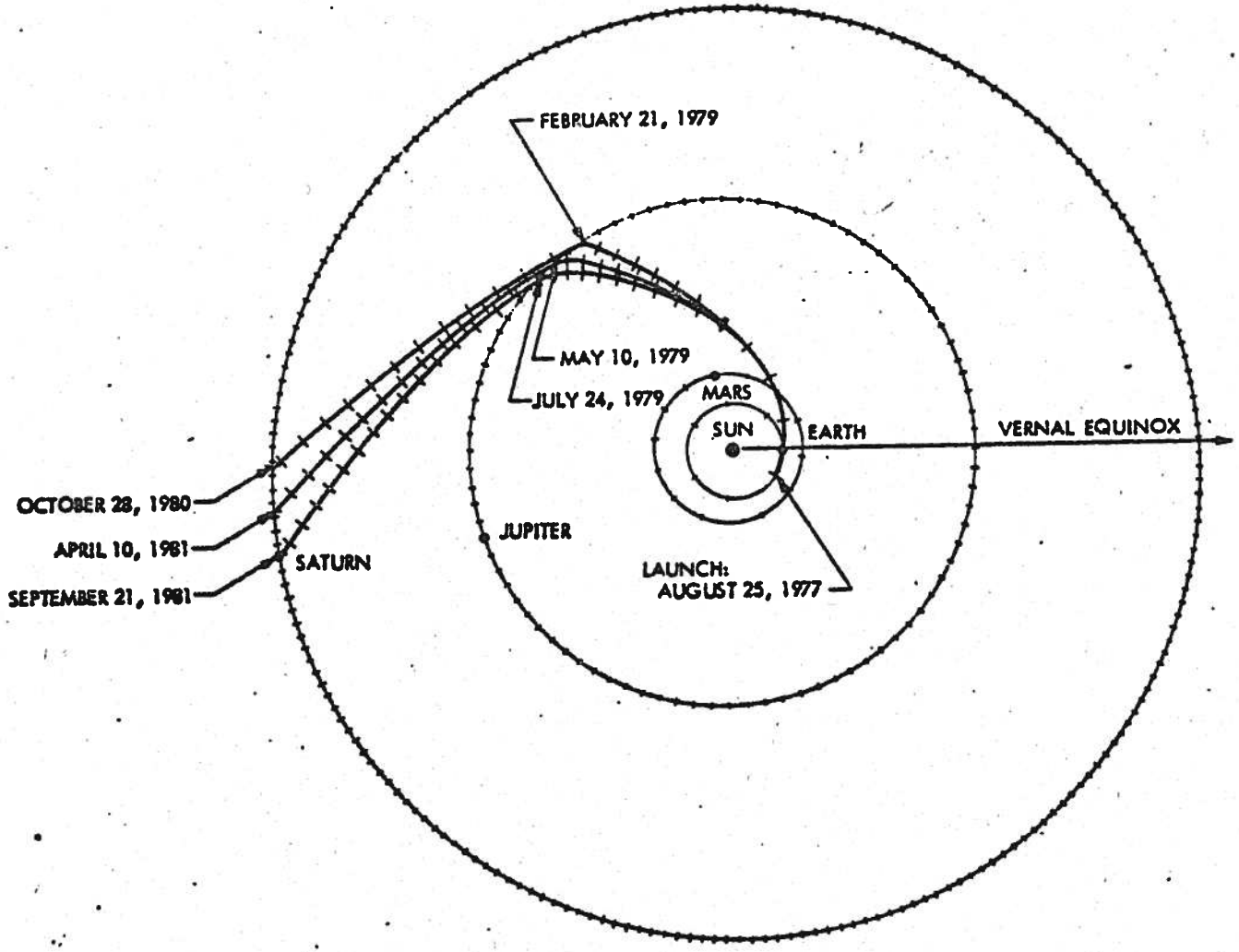
Vue du réseau des 32 antennes installées en juillet 1975. à Nançay



Structure spirale d'une antenne conique log-périodique vue du sol.

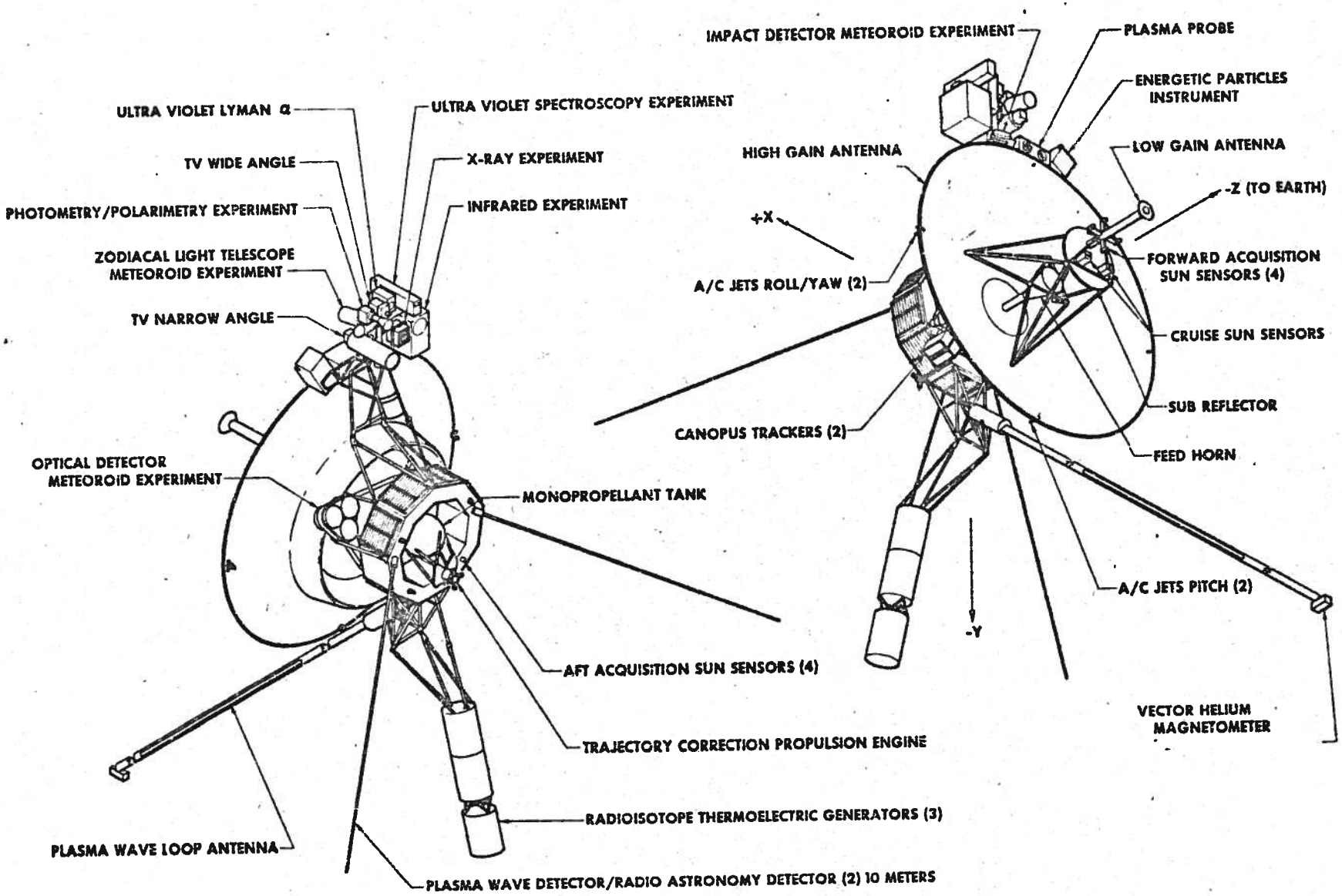
Figure 1

HELIOCENTRIC PLAN VIEW OF TRANSFER TRAJECTORIES



- ECLIPTIC PLANE PROJECTION
- SPACECRAFT AND PLANET TICK MARKS AT 50 DAY INTERVALS
- PLANET POSITIONS SHOWN ON SEPTEMBER 21, 1981

Fig. 2



MJS Spacecraft Configuration

Fig. 3

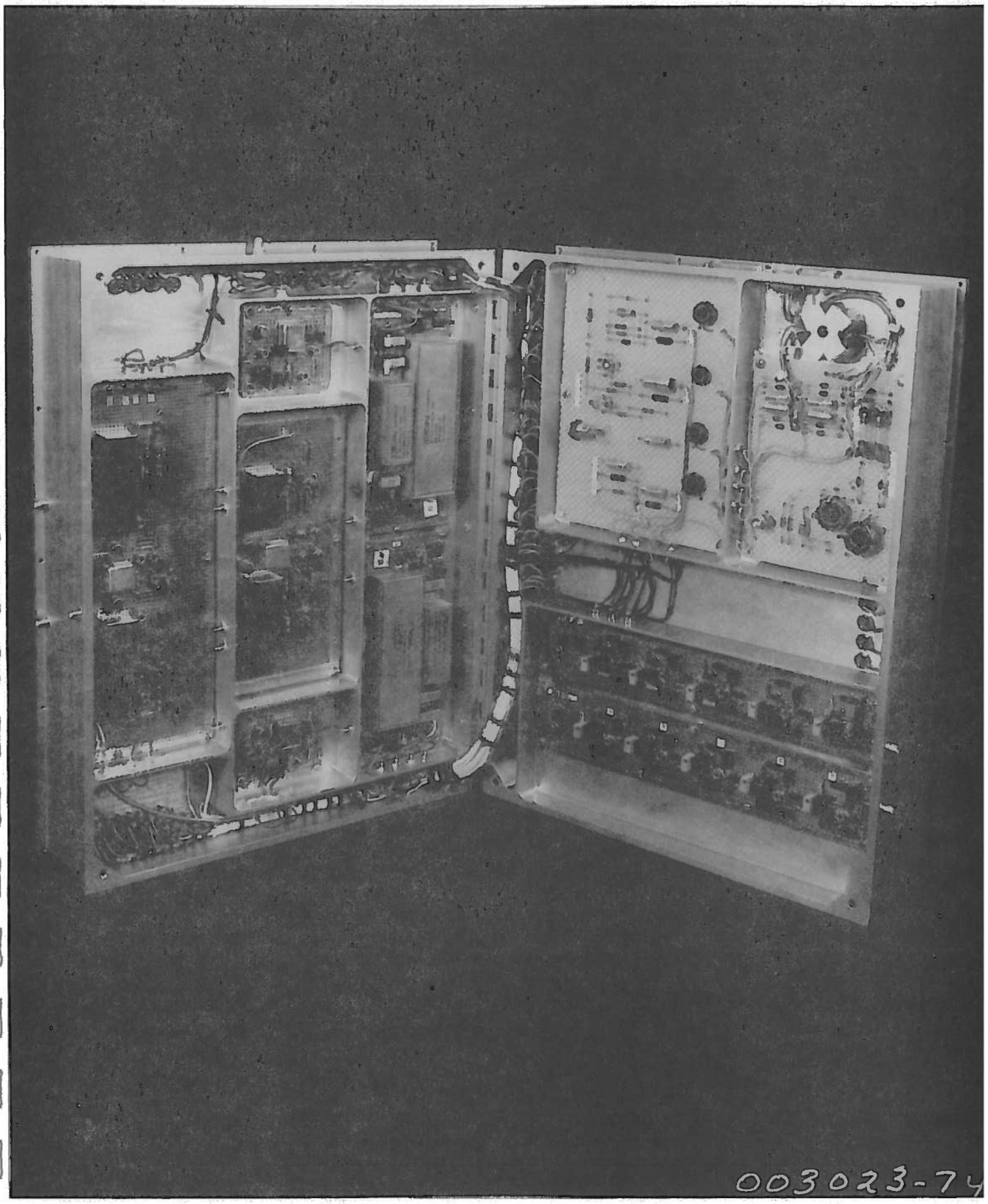


Fig. 4 - Maquette du récepteur MJS.
a - Vue partielle des circuits H.F. et alimentation

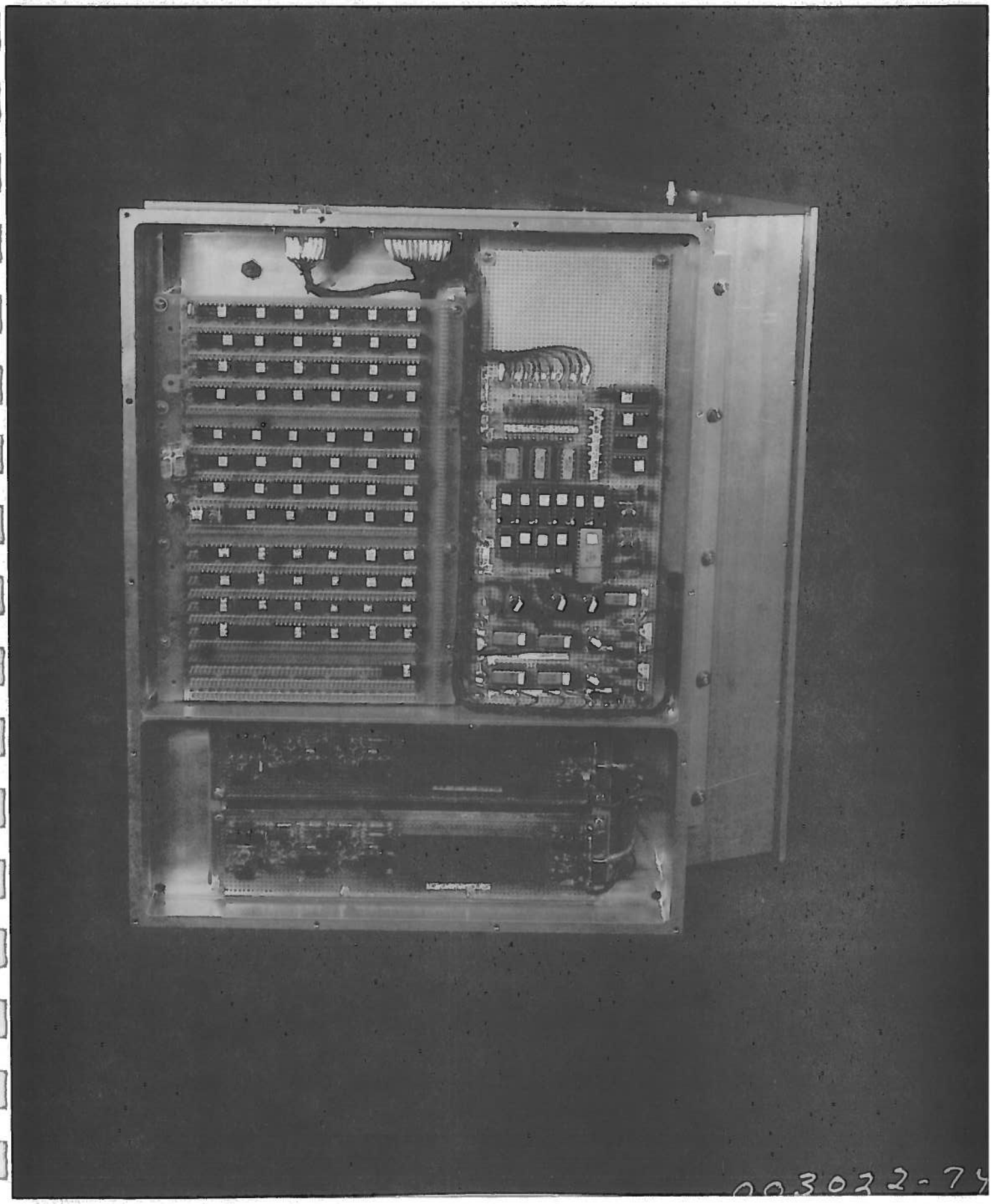


Fig. 4 - Maquette du récepteur MJS.
b - Vue partielle des circuits digitaux

PRA MODES

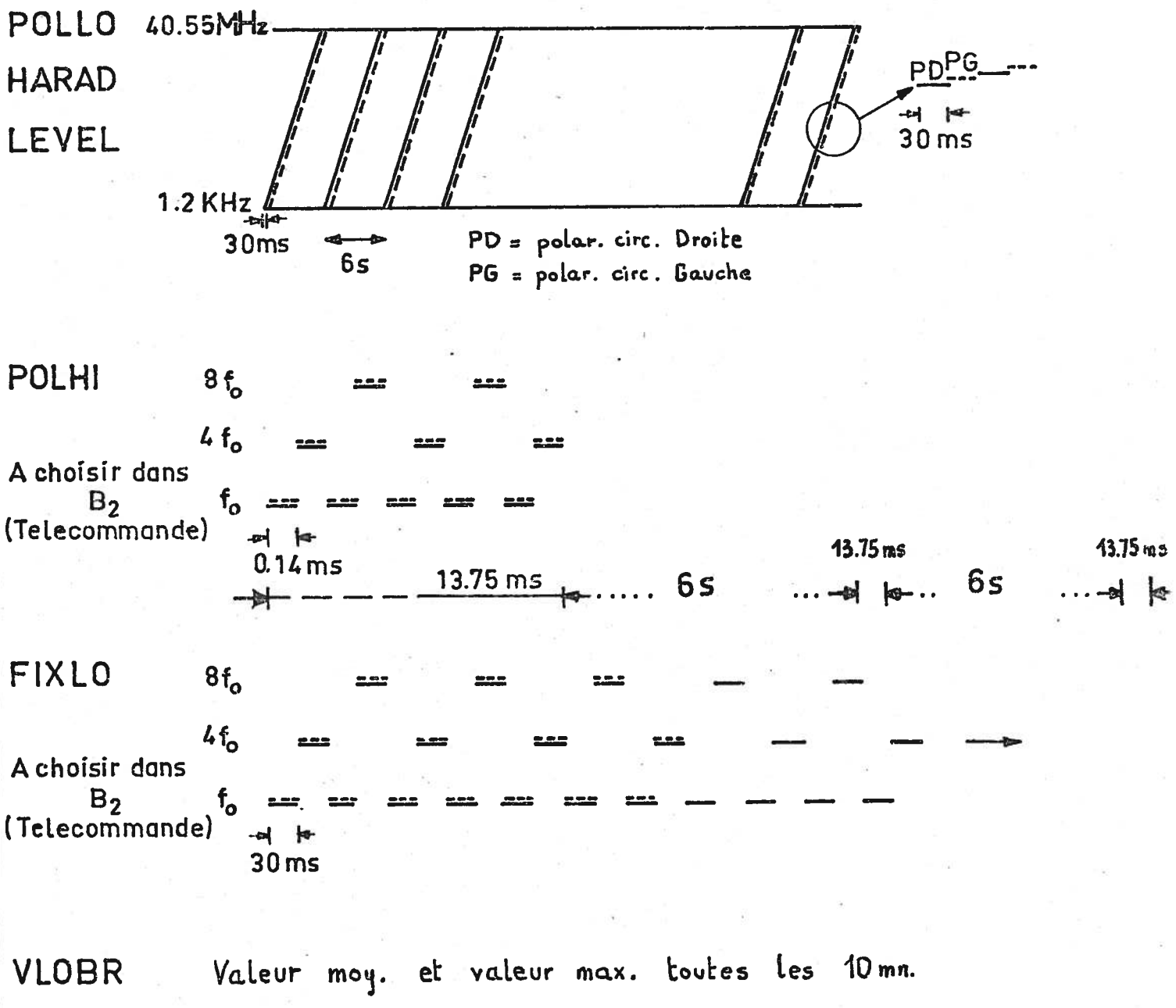


Fig. 5 Modes de fonctionnement du récepteur PRA

LES PARAMETRES IMPORTANTS POUR DES OBSERVATIONS DE TYPE STEREO

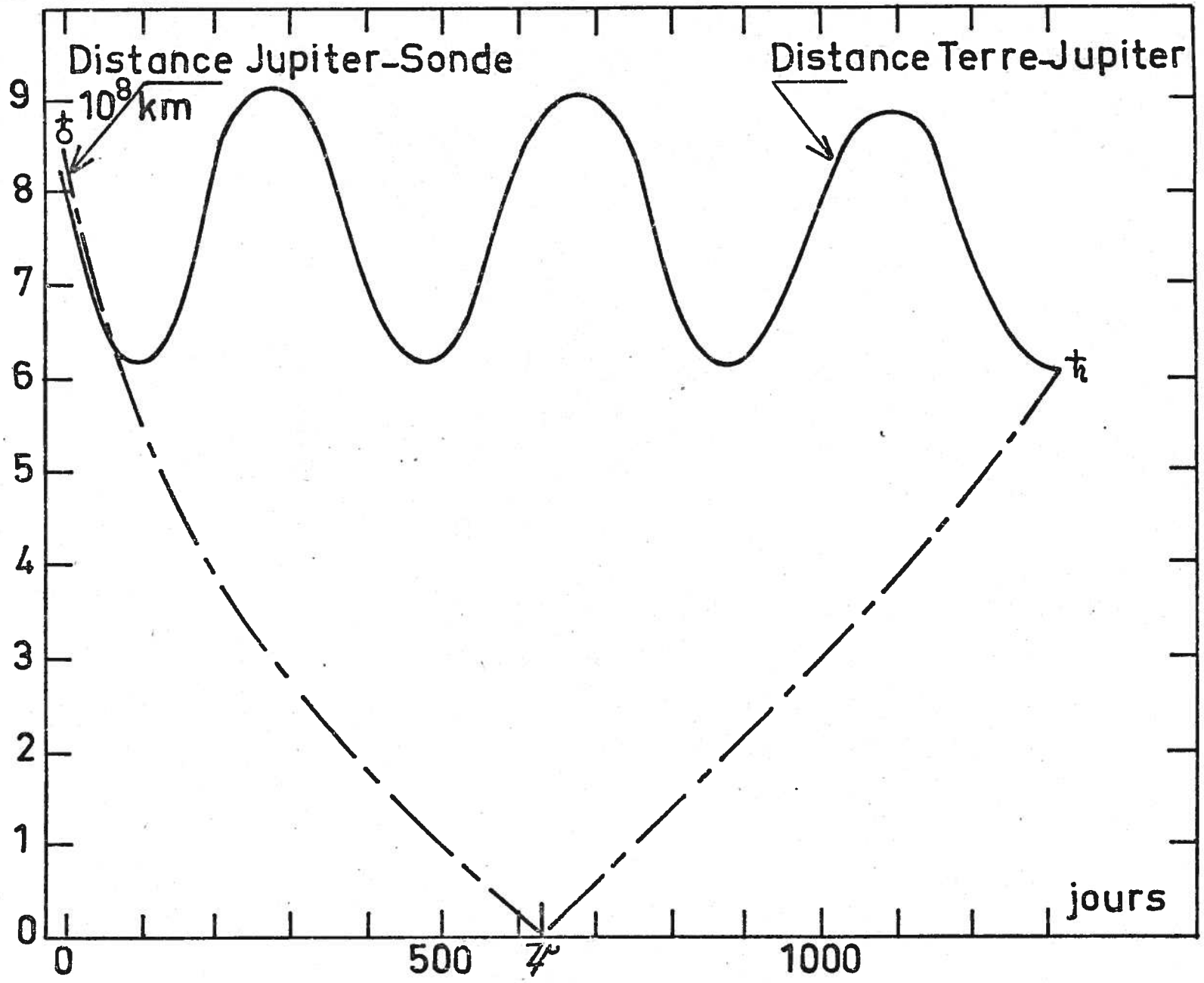


Fig.6 Distances Jupiter-Sonde et Terre-Jupiter

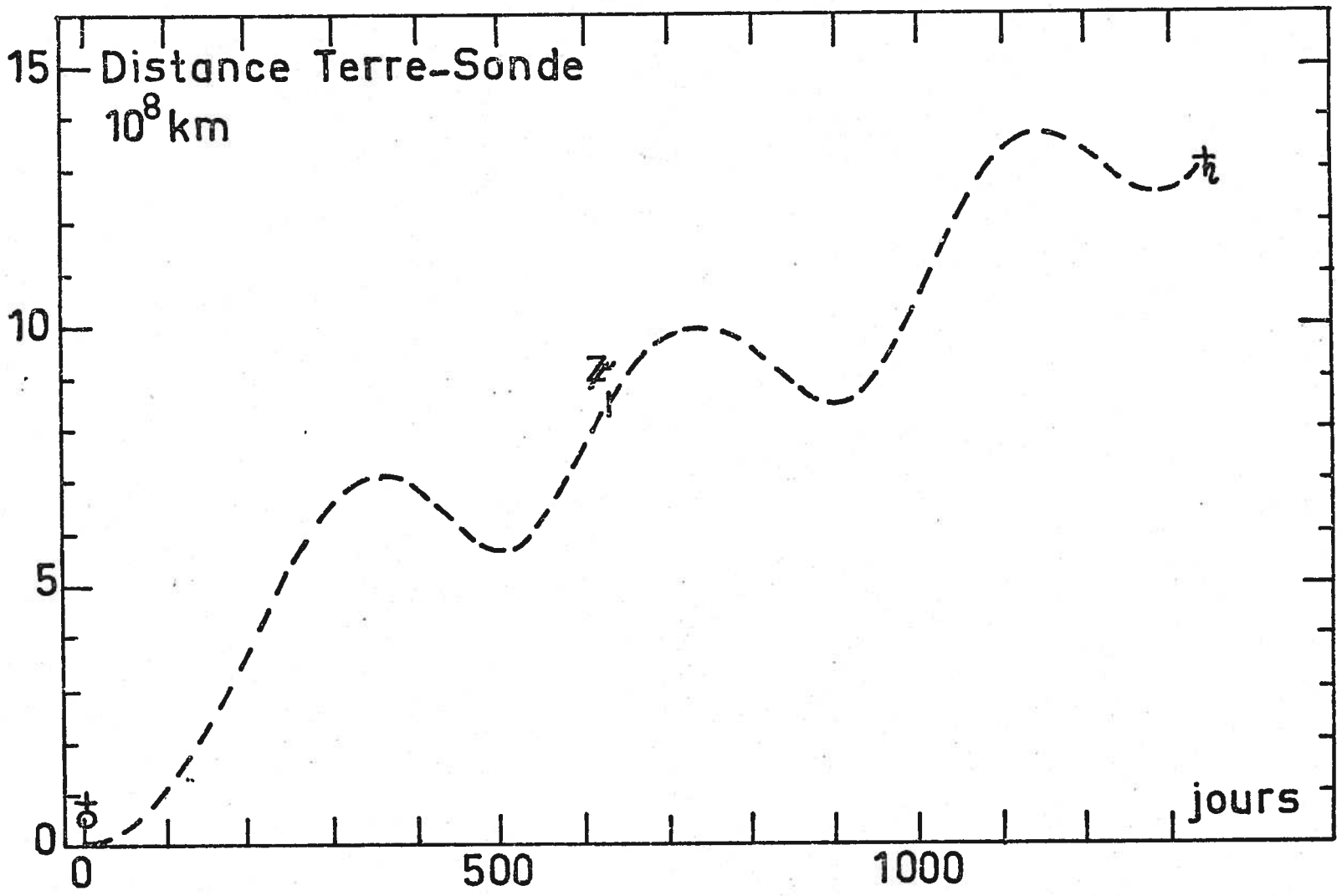


Figure 6b Distance Terre-Sonde

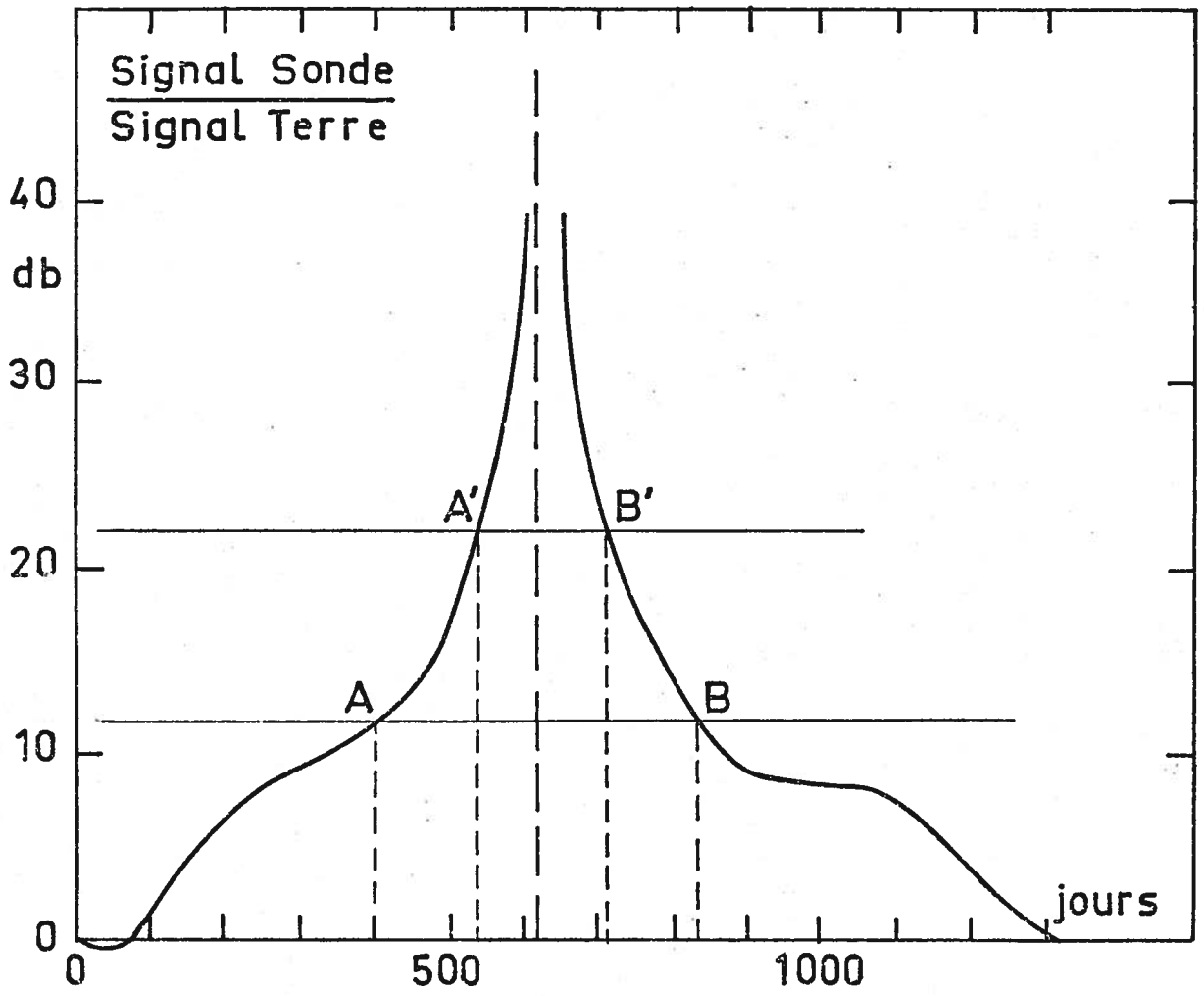


Fig. 7 Rapport des signaux reçus à bord de la sonde et au sol pour des antennes de même gain.

Les abscisses A et B (A' et B') représentent les positions de la trajectoire où la densité de flux au réseau est égale à la densité de flux à la sonde quand la différence entre le gain du réseau et le gain de l'antenne-sonde est de 12 db (32 antennes) ou de 22 db (144 antennes).

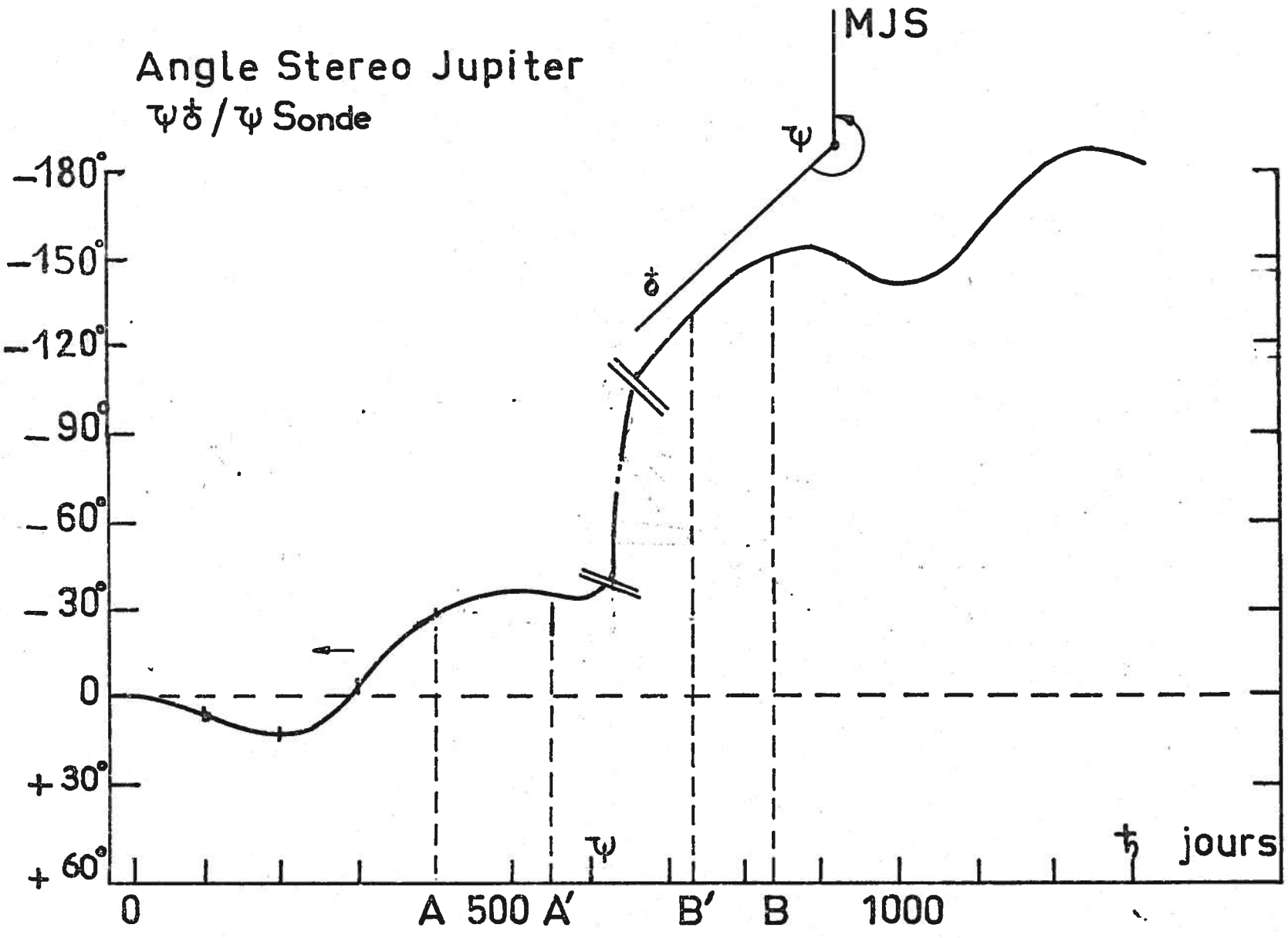


Fig. 8 Variation de l'angle Stéréo-Jupiter (Terre-Jupiter-Sonde)

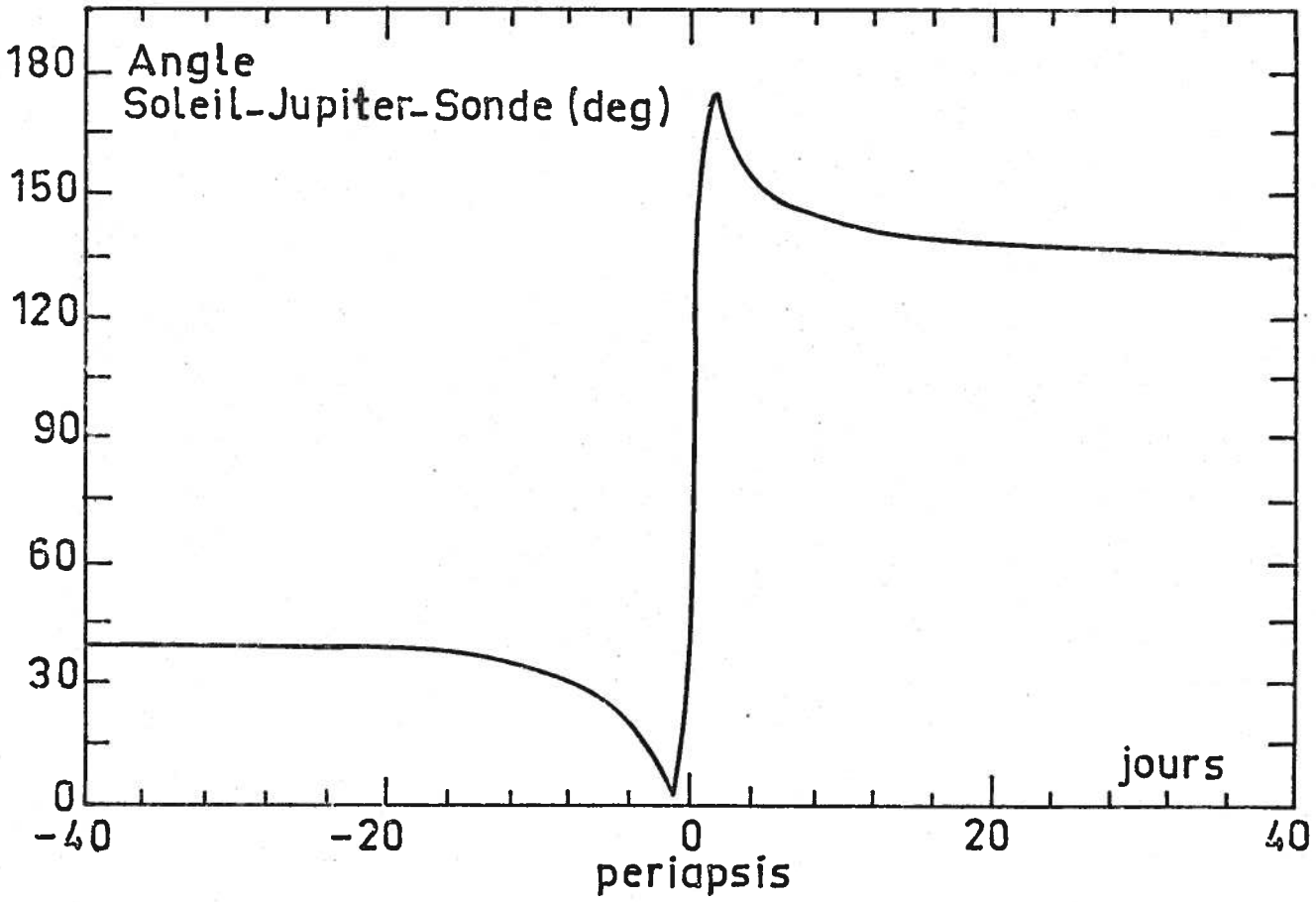


Fig. 9 Variation de l'angle Soleil-Jupiter-Sonde.

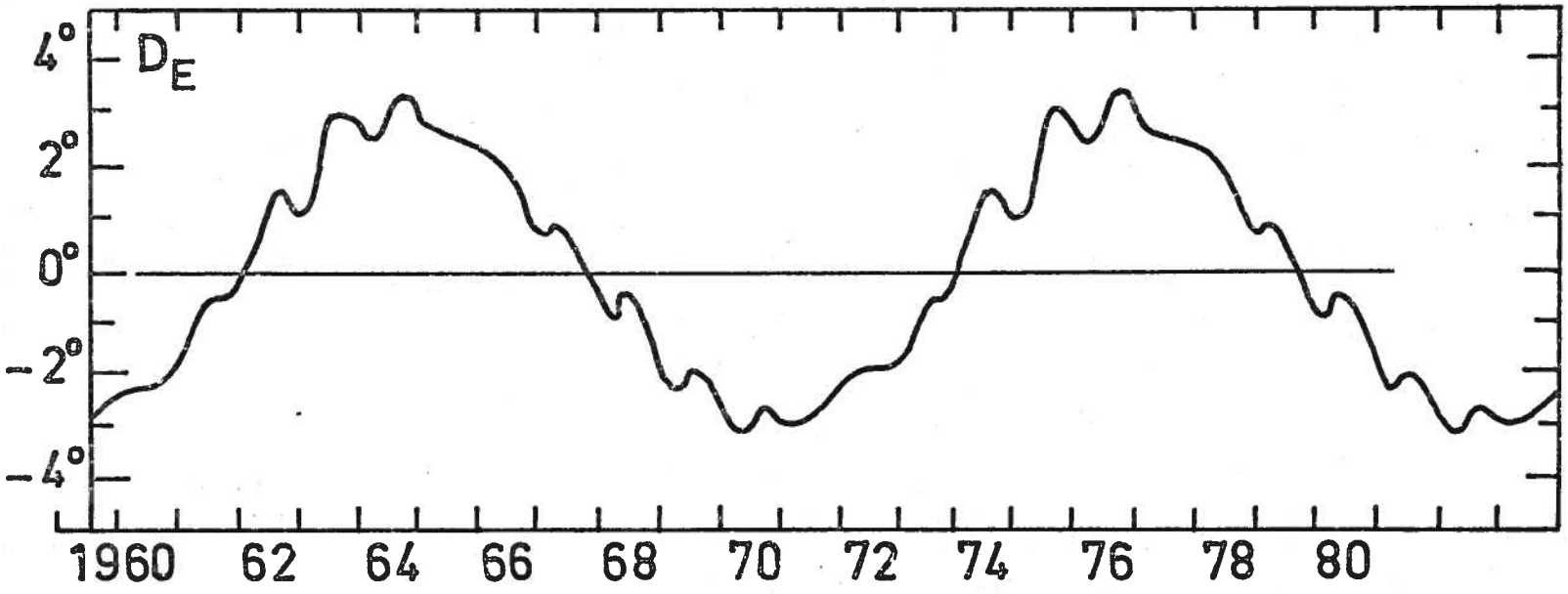


Fig. 10 Variation de l'angle de déclinaison jovicentrique.

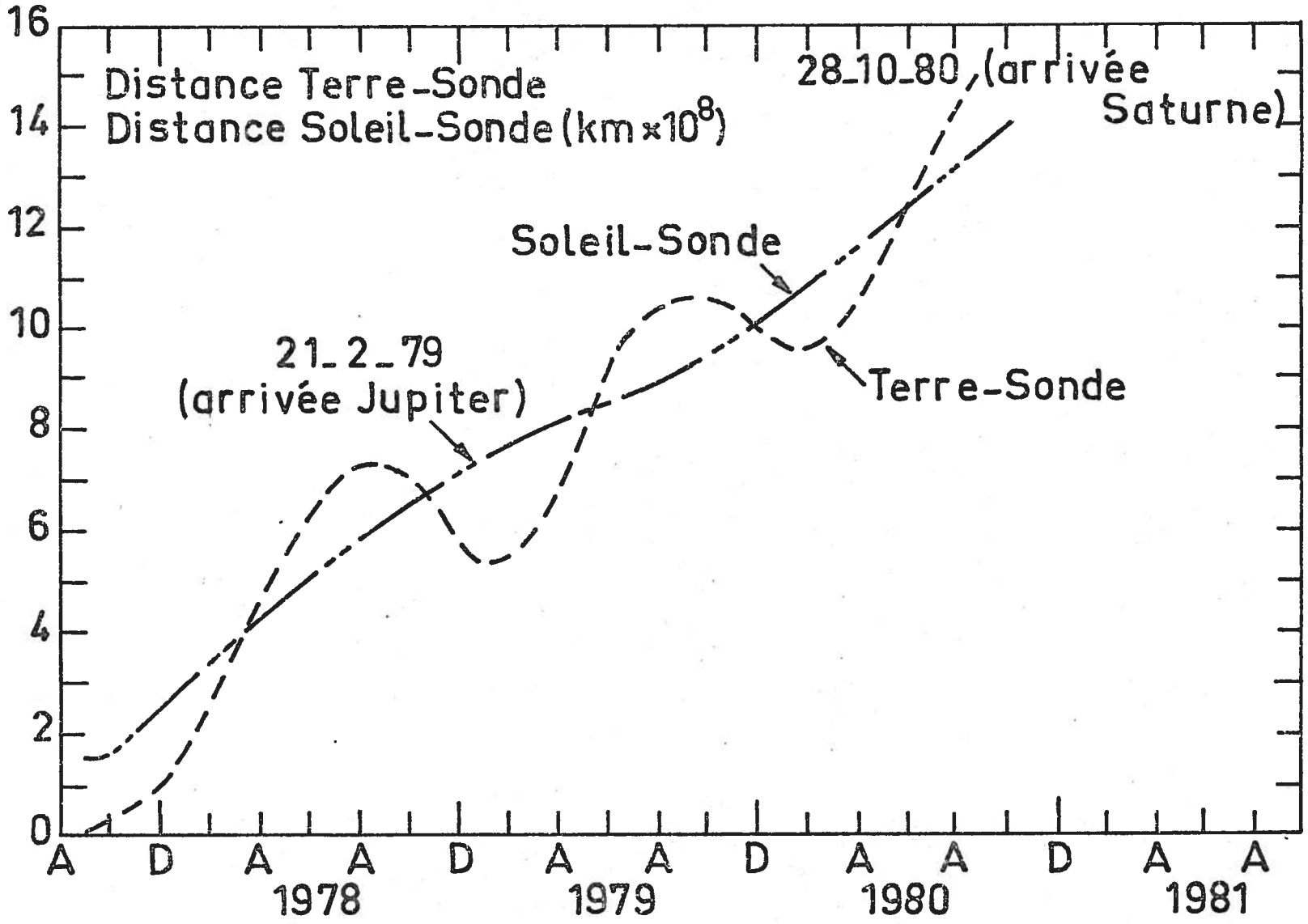


Fig. 11 Distances Soleil-Sonde et Terre-Sonde

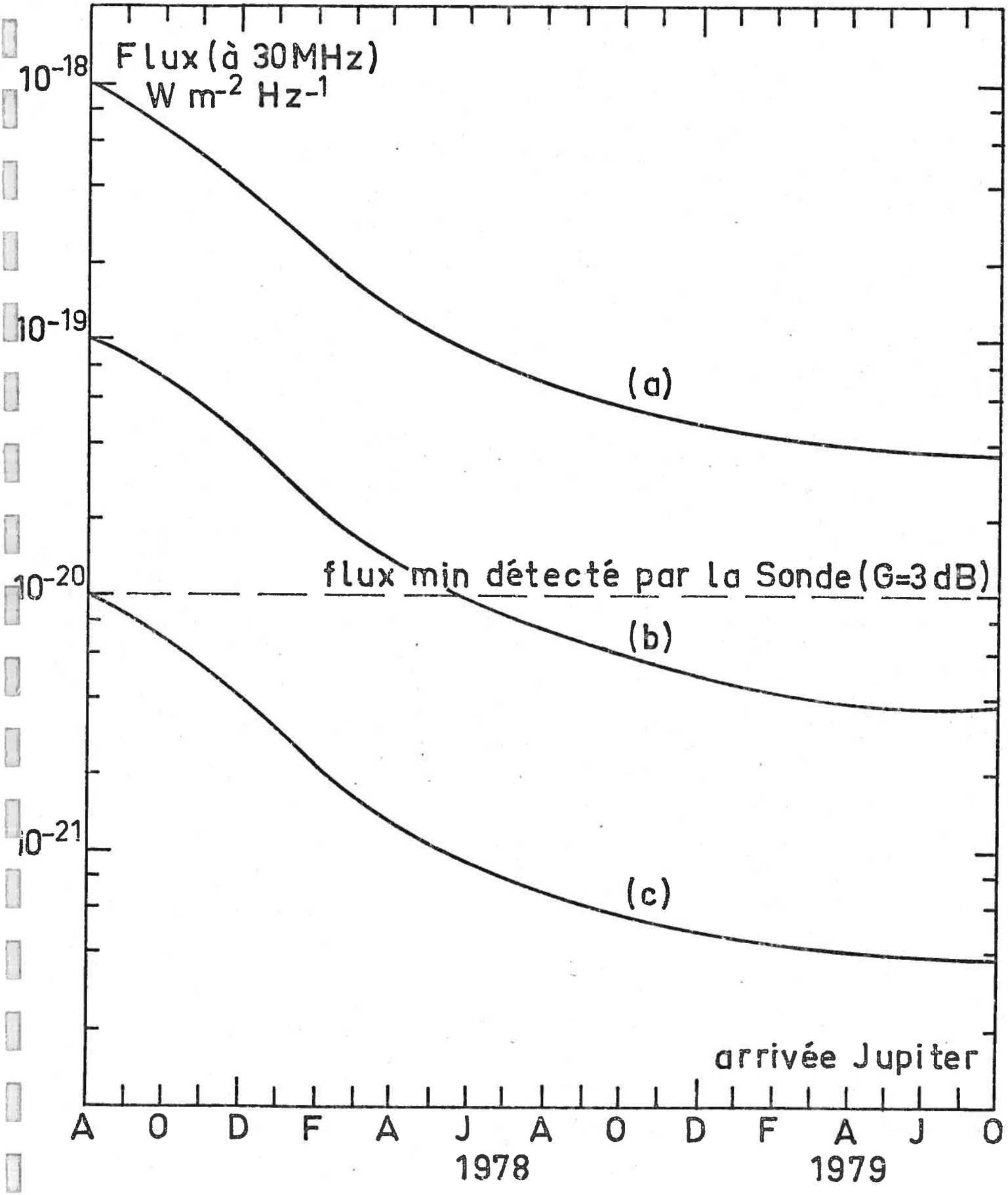


Fig. 12 Décroissance du flux des émissions solaires reçues par la sonde (sursauts émis près du Soleil à f $\gtrsim$ 15 MHz)

(a) sursauts de type II, III et IV (flux max).

(b) et (c) sursauts d'orages (flux max et flux moyen).

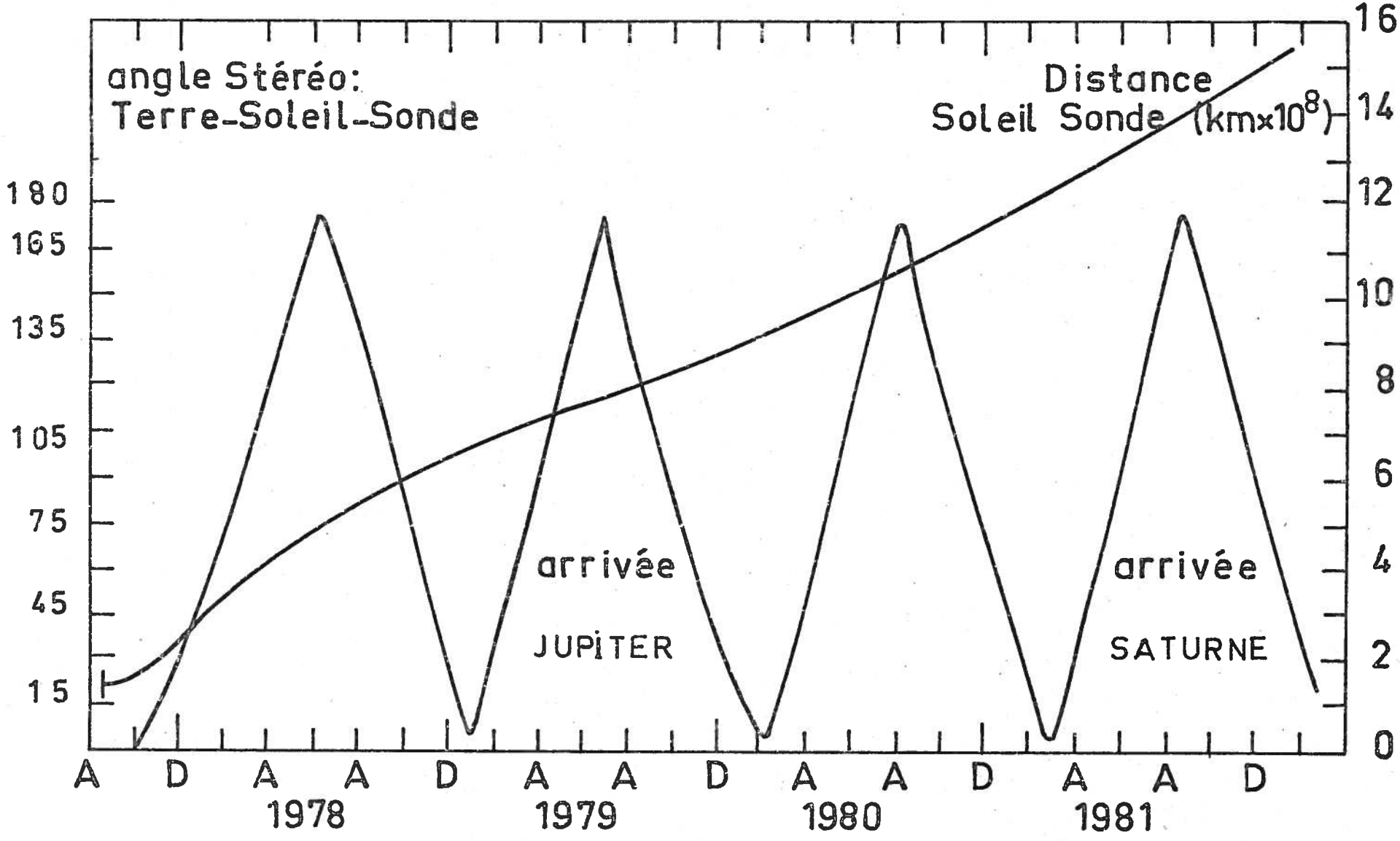


Fig.13 Angle stéréo Terre-Soleil-Sonde et Distance Soleil-Sonde

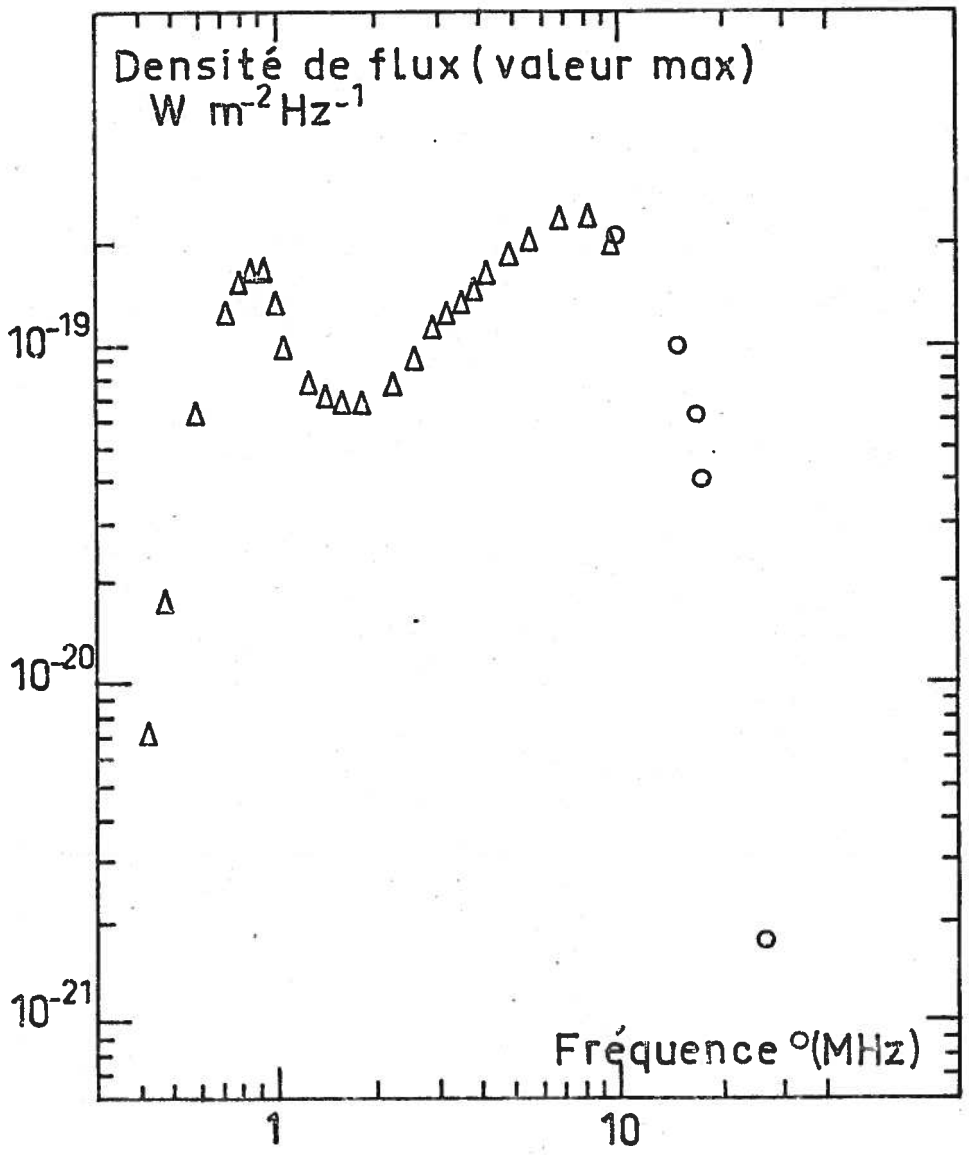


Fig. 14 Spectre des émissions basses fréquences de Jupiter

Δ données d'observation IMP 6

o données d'observation au sol

Io, LCM PROBABILITY CONTOUR MAP FOR COMBINED DATA OF 1961-68, CONTOUR INTERVAL .10

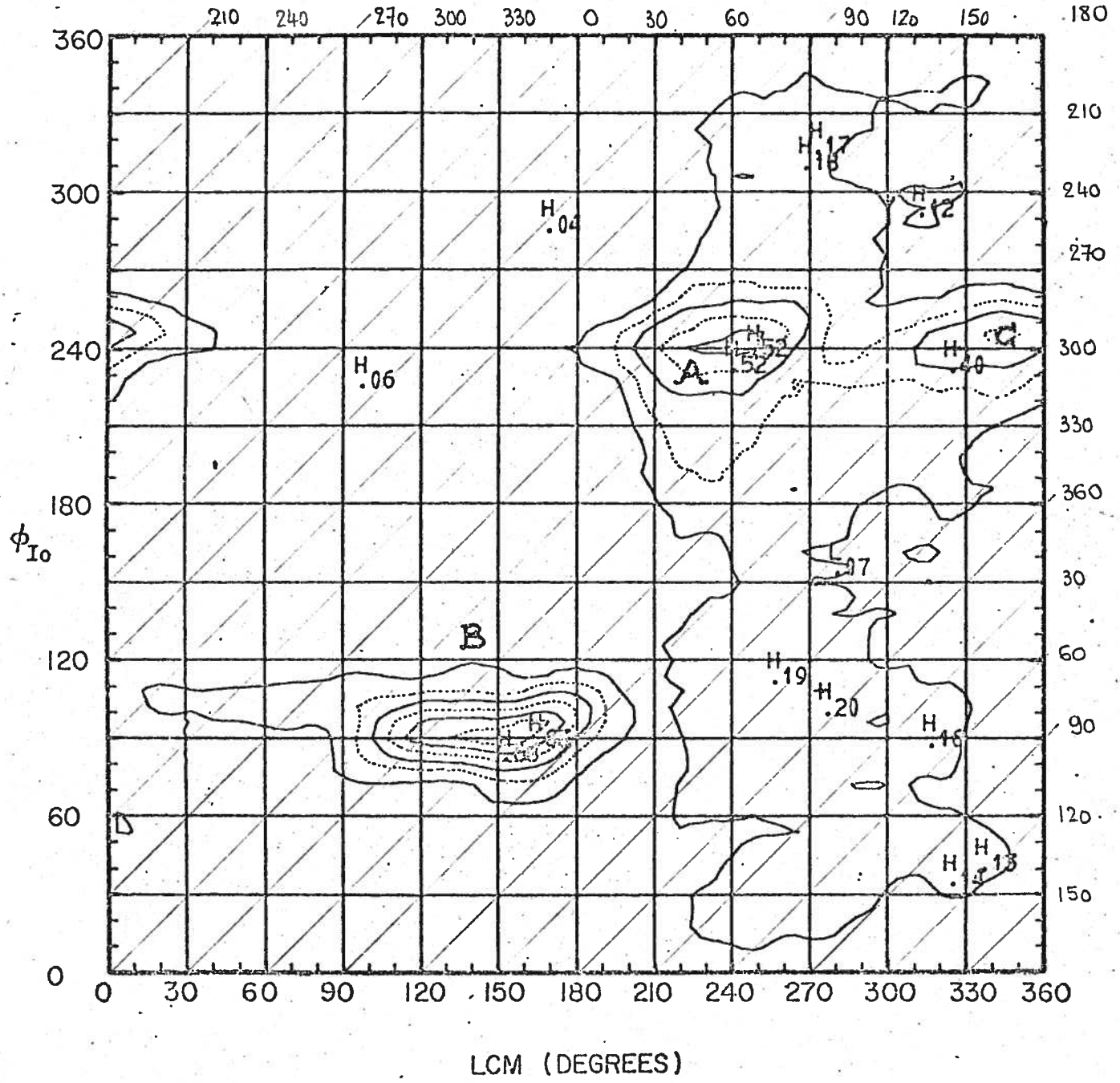


Fig. 15

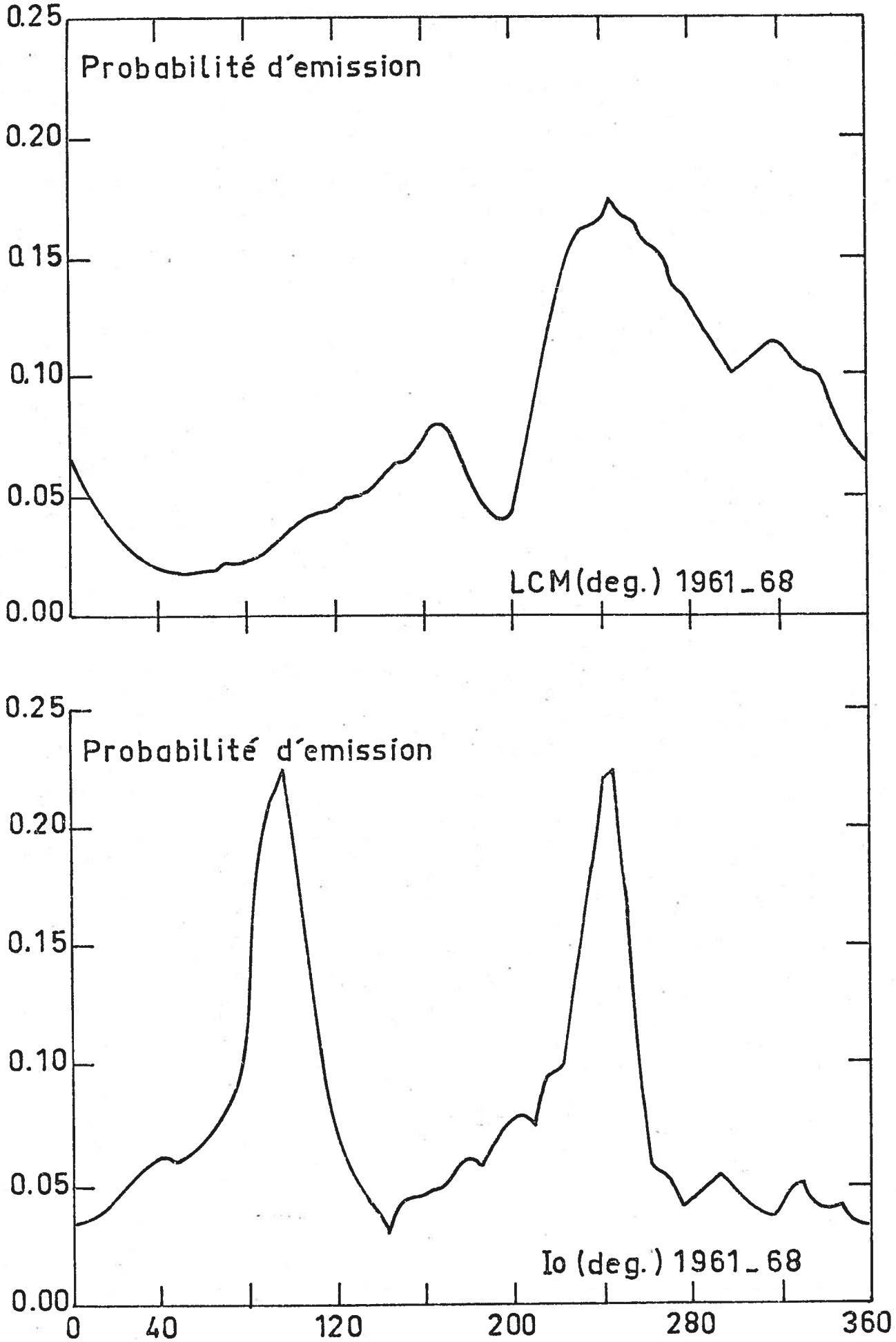
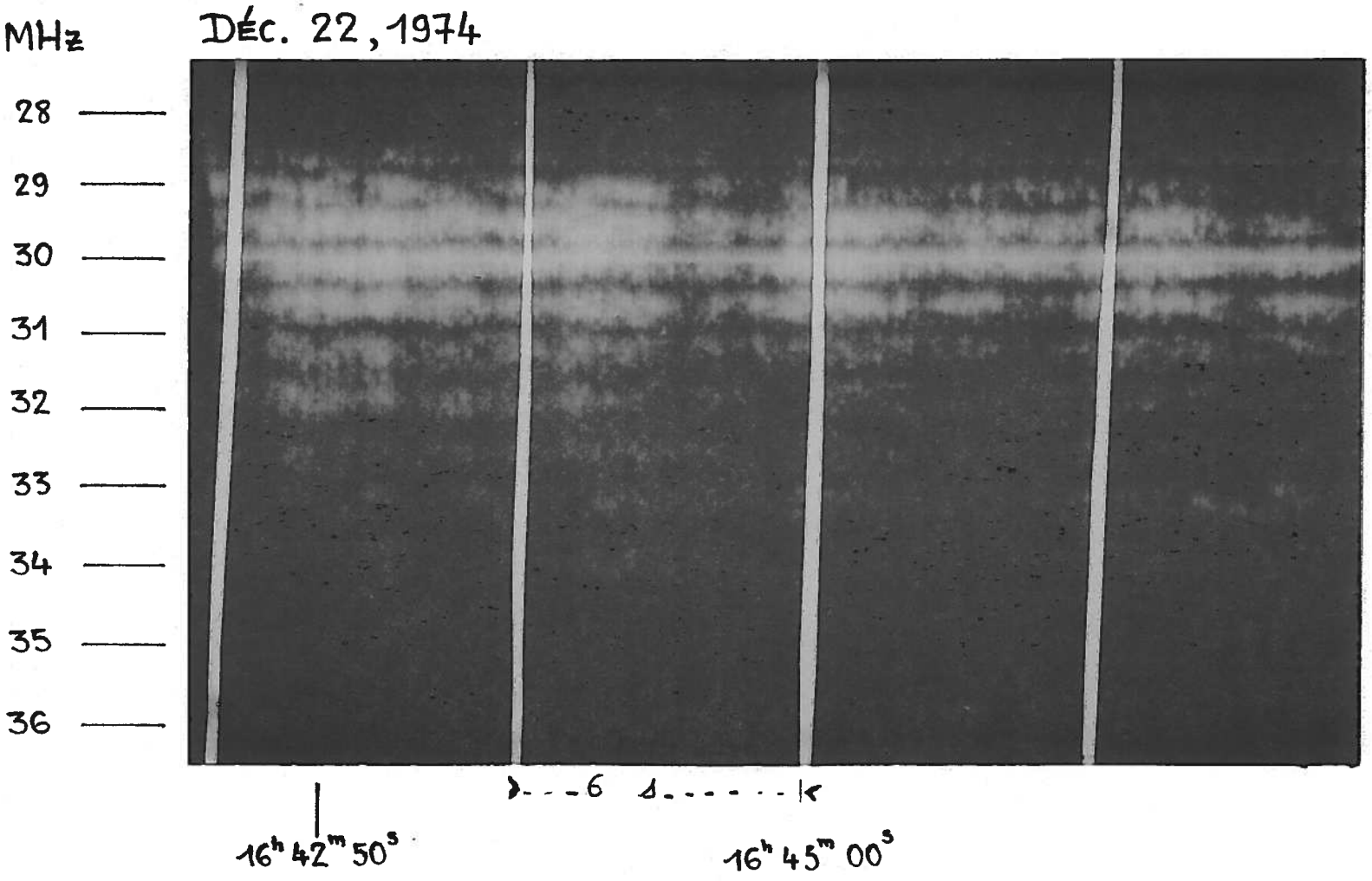


Fig. 16 Probabilité d'émission du rayonnement décamétrique de Jupiter.

SPECTRE JOVIEN



MODE POLLO

Fig. 17

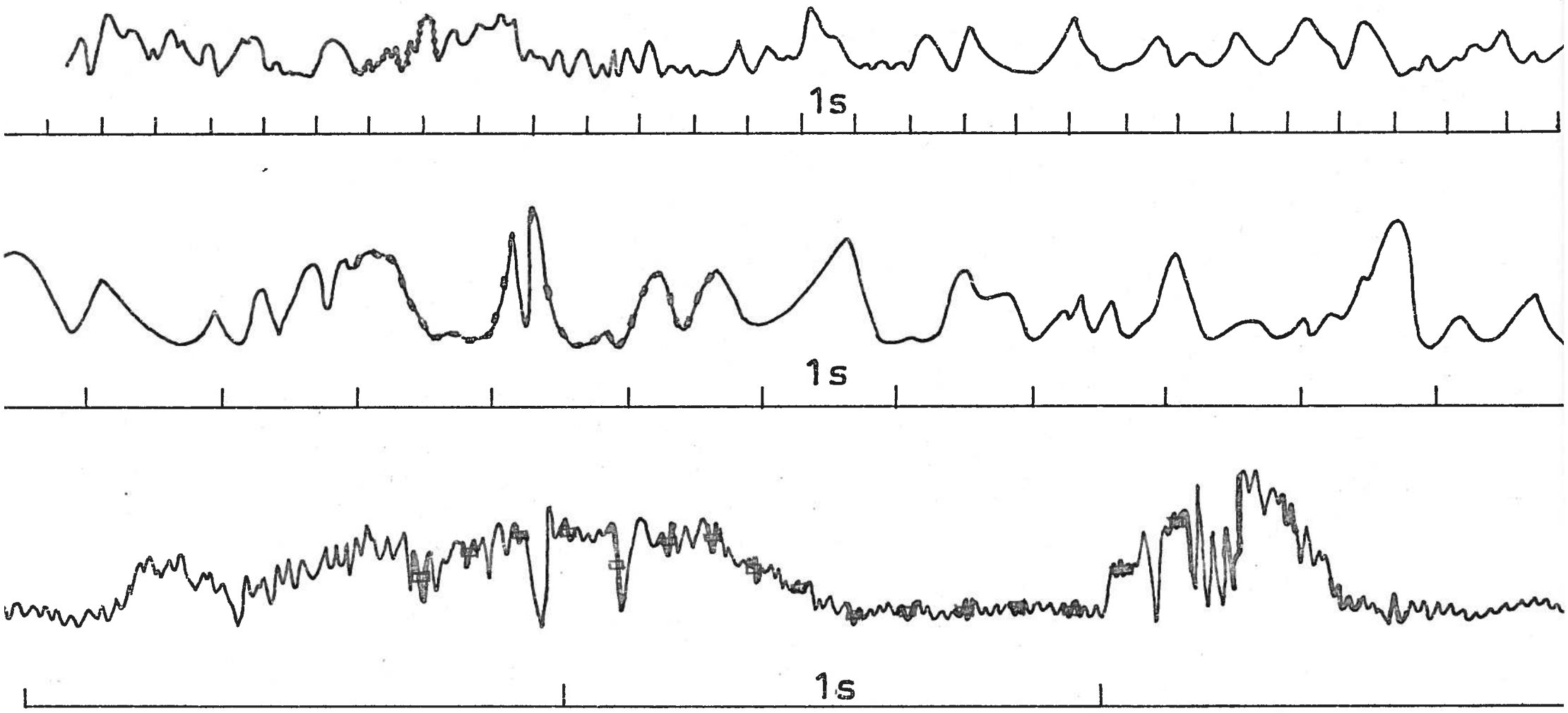


Fig. 18 Exemple d'émission de Jupiter (30.3.74) enregistrée à Nançay d'une manière continue et enregistrement que l'on obtiendrait avec le mode FIXLO

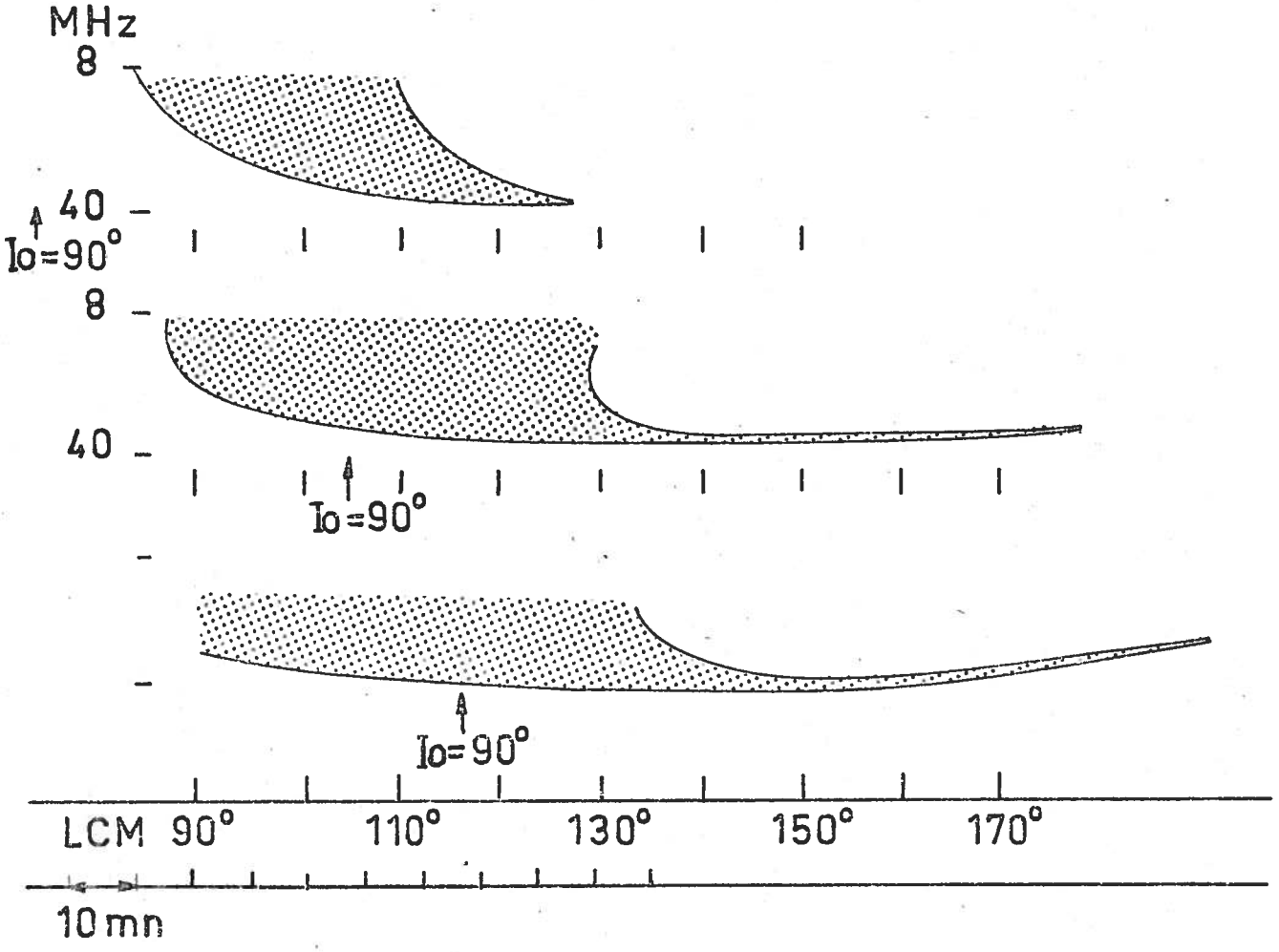


Fig. 19 Spectre à large bande d'une émission de Jupiter (l'échelle de temps montre que le mode POLLO permettra de définir parfaitement l'enveloppe).

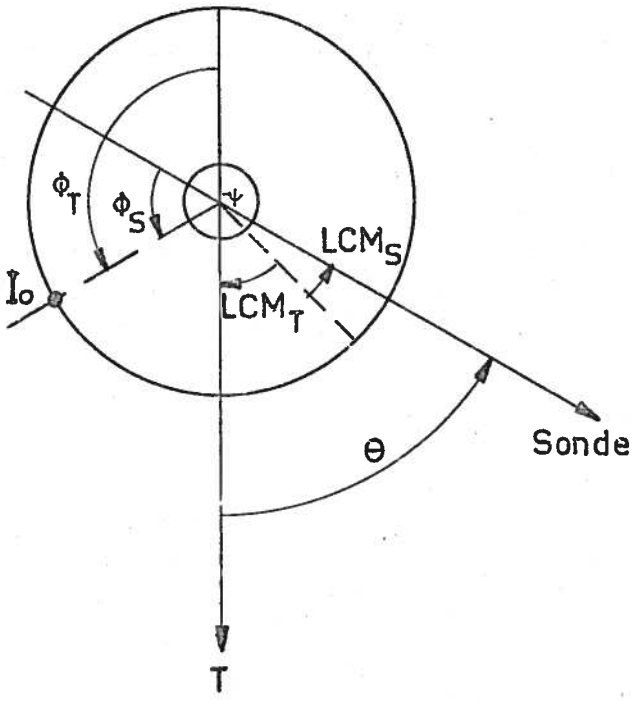
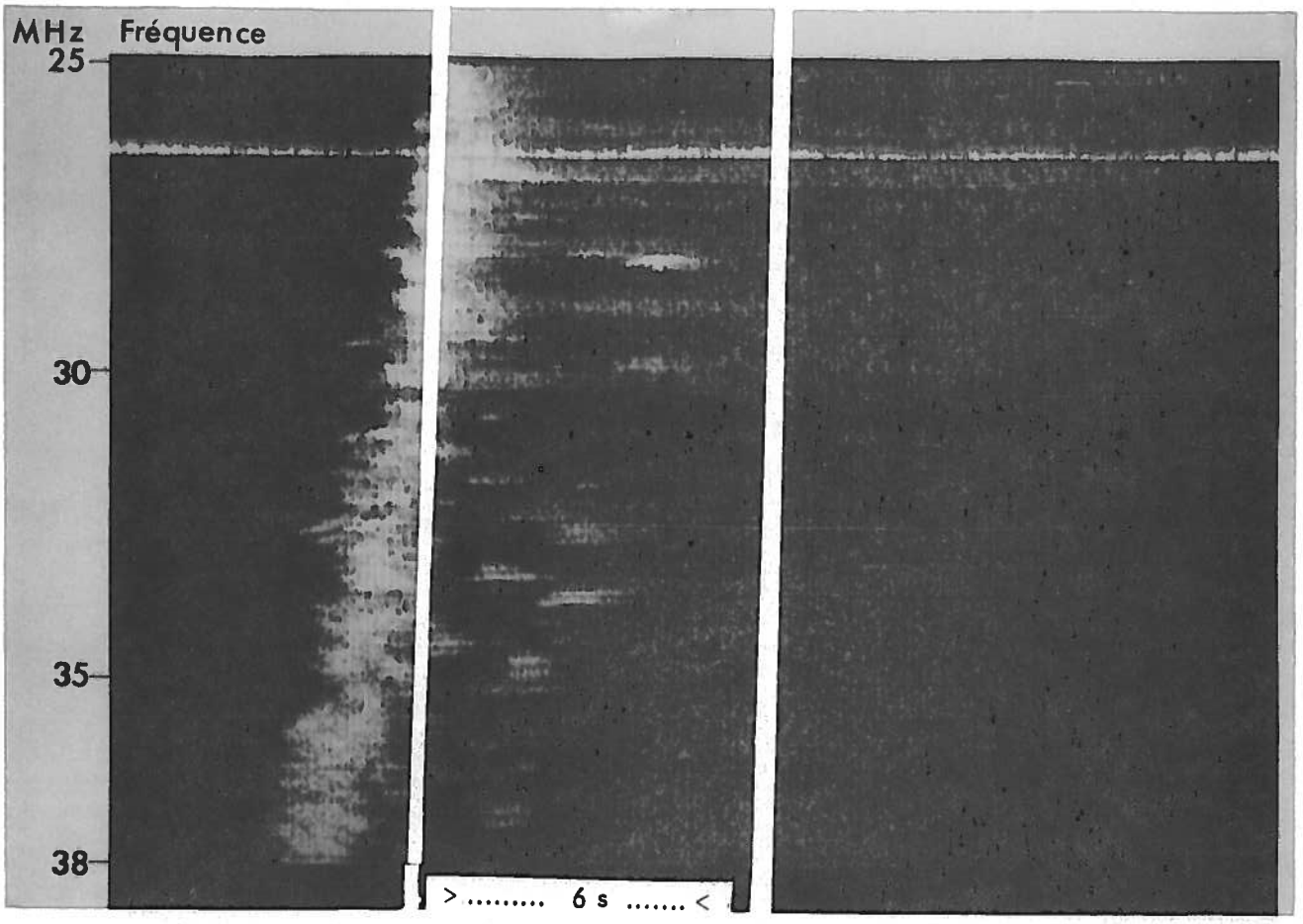


Fig. 20 Définition des différents angles formés par les directions de la sonde, de la Terre, Jupiter et Io.

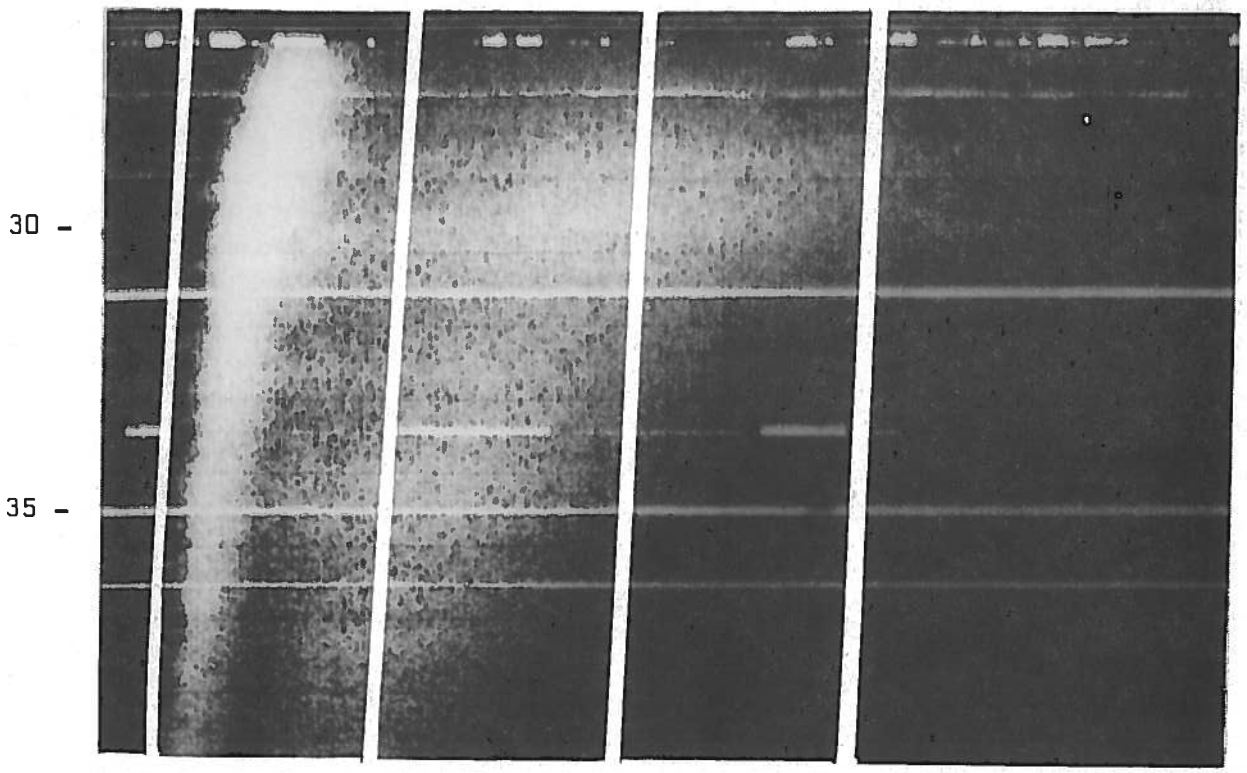
Φ_T et Φ_S : phases de Io_{Terre} et phase de Io_{sonde}

LCM_T et LCM_S : longitude du méridien central (Terre et sonde)

θ : angle stéréo.



Sursaut solaire de type IIIb (Pollo)



Sursauts solaires de type III (Pollo)

Fig. 21

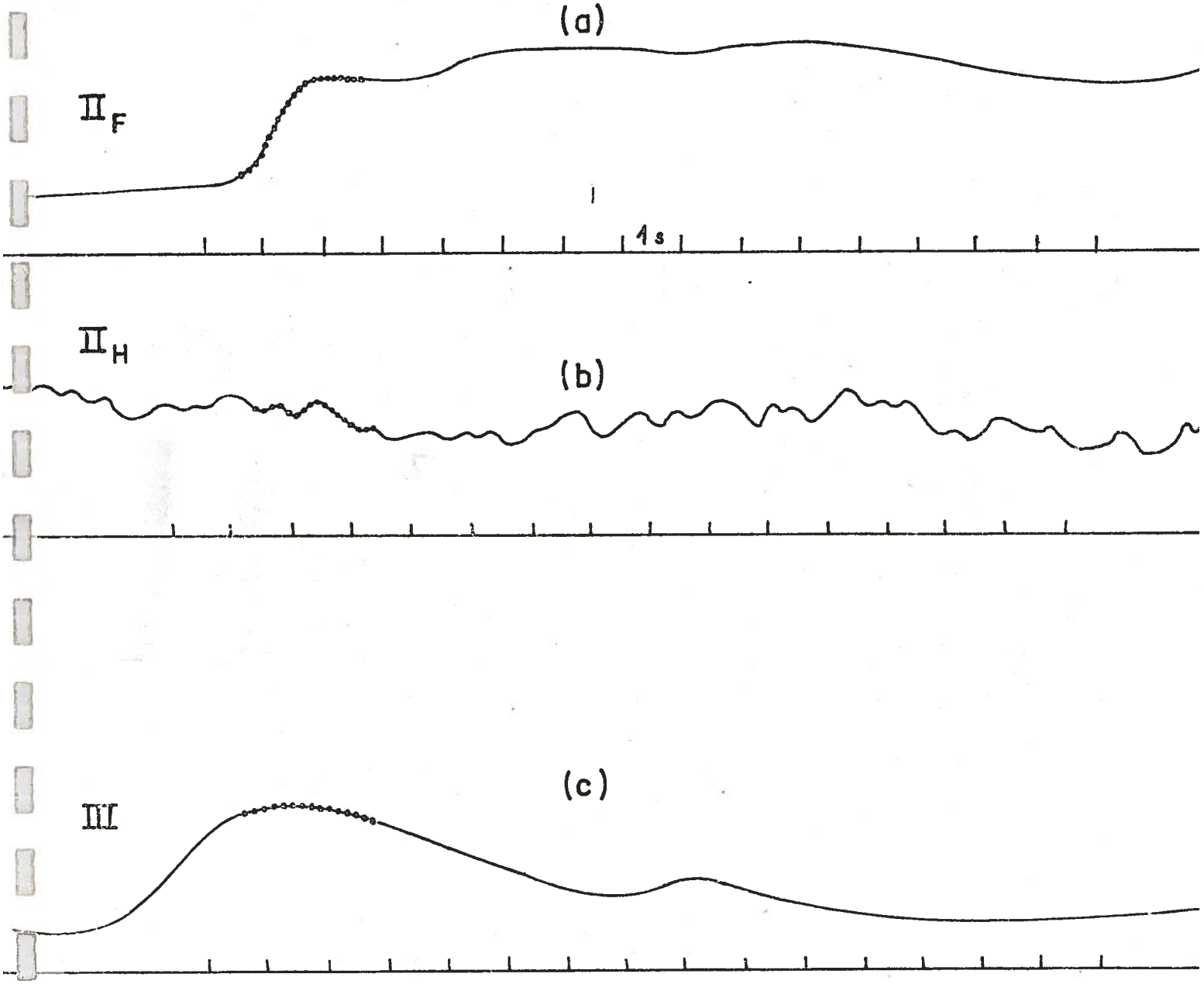


Fig. 22 Exemple d'émission du Soleil (4.3.73) enregistrée à Nançay(———)
et enregistrement que l'on obtiendrait avec le mode FIXLO (-•-•-•-)
(a)et (b) émission fondamentale et harmonique d'un type II
(c) émission d'une paire de sursauts de Type III

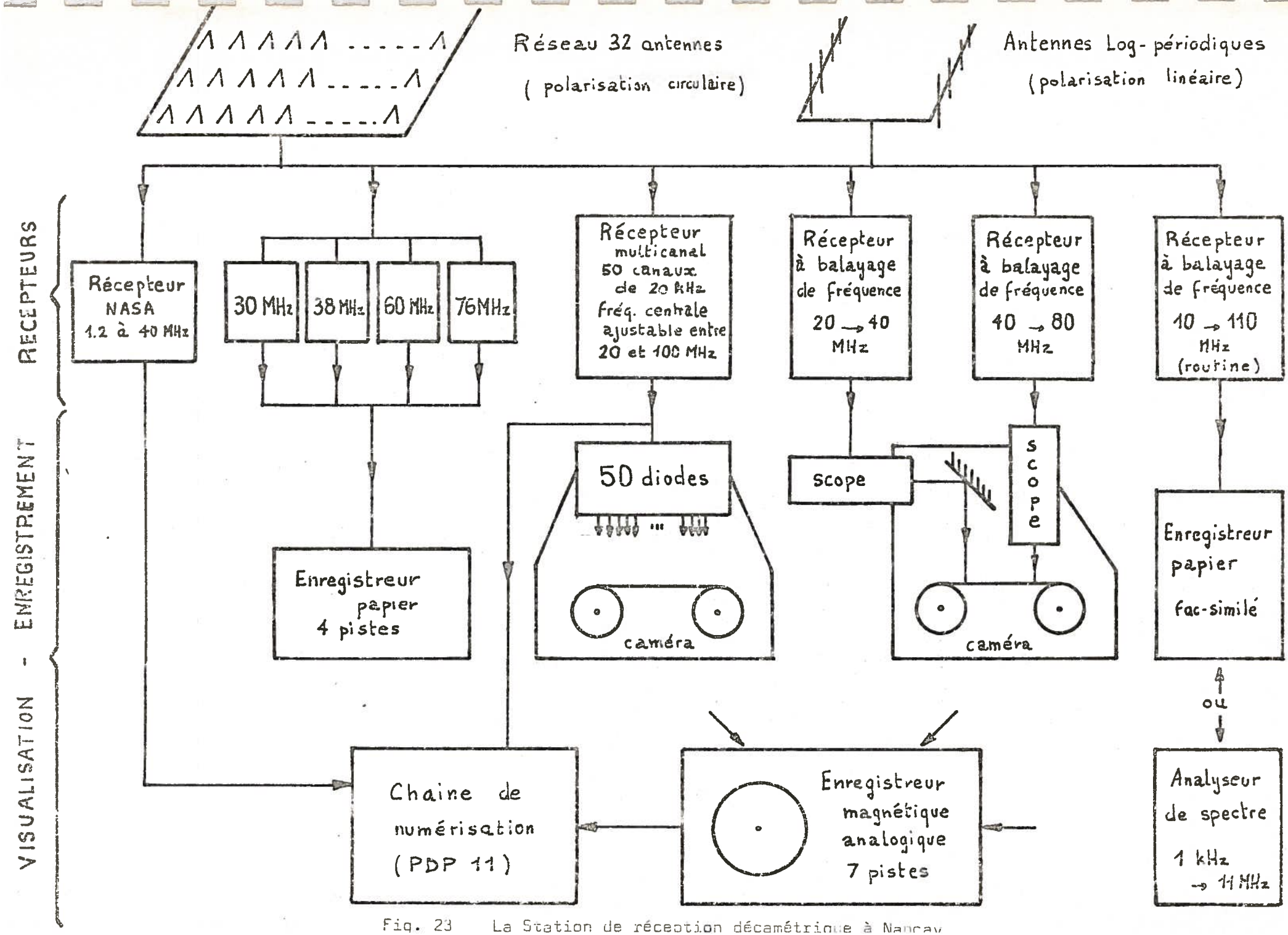


Fig. 23 La Station de réception décamétrique à Nançay