

## ETUDE INTERFEROMETRIQUE DES SOURCES D'ACTIVITE SOLAIRE SUR 3 CM DE LONGUEUR D'ONDE

M. R. KUNDU

*Observatoire de Meudon, Meudon (Seine-et-Oise), France*

Le rayonnement solaire sur ondes décimétriques et centimétriques est dû non seulement au rayonnement thermique de l'atmosphère solaire, mais aussi à un rayonnement dont la nature exacte est encore inconnue, et qui provient de régions émissives localisées sur le disque solaire. Le rayonnement global dans ce domaine de longueur d'onde augmente avec l'apparition de ces régions émissives sur le disque solaire et diminue avec leur disparition.

Parmi ces sources, les unes sont persistantes et associées plus ou moins étroitement aux taches et aux facules; les autres, les sursauts, ont une durée brève, de l'ordre de quelques minutes et accompagnent souvent les éruptions chromosphériques.

En vue de préciser la structure et les propriétés de ces régions, nous nous sommes proposés de mesurer sur 3 cm de longueur d'onde leur diamètre apparent, d'estimer leur distribution de brillance et de suivre leur évolution au cours du temps. Des observations effectuées entre 7.5 et 21 cm [1, 2, 3] montraient qu'il fallait s'attendre à des diamètres de l'ordre de quelques minutes pour les taches persistantes; aucune mesure n'existait pour les sursauts.

Pour obtenir des renseignements intéressants sur la distribution de brillance des sources solaires, un pouvoir séparateur de l'ordre de la minute est nécessaire, ce qui exigerait un miroir unique d'une centaine de mètres de diamètre. Nous avons réalisé un tel pouvoir séparateur par un dispositif interférométrique [4].

### 1. L'APPAREILLAGE

L'appareil qui a été construit est un interféromètre à 2 antennes en monture équatoriale disposées sur une base est-ouest et situées à une distance  $D = 60$  mètres l'une de l'autre. Le diagramme de réception d'un tel système est une suite de franges dont l'espacement angulaire, mesuré dans le plan équatorial, est variable avec l'angle horaire  $H$  et égal à  $\lambda/D \cos H$ . On sait qu'il permet de mesurer la composante de Fourier d'ordre  $n = (D/\lambda) \cos \delta \cos H$  de la distribution de brillance d'une source de déclinaison  $\delta$  qui se déplace dans le système de franges par suite du mouvement diurne. En utilisant deux antennes qui restent pointées sur le soleil au cours de la journée, on peut faire des observations pour différentes valeurs de  $H$ , et, par suite, ex-

plorer différentes régions du spectre de Fourier de la distribution angulaire de la brillance sans qu'il soit nécessaire de déplacer les antennes. La Fig. 1 montre un exemple des enregistrements des franges observées le même jour pour différentes valeurs de  $H$  ( $\delta = 23^\circ 26'$ ).

L'interfrange est minimum aux équinoxes à midi et égal à  $1.8$  ( $D = 1860 \lambda$ ). Pour des raisons pratiques, il ne peut guère dépasser une dizaine de minutes lorsque le soleil est assez bas sur l'horizon.

L'appareil comprend deux miroirs paraboliques de 2 mètres de diamètre à monture équatoriale. Etant donné la grande distance qui sépare les aériens, il est impossible de transmettre directement au récepteur central les faibles signaux reçus du soleil par chaque antenne sans les atténuer de façon excessive. Un changement de fréquence est donc assuré au voisinage des aériens en faisant battre les signaux solaires avec l'onde émise par un oscillateur local unique (klystron) de puissance suffisante et transmise par guide d'onde: ce système assure la cohérence de phase entre les signaux de fréquence intermédiaire (60 Mc/s) qui sont transmis par câbles coaxiaux au centre du dispositif.

Les franges observées au voisinage du coucher et du lever du soleil correspondent à des ordres d'interférence élevés; pour éviter leur brouillage, on utilise une bande passante limitée à 400 kc/s au moyen d'un filtre à trois cavités résonantes sur guide d'onde et d'un amplificateur à moyenne fréquence à bande étroite utilisant un second changement de fréquence. Le facteur de bruit du récepteur est de l'ordre de 8.5 db.

## 2. ETUDE DES SOURCES PERSISTANTES

Les variations de l'amplitude des franges au cours de la journée permettent par le procédé classique indiqué ci-dessus d'obtenir la distribution de brillance d'une source localisée. Ces mesures supposent évidemment que la source ne varie pas au cours de la mesure et qu'elle s'écarte peu de la symétrie circulaire: en effet, l'angle que fait le système de franges avec une direction liée à la source varie au cours de la journée; la comparaison des amplitudes des franges observées le matin et le soir pour le même interfrange, mais des inclinaisons différentes de l'axe du soleil, indique que ces conditions se trouvent souvent réalisées.

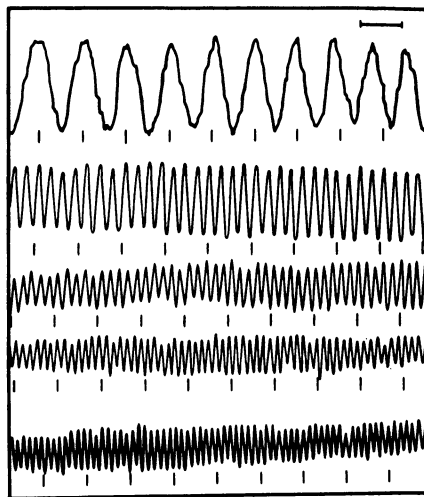


FIG. 1. Franges observées le 23 Juin 1957, pour les angles horaires 17, 31, 46, 60, et 82 degrés (de bas en haut); déclinaison du soleil  $+23^\circ 26'$ . L'échelle des temps est donnée par le segment horizontal dont la longueur représente 1 minute.

Autant que possible nous n'avons utilisé que les observations qui correspondaient à la présence d'une seule source sur le soleil, c'est-à-dire que nous avons éliminé les enregistrements où la présence de plusieurs sources se traduisait par des phénomènes de battements bien visibles.

### *Distribution de brillance*

La Fig. 2 montre la distribution de brillance calculée à partir des enregistrements pour quelques sources typiques. Les sources observées sont de diamètre voisin de 1'5, mais elles sont relativement intenses; leur température de brillance moyenne peut atteindre 500,000°K. D'autres sont plus larges, leur diamètre peut atteindre une dizaine de minutes et leur température équivalente est de l'ordre de 100,000°K. Ces chiffres sont en accord avec la température moyenne de 300,000°K calculée par Vauquois à partir du rayonnement global du soleil [5].

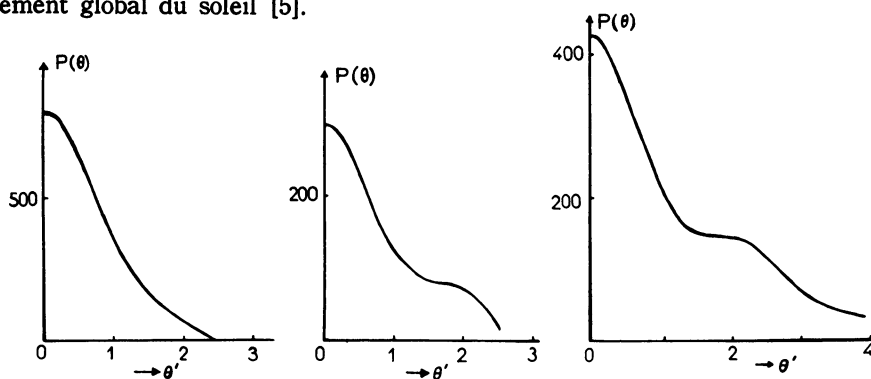


FIG. 2. Distribution de brillance de quelques sources typiques. La brillance  $P(\theta)$  est exprimée en unités arbitraires et  $\theta$  en minutes d'arc.

### *Relation avec les autres formes de l'activité solaire*

Nos mesures ne nous permettent pas de localiser avec précision sur le disque solaire les sources radioélectriques et de les associer sans ambiguïté à des phénomènes optiques. On peut remarquer cependant que les diamètres de ces sources correspondent assez bien à ceux des plages faculaires.

Pendant toute la période de nos observations, nous avons toujours observé la présence de sources larges sur le soleil, au contraire les sources étroites sont parfois absentes: en effet le matin et le soir, on observe toujours des franges qui augmentent d'amplitude avec l'angle horaire, au contraire il arrive que les franges soient imperceptibles vers midi quand l'interfrange effectif du dispositif est minimum, voisin de 2 minutes d'arc.

Nos mesures interférométriques ne nous permettent pas de dire si les sources étroites et les sources larges, quand elles sont observées simultanément (Fig. 2 par exemple), sont effectivement associées aux mêmes centres d'activité ou si elles coexistent par hasard sur le disque sans liaison particulière. Toutefois le fait que les enregistrements correspondants ne présentent pas de battement

nous conduit à penser que ces deux sources forment une même source complexe et composée d'une région étroite brillante associée à une zone d'émission plus diffuse.

D'une façon générale, nous avons trouvé que l'apparition des sources étroites était associée aux périodes de forte activité éruptive du soleil. Pour préciser quantitativement cette liaison, nous avons comparé les deux indices suivants: l'un est l'amplitude moyenne des franges observées au voisinage de midi exprimée en pourcentage du rayonnement solaire global. Ce chiffre donne une mesure de l'amplitude des sources de diamètre inférieur à 2 minutes d'arc environ; l'autre est le nombre des sursauts observés sur la longueur d'onde 3.2 cm pendant la même journée; on sait [6] qu'il existe une relation très étroite entre ces sursauts et les éruptions chromosphériques.

Le résultat de cette comparaison est indiqué par la Fig. 3. On voit que la probabilité d'observer des éruptions augmente régulièrement avec l'amplitude des sources étroites et cette relation pourrait être utilisée pour une certaine forme de prévision des éruptions chromosphériques.

Cette relation est encore précisée par un autre genre d'observations effectuées avec le même instrument. Quand un sursaut apparaît sur un enregistrement (Fig. 4a), il superpose son système de franges aux franges déjà existantes dues à la source localisée; sauf dans des cas très exceptionnels (Fig. 4b), les deux systèmes de franges sont confondus à la précision des mesures soit environ un quart d'interfrange, c'est-à-dire à peu près une

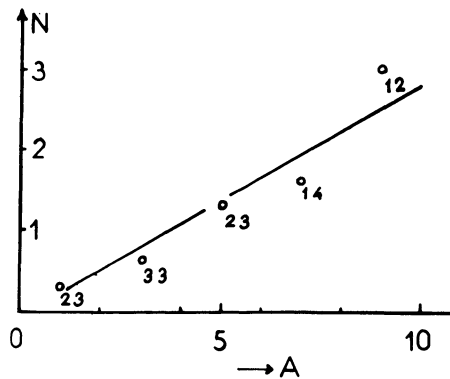


FIG. 3.  $N$ , nombre moyen des sursauts observés par jour;  $A$ , amplitude moyenne des franges (exprimée en pourcentage du rayonnement solaire global) observées au voisinage de midi. Les nombres des jours qui entrent dans les moyennes calculées pour chaque point sont indiqués à côté de ceux-ci.

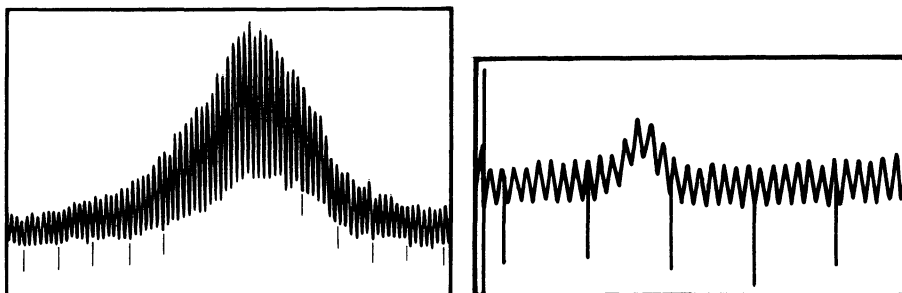


FIG. 4. (a) Exemple d'un sursaut dont le système de franges est en phase avec celui de la source pré-existante. (b) Exemple d'un sursaut dont le système de franges présente un décalage observable par rapport à celui de la source pré-existante. A noter la diminution de l'amplitude des franges pendant le sursaut, au lieu d'une augmentation observée en général.

demi-minute d'arc dans les plus mauvaises conditions. Ce résultat ne peut s'expliquer que si le sursaut prend naissance au sein même de la source brillante persistante. Nous n'avons observé de décalages bien nets entre systèmes de franges de la source et du sursaut que pour les "petits sursauts" [6] (Fig. 4b) qui apparaissent d'ailleurs eux aussi en période de forte activité solaire.

En définitive, on peut conclure qu'une source persistante est susceptible d'être un centre actif, siège d'éruptions chromosphériques et de sursauts radioélectriques si elle présente une région brillante et localisée de diamètre inférieur à quelques minutes sur longueurs d'onde centimétriques.

### 3. ETUDE DES SURSAUTS

En nous basant sur des observations faites en 1956-58 avec notre interféromètre, nous avons fait une étude systématique des sursauts du rayonnement solaire sur la longueur d'onde 3 cm, particulièrement des dimensions de leurs sources et de leur évolution au cours du temps. Il n'existe jusqu'à présent aucune mesure de dimensions des sursauts sur aucune longueur d'onde, sauf des mesures très récentes de Wild et Sheridan [7] sur ondes métriques.

#### *Classification*

On sait que les sursauts sur ondes très courtes présentent essentiellement au moins trois aspects distincts:

Type *a*: le sursaut simple le plus typique d'une durée de l'ordre de quelques minutes.

Type *b*: le *post-burst* qui se présente comme une augmentation d'intensité, qui suit immédiatement le sursaut de type *a* et dure plus longtemps que lui.

Type *c*: le *gradual rise and fall* qui se présente comme une augmentation relativement faible et graduelle de l'intensité, suivie d'une diminution également assez lente. La durée totale de ce phénomène est supérieure à celle des sursauts de type *a*.

Nos mesures ont permis de distinguer trois autres types de sursauts:

1. De grands sursauts assez rares, très souvent complexes, qui se produisent en même temps que les sursauts de type IV sur ondes métriques [5] (par exemple les 16 et 20 Novembre 1956, les 1er et 3 Juin 1957, les 3 et 23 Mars 1958) et sont sans doute de même nature [9]: dans la plupart des cas, ils ont un grand diamètre et ils sont toujours polarisés. La Fig. 9 montre l'évolution d'un grand sursaut associé à un sursaut de type IV sur 169 Mc/s.

2. Des sursauts doubles, bien caractérisés, dont les deux composantes se suivent à 1 minute d'intervalle environ, et possédant des caractéristiques (durée, intensité, dimension) très voisines, comme montre le Tableau I. La Fig. 5 représente l'enregistrement d'un sursaut double typique.

Il paraît difficile d'expliquer les caractères assez comparables de chaque sursaut individuel du sursaut double. Une hypothèse avancée par Jaeger et Westfold [10] suppose que si le centre émissif d'un sursaut se trouvait bien

TABLEAU I

Date	Intensité		Durée		Intervalle $D$	Inter- frange	Visibilité	
	$I_1$ %	$I_2$ %	$D_1$ m s	$D_2$ m s			$V_1$ %	$V_2$ %
1956 Sep. 16	13	17	21	24	30	1:9	45	40
Nov. 17	28	20	45	48	1 33	1:9	40	45
1957 Jan. 17	24	26	1 00	1 15	1 33	3:0	100	100
Jan. 21	20	22	1 45	2 00	4 06	3:2	50	70
Jan. 25	29	42	2 00	2 06	2 15	2:0	40	60
Sep. 19	16	30	1 15	1 30	1 00	2:0	40	60
Sep. 21	25	29	1 15	1 45	57	2:5	—	—

au-dessus de la couche d'indice de réfraction zéro, on pourrait observer un écho du sursaut par réflexion. Mais le temps que nous observons entre les deux sursauts, qui est en moyenne de l'ordre de la minute paraît trop grand pour justifier cette hypothèse. On pourrait peut-être supposer que le centre émissif donne naissance aux deux sursauts l'un après l'autre; mais là aussi, il serait difficile de comprendre comment les deux sursauts individuels pourraient avoir des intensités, durées et dimensions aussi comparables. On pourrait peut-être interpréter les sursauts doubles par un dédoublement pouvant se produire par exemple par réflexion ou réfraction d'une onde de choc. Peut-être qu'une étude statistique détaillée des phénomènes permettra d'aboutir à quelque conclusion lorsqu'une quantité suffisante d'observations la rendra possible.

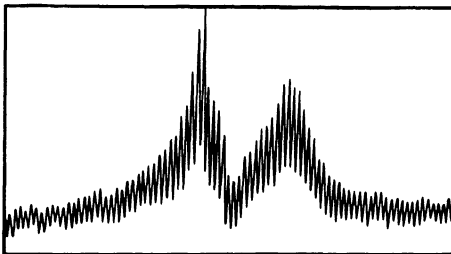


FIG. 5. Enregistrement d'un sursaut double. L'échelle des temps est indiquée par le segment horizontal dont la longueur représente 1 minute.

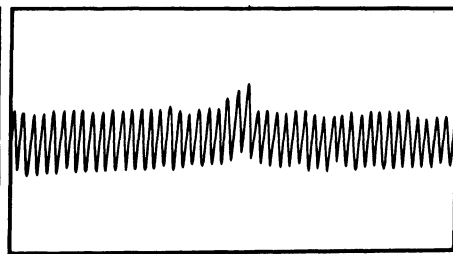


FIG. 6. Enregistrement d'un sursaut de très faible intensité. A noter l'augmentation de l'amplitude des franges avec l'augmentation du niveau pendant le sursaut.

3. Nous avons de plus confirmé l'existence réelle des sursauts de très faible intensité déjà signalés sur 10 cm par A. E. Covington [11] dont les mesures ne permettaient pas d'affirmer l'origine solaire. En effet, avec une antenne unique, il est souvent difficile de distinguer ces sursauts des parasites extérieurs ou des instabilités qui peuvent se produire dans le récepteur; mais avec l'interféromètre, il est facile de les reconnaître, parce qu'ils se manifestent généralement par une modification de l'amplitude des franges. La Fig. 6 montre un exemple typique.

### Dimensions

Pendant toute la durée d'un sursaut, l'interfrange de l'interféromètre ne varie pratiquement pas et la mesure de la visibilité des franges observées permet de calculer une dimension effective de la source du sursaut [12] et d'étudier éventuellement les variations de cette dimension au cours du phénomène à condition de lui supposer une structure régulière.

Nous avons d'abord mesuré les dimensions de tous les sursauts observés au moment de leur maximum d'intensité; les résultats de ces mesures sont résumés dans la Fig. 7, où sont portés en ordonnées les diamètres moyens des sursauts en fonction de leur intensité. On voit que le diamètre de la source augmente légèrement avec son intensité. Les diamètres supérieurs à 2.5 sont rares.

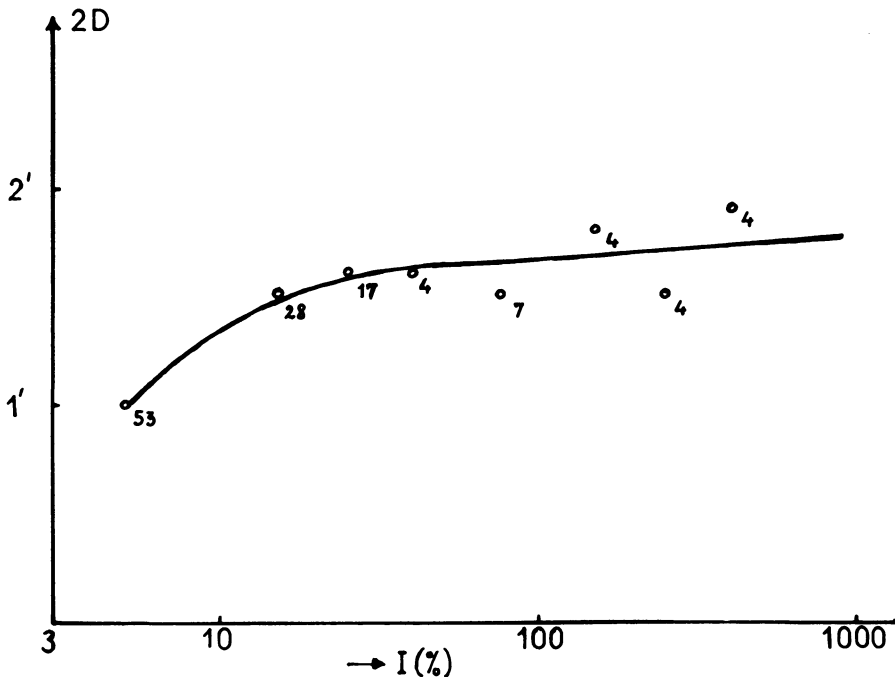


FIG. 7. Diamètre moyen ( $2D$ ) des sursauts en fonction de leur intensité maximum ( $I$ ).  $2D$  est exprimé en minutes d'arc et  $I$  en pourcentage du rayonnement global du soleil. Les nombres des sursauts qui entrent dans les moyennes calculées pour chaque point sont indiquées à côté de ceux-ci.

Comme ces mesures de diamètres correspondent à l'instant du maximum d'intensité on peut dire que, sauf pour les sursauts de type *c* (*gradual rise and fall*), elles concernent essentiellement le diamètre d'une émission du type *a*. On peut donc conclure qu'en moyenne les sources des émissions de type *a* ont un diamètre de l'ordre de 1.0 lorsqu'elles sont de faible intensité (inférieure à 10 pour cent du soleil calme) et de l'ordre de 1.6 lorsqu'elles sont plus intenses.



Nous avons étudié séparément les diamètres des émissions de type *b* et *c*. Sur la Fig. 8 sont portés les nombres des sursauts de chacun des types correspondant à une visibilité donnée (sauf pour quelques sursauts de type *b*, ces visibilités correspondent à un interfrange de 2' environ). On voit qu'ils se séparent nettement en deux familles: les types *b* (*post-burst*) correspondent à une faible visibilité, et par conséquent à un grand diamètre; les types *c* (*gradual rise and fall*), au contraire, présentent une très grande visibilité, 70 pour cent en moyenne, qui correspond à de faibles diamètres de l'ordre de 0.8.

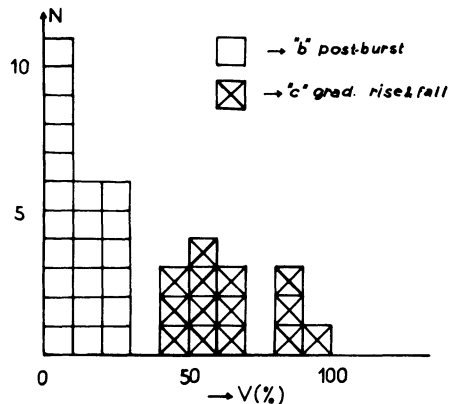


FIG. 8. Répartition du nombre (*N*) des sursauts de types *b* et *c* en fonction de leur visibilité (*v*).

On peut remarquer que ces sursauts correspondent souvent à des visibilités soit très faibles (< 20 pour cent), soit très grandes (> 90 pour cent), qui ne permettent que d'estimer des limites supérieures ou inférieures de leur diamètre.

Jusqu'à présent, on pouvait penser que les sursauts de types *b* et *c* d'aspect comparable étaient de même nature. Nos mesures de diamètre apparent résumés dans le Tableau II montrent que les deux types d'émission se distinguent nettement par leur diamètre. Notons que tous ces diamètres sauf ceux de la dernière catégorie sont très inférieurs à ceux que Wild a mesurés sur ondes métriques [7] de l'ordre de 6 minutes d'arc ou plus.

TABLEAU II

Type de sursauts:	Précurseurs et <i>gradual rise and fall</i>	Sursaut <i>a</i> de faible intensité	Sursaut <i>a</i> moyen	<i>Post-burst</i> et type IV
Diamètre moyen:	0.8	1.0	1.6	> 2.5

*Evolution des dimensions*

Pendant la durée du sursaut, la visibilité de la source varie de façon complexe, ce qui, comme nous l'avons dit, correspond à des variations de dimensions de la source.

Lorsque le sursaut est de type *a* bien caractéristique, le diamètre apparent est minimum au voisinage du maximum d'intensité. Cette propriété peut s'interpréter en fonction des théories qui considèrent que le sursaut est lié à un phénomène de résonance du plasma coronal (oscillation de plasma ou gyrofréquence).

En effet dans cette hypothèse, le sursaut est maximum au moment où la



perturbation atteint un niveau bien défini qui présente la résonance sur la fréquence de réception. Avant ou après le maximum les émissions que l'on reçoit correspondent aux "ailes de la raie de résonance" et par suite leur origine dans la couronne est moins localisée.

Lorsque le sursaut présente un début progressif, la source a au contraire un diamètre plus faible avant et après le maximum d'intensité, ce qui suggère que l'on a à faire dans ce cas à la superposition d'un sursaut de type *a* et d'un sursaut de type *c*, ce dernier étant en général d'une plus longue durée, moins intense et de faible diamètre apparent.

Nous avons d'autre part observé des sursauts complexes qui présentent parfois une visibilité remarquablement constante, malgré les grandes variations d'intensité; il faut en conclure que la source d'émission dans ce cas présente de grandes variations de brillance sans variation de diamètre.

Les variations plus complexes de la visibilité pendant la durée du sursaut peuvent en général s'interpréter par la combinaison des 3 types fondamentaux d'émissions que nous avons signalés plus haut.

Etudions par exemple l'évolution en intensité et en dimension d'un sursaut très complexe observé le 20 Novembre 1956 et l'un des plus importants que nous ayons enregistré. Il était associé à un sursaut de type IV sur 169 Mc/s; sur la Fig. 9 sont portées l'intensité et la visibilité de ce sursaut en fonction du temps.

Le sursaut commence à  $10^h02^m27^s$  T. U. avec un précurseur. A ce moment, c'est une source presque ponctuelle, la visibilité est de 90 pour cent pour un interfrange de 2 minutes d'arc.

Le grand sursaut radio commence à  $10^h08^m$  et atteint son maximum d'in-

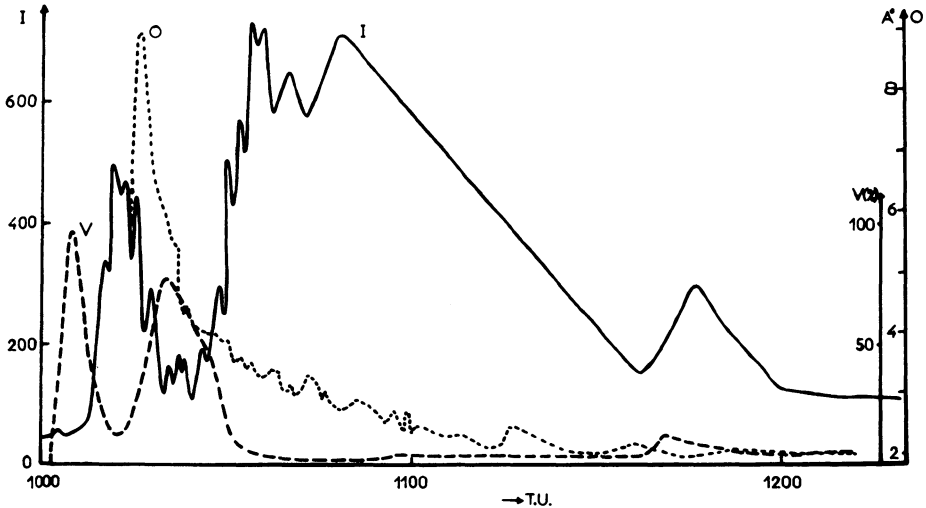


FIG. 9. Variation en fonction du temps du niveau global (*I*) et de la visibilité (*v*) pendant le sursaut du 20 Novembre 1956. Sur la même figure est portée la courbe de lumière (*O*) de l'éruption correspondante.

tensité à 10<sup>h</sup>12<sup>m</sup>. A ce moment la visibilité est de l'ordre de 20 pour cent indiquant ainsi que la source s'élargit beaucoup. Le grand sursaut semble se terminer vers 10<sup>h</sup>20<sup>m</sup> en même temps que la source devient plus étroite, la visibilité est alors de 70 pour cent.

A 10<sup>h</sup>26<sup>m</sup>, le niveau augmente de nouveau avec une extrême rapidité et atteint son maximum vers 10<sup>h</sup>35<sup>m</sup>. A 10<sup>h</sup>51<sup>m</sup>, le niveau global commence à décroître régulièrement jusqu'à 11<sup>h</sup>38<sup>m</sup> où se produit une nouvelle augmentation du niveau, atteignant son troisième maximum à 11<sup>h</sup>46<sup>m</sup>. Ensuite, le niveau décroît sans arrêt pour revenir au niveau normal vers 13<sup>h</sup>.

Au cours de cette dernière période, la visibilité diminue d'abord très rapidement depuis sa valeur maximum 70 pour cent à 10<sup>h</sup>20<sup>m</sup> et à partir de 10<sup>h</sup>32<sup>m</sup>, reste très faible de l'ordre de 10 pour cent et à peu près constante.

Ces variations de l'intensité et de la visibilité pendant la durée du sursaut peuvent s'expliquer en admettant l'existence de plusieurs sources radioélectriques différentes: l'une est intense et a son maximum d'intensité vers 10<sup>h</sup>12<sup>m</sup>. C'est une source relativement large et son comportement permet de l'identifier à un sursaut de type *a*; l'autre est de faible intensité, de faible diamètre apparent, elle commence la première au moment du sursaut précurseur et dure encore vraisemblablement après la fin du sursaut de type *a* comme en témoigne l'augmentation de visibilité qui apparaît à ce moment-là. On peut la rattacher aux sursauts de type *c*.

La dernière phase de l'émission correspond à une source de diamètre très large qui se produit en même temps que l'émission de type IV observée sur 169 Mc/s: ces émissions varient parallèlement sur les 2 fréquences et sont certainement de même origine. Il n'est pas impossible que les émissions de type *b* (*post-burst*) puissent aussi être de même nature.

#### *Comparaison avec les phénomènes optiques*

L'intérêt de l'étude des sursauts sur 3 cm tient en partie au fait qu'aucune étude du même genre n'a été faite dans un domaine de longueur d'onde aussi voisin de l'optique. Les sursauts centimétriques et les éruptions optiques ont leur origine, tous les deux, dans la chromosphère. Il nous paraît donc intéressant de comparer leurs dimensions et leurs intensités au cours du phénomène.

Les dimensions de l'éruption optique sont plus petites que celles de l'éruption radio; ainsi les premières correspondent à quelques centaines de millièmes de l'hémisphère solaire, soit à un diamètre de l'ordre de la demiminute d'arc qui est inférieur à ce que nous trouvons pour la plupart des sursauts centimétriques (1 à 2 minutes d'arc). Les faibles diamètres des éruptions optiques sont plutôt comparables à ceux que nous mesurons sur les sursauts de type *c* (*gradual rise and fall*).

D'une façon générale nous avons pu remarquer qu'il n'y avait pas de liaison entre les sursauts de type *a* et l'évolution de l'intensité des éruptions optiques. Au contraire, il existe parfois un certain parallélisme entre les courbes de lumière de l'éruption optique et le rayonnement radioélectrique

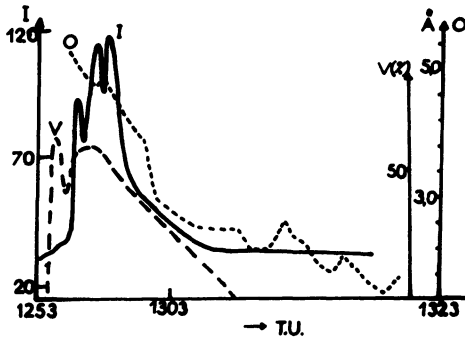


FIG. 10. Variation en fonction du temps du niveau global ( $I$ ) et de la visibilité ( $v$ ) pendant le sursaut du 1er Juin 1957. Sur la même figure est portée la courbe de lumière ( $O$ ) de l'éruption correspondante.

quand celui-ci provient d'une source de diamètre apparent très faible (Fig. 10). Par exemple, le 20 Novembre 1956, la courbe de lumière indiquée sur la Fig. 9 qui nous a été communiquée par l'Observatoire de Ondřejov, s'apparenterait plutôt à l'évolution de la source de type  $c$  de faible diamètre.

#### Température équivalente

La température équivalente des sursauts de type  $a$  observée sur ondes centimétriques peut atteindre plusieurs dizaines de millions de degrés; il est donc très probable qu'ils ne soient pas d'origine thermique, conclusion qui est en accord avec les observations des sursauts effectuées dans le domaine des ondes métriques. Il en est de même pour les grands sursauts associés aux types IV.

La température des types *gradual rise and fall* ne paraît pas excéder le million de degrés, il n'est donc pas exclu que ces émissions soient d'origine thermique. Il en est de même pour les *post bursts* et les petits sursauts de faible intensité.

#### 4. SUR LA POLARISATION DU RAYONNEMENT DES SOURCES SOLAIRES SUR ONDES 3 CM

La mesure de polarisation est très importante pour connaître le mécanisme des émissions radioélectriques. Des mesures de polarisation d'émission provenant de taches radio sur ondes centimétriques ont été effectuées par Covington [13] et Kakinuma [14]; enfin des mesures très récentes de la polarisation des sursauts centimétriques ont été également faites par Akabane et Hatanaka [15]. Ayant un grand pouvoir séparateur avec notre interféromètre, nous nous sommes proposés de mesurer la polarisation du rayonnement des sources solaires, en nous intéressant particulièrement aux mesures des dimensions des sources polarisées.

Pour mesurer cette polarisation, nous avons modifié notre dispositif interférométrique de manière à pouvoir changer la polarisation de l'une des deux antennes constituant l'interféromètre [16]. Cette antenne peut utiliser alternativement deux cornets dont les plans électriques sont parallèles ou perpendiculaires à celui de la seconde antenne. Nous dirons suivant les cas que les antennes sont en position "parallèle" ou "croisée."

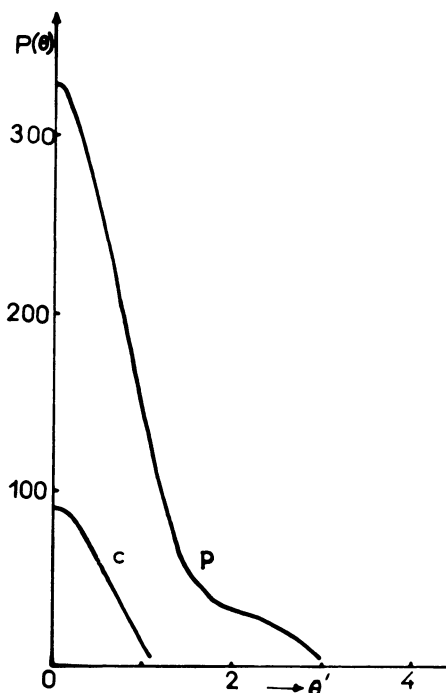
Le principe de mesure de polarisation avec un interféromètre est bien connu; Ryle et Vonberg [17] et Little et Payne-Scott [18] ont utilisé ce principe pour mesurer la polarisation du rayonnement des sources solaires sur ondes métriques. Il consiste à mesurer l'amplitude des franges dans les deux positions des antennes (parallèle et croisée) et la différence de phase entre les deux systèmes de franges. Ces mesures permettent de déterminer complètement l'état de polarisation de l'onde si celle-ci est complètement dépolariée ou polarisée circulairement; dans les autres cas, elles donnent simplement des indications sur l'état de polarisation.

#### *Polarisation du rayonnement des sources persistantes*

Nos observations nous ont montré que l'émission provenant des sources persistantes est parfois partiellement polarisée (Fig. 11) et que cette polarisation est circulaire. Ces résultats sont en accord avec les mesures de Covington ( $\lambda = 10$  cm) et Kakinuma ( $\lambda = 8$  cm).



FIG. 11. Enregistrement montrant la polarisation circulaire d'une source persistante. *P* = parallèle; *C* = croisée.



Nos mesures interférométriques nous ont permis d'obtenir un résultat intéressant: la *composante polarisée du rayonnement des sources persistantes provient d'une région relativement étroite et brillante.*

En effet, l'amplitude des franges en position "croisée" n'augmente que très légèrement vers le matin et le soir par rapport à midi, alors qu'elle augmente beaucoup en position "parallèle." La différence de phase entre les deux systèmes des franges ne change pas au cours de la journée, la polarisation de l'onde étant toujours circulaire. Pour préciser ce fait, nous

FIG. 12. Distributions de brillance d'une source polarisée en position parallèle (*p*) et en position croisée (*c*). La brillance  $P(\theta)$  est exprimée en unités arbitraires et  $\theta$  en minutes d'arc.

avons calculé les distributions de brillance du rayonnement polarisé à partir des franges obtenues en position croisée. Un cas typique est indiqué par la Fig. 12. On voit que la composante polarisée du rayonnement a un diamètre inférieur à 1.5, comparable à ceux des régions les plus étroites des sources persistantes, alors que la source du rayonnement total est beaucoup plus large.

Nos mesures montrent donc que ce sont les sources étroites ou bien les régions étroites et brillantes de sources complexes qui sont polarisées, les régions diffuses ne contribuant pratiquement pas à la polarisation du rayonnement. Le fait que la composante polarisée du rayonnement des sources persistantes augmente avec l'activité éruptive du soleil confirme ce résultat.

Nous avons vu plus haut que ces sources étroites apparaissent sur le soleil en période d'activité éruptive et nous avons pu vérifier directement sur une période d'une centaine de jours que l'intensité de la composante polarisée du rayonnement des sources persistantes croissait avec l'activité solaire; nulle pendant les périodes calmes, elle peut atteindre 30 pour cent pendant les périodes actives.

#### *Polarisation du rayonnement des sursauts*

Sur 3 cm de longueur d'onde, nous avons observé des sursauts polarisés (Fig. 13a) et des sursauts non-polarisés (Fig. 13b). Sur 42 sursauts dont nous avons mesuré la polarisation, 26 (soit 60 pour cent) étaient polarisés, le pourcentage de polarisation variant de quelques pour cent à 30 pour cent en général.

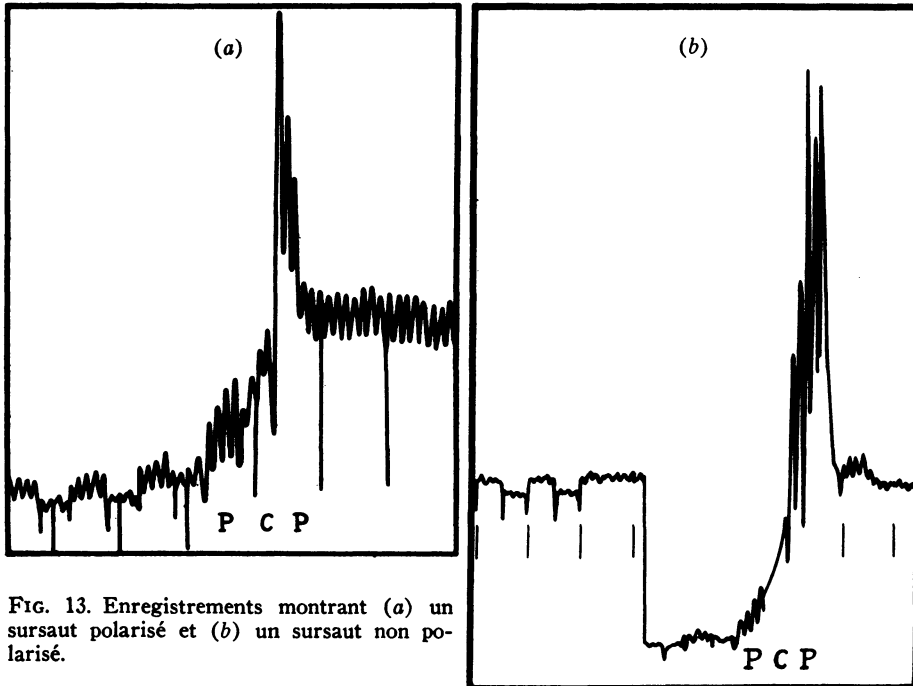


FIG. 13. Enregistrements montrant (a) un sursaut polarisé et (b) un sursaut non polarisé.

Ce n'est que dans quelques cas exceptionnels que nous avons observé des sursauts présentant une polarisation supérieure à 50 pour cent. Les polarisations de ces sursauts peuvent être circulaires ou elliptiques et nous avons même observé des cas de polarisation linéaire à la précision de nos mesures. La polarisation varie d'une manière complexe même au cours des sursauts. Notons enfin que les sursauts du type *gradual rise and fall* sont toujours circulairement polarisés comme les sources persistantes.

L'étude de la polarisation du rayonnement des grands sursauts centimétriques associés aux sursauts de type IV sur ondes métriques est particulièrement intéressante. Par exemple, le sursaut du 23 Mars 1958 est décrit par la Fig. 14 qui montre les variations en fonction du temps du niveau global du sursaut, de l'amplitude des franges en position "parallèle" et en position "croisée," et de la visibilité en position "parallèle."

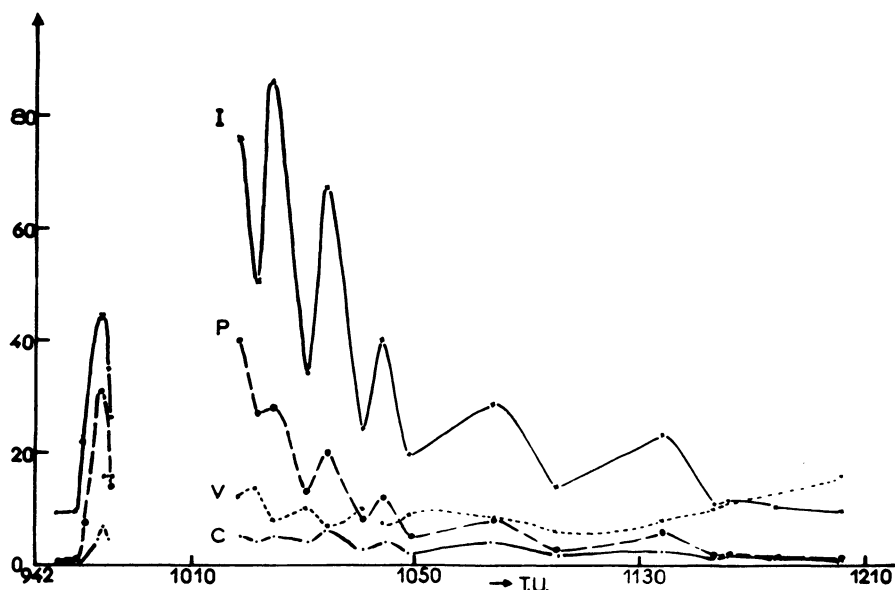


FIG. 14. Variation en fonction du temps du niveau global (*I*), de l'amplitude des franges en position parallèle (*P*), de l'amplitude des franges en position croisée (*c*) et de la visibilité (*v*) pendant un grand sursaut observé le 23 Mars 1958.

On voit que :

L'amplitude des franges en position "croisée" reste pratiquement inchangée au cours du sursaut, mais elle est beaucoup plus grande que celle qui existe avant le commencement du sursaut et qui correspond à la source pré-existante; ce rayonnement est polarisé circulairement.

Les franges en position "parallèle" ont une amplitude très variable.

La visibilité des franges en position "parallèle" reste pratiquement constante autour de 20 pour cent pour un interfrange de l'ordre de 2 minutes d'arc.

On peut en conclure que:

La source qui produit l'essentiel des grandes variations du sursaut n'est que très faiblement polarisée; son diamètre, de l'ordre de 2 minutes d'arc, varie peu.

La composante polarisée du rayonnement provient d'une source dont l'intensité est faible et presque constante; sa durée est plus grande que celle de la source précédente.

Enfin, il est important de noter que le sursaut laisse subsister après lui une source persistante fortement polarisée (plus de 50 pour cent) pendant une longue période: plusieurs heures dans le cas qui vient d'être décrit. Le même phénomène a été observé à l'occasion de plusieurs autres sursauts de forte intensité.

Les sursauts métriques de type II et III (*outbursts* et sursauts isolés) ne sont pas polarisés en général. Nos mesures de polarisation montrent que la plupart des sursauts centimétriques qui correspondent aux sursauts métriques sont polarisés. Il est intéressant de rappeler que des *outbursts* polarisés ont été également observés sur les ondes métriques [19].

#### REFERENCES

- [ 1 ] Tanaka, H., et Kakinuma, T. *Proc. Res. Inst. Atm. Nagoya U.* **3**, 84, 1955.
- [ 2 ] Covington, A. E., et Broten, N. W. *Ap. J.* **119**, 569, 1954.
- [ 3 ] Christiansen, W. N., et Warburton, J. A. *Aust. J. Phys.* **6**, 190, 1953.
- [ 4 ] Alon, I., Kundu, M. R., et Steinberg, J. L. *C.R.* **244**, 1726, 1957.
- [ 5 ] Vauquois, B. Thèse de Doctorat, Paris, 1958.
- [ 6 ] Kundu, M. R. Thèse de Doctorat, Paris, 1957.
- [ 7 ] Wild, J. P., et Sheridan, K. V. *Proc. I.R.E.* **46**, 160, 1958.
- [ 8 ] Boischot, A. *C.R.* **244**, 1326, 1957.
- [ 9 ] Boischot, A., et Denisse, J. F. *C.R.* **245**, 2194, 1957.
- [ 10 ] Jaeger, J. C., et Westfold, K. C. *Aust. J. Sci. Res. A* **3**, 376, 1950.
- [ 11 ] Covington, A. E., Dodson, H. W., et Hedeman, E. R. *Ap. J.* **119**, 541, 1954.
- [ 12 ] Arzac, J. A paraître dans *Optica Acta*.
- [ 13 ] Covington, A. E. *Proc. I.R.E.* **37**, 407, 1949.
- [ 14 ] Kakinuma, T. *Proc. Res. Inst. Atm. Nagoya U.* **4**, 78, 1956.
- [ 15 ] Akabane, K., et Hatanaka, T. *Nature*, **180**, 1062, 1957.
- [ 16 ] Pawsey, J. L. et Bracewell, R. N. *Radio Astronomy*. London (Oxford University Press), 1955.
- [ 17 ] Ryle, M., et Vonberg, D. D. *Proc. Roy. Soc. A* **193**, 98, 1948.
- [ 18 ] Little, A. G., et Payne-Scott, R. *Aust. J. Sci. Res. A* **4**, 489, 1951.
- [ 19 ] Cohen, M. H. *Proc. I.R.E.* **46**, 183, 1958.