

HISTORIQUE DES MESURES
DU RAYON SOLAIRE A CALERN
(OBSERVATOIRE DE LA CÔTE D'AZUR)
(1975 – 2006)

F.LACLARE
(2011)

A partir de 1974, nous développons à CALERN un programme d'astrométrie destiné au raccordement des systèmes de référence stellaire et dynamique. Dans ce but, l'astrolabe de DANJON était modifié pour permettre l'observation du Soleil. La précision des résultats obtenus, concernant notamment les éléments de l'orbite terrestre ou la position de l'équinoxe devaient rapidement (1979) confirmer la qualité instrumentale du nouvel astrolabe. C'est à partir de 1978 que la détermination du rayon solaire devenait l'axe principal du programme. Pour ce faire, l'observation du soleil était généralisée à plusieurs distances zénithales (11) par l'emploi de prismes réflecteurs d'angles stables en ZERODUR. L'ensemble de l'optique étant protégé du flux solaire par une lame en silice de densité voisine de 5; un filtre centré sur 538 nm. et de large bande passante (200 nm.) était situé en amont du micromètre. Les mesures CCD sur cet instrument étaient alternées aux mesures visuelles à partir de 1989.

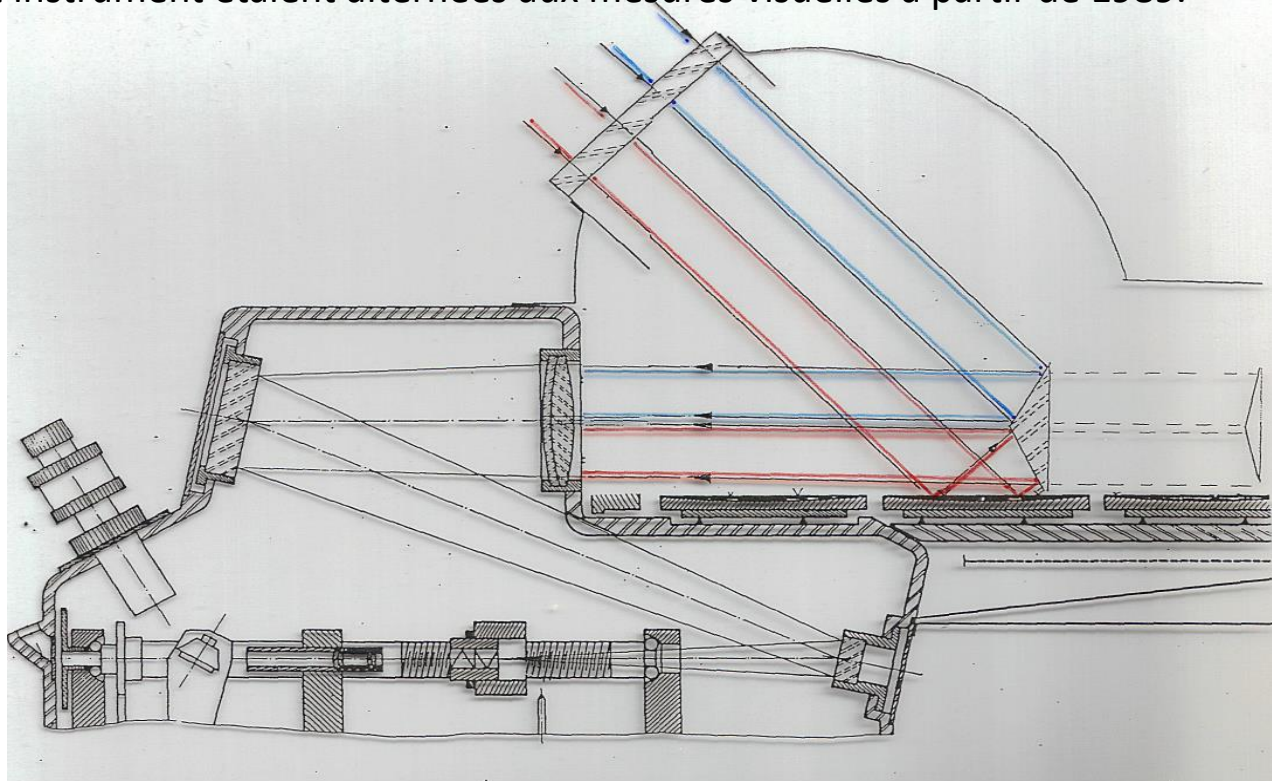
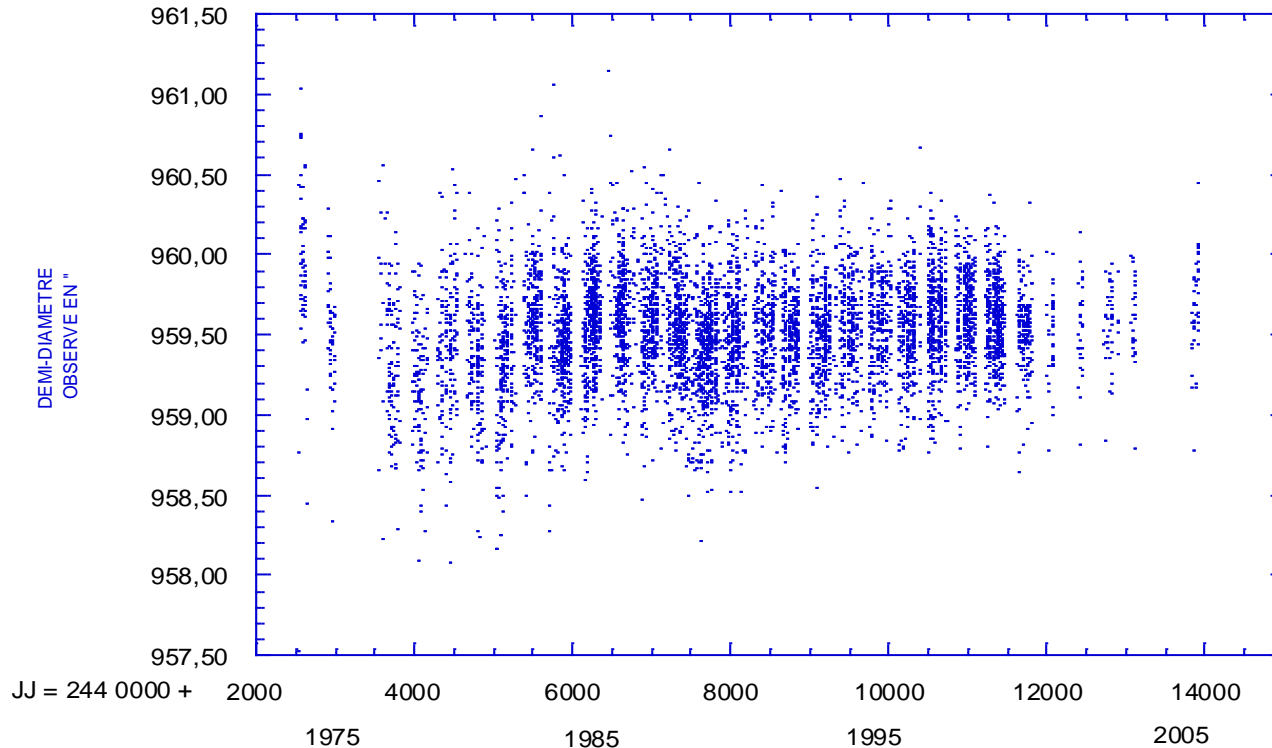


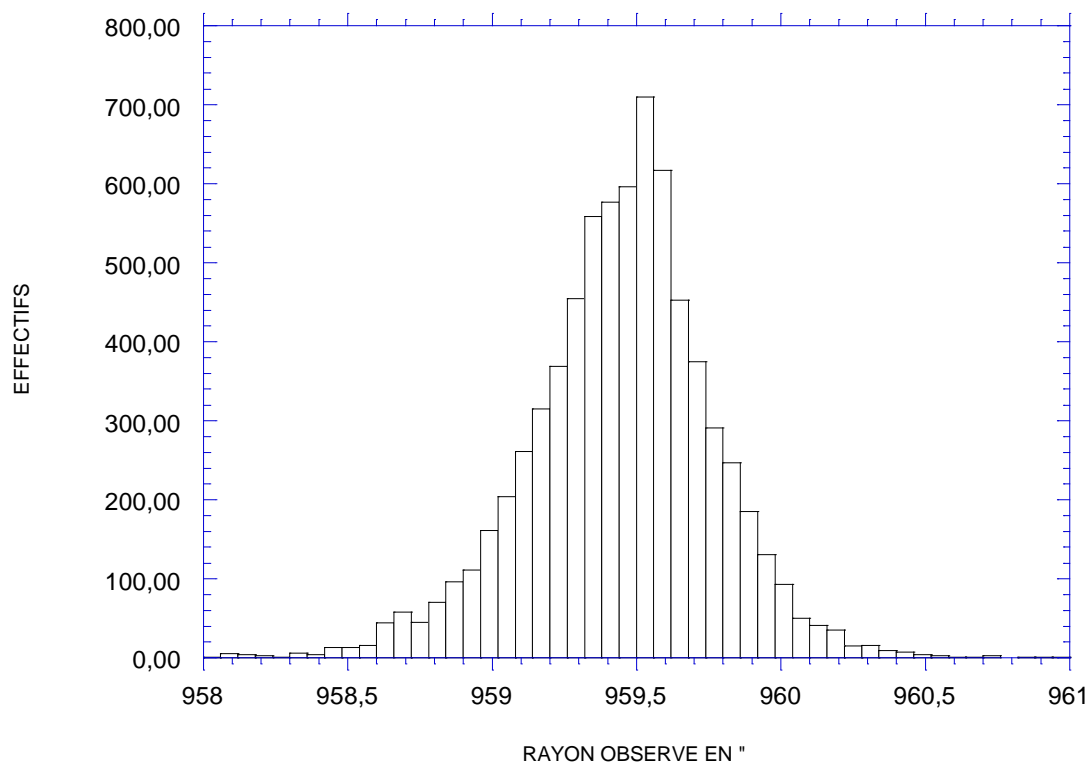
Schéma de principe de
l'astrolabe solaire de CALERN
(Mesures visuelles)



Les mesures du rayon solaire à l'Observatoire de CALERN ont commencé expérimentalement dès 1974 avec l'astrolabe de DANJON adapté aux seules observations du Soleil à 30° de distance zénithale. A partir de 1978 par l'emploi de prismes réflecteurs dont le nombre a progressé nous avons accès à de grandes distances zénithales, jusqu'à 70°. La valeur moyenne du rayon observé sur l'ensemble des 7279 mesures faites entre 1975 et 2006 est de 959".45. Cette valeur moyenne devient 959".52 compte tenu d'un effet dépendant de la hauteur du Soleil .

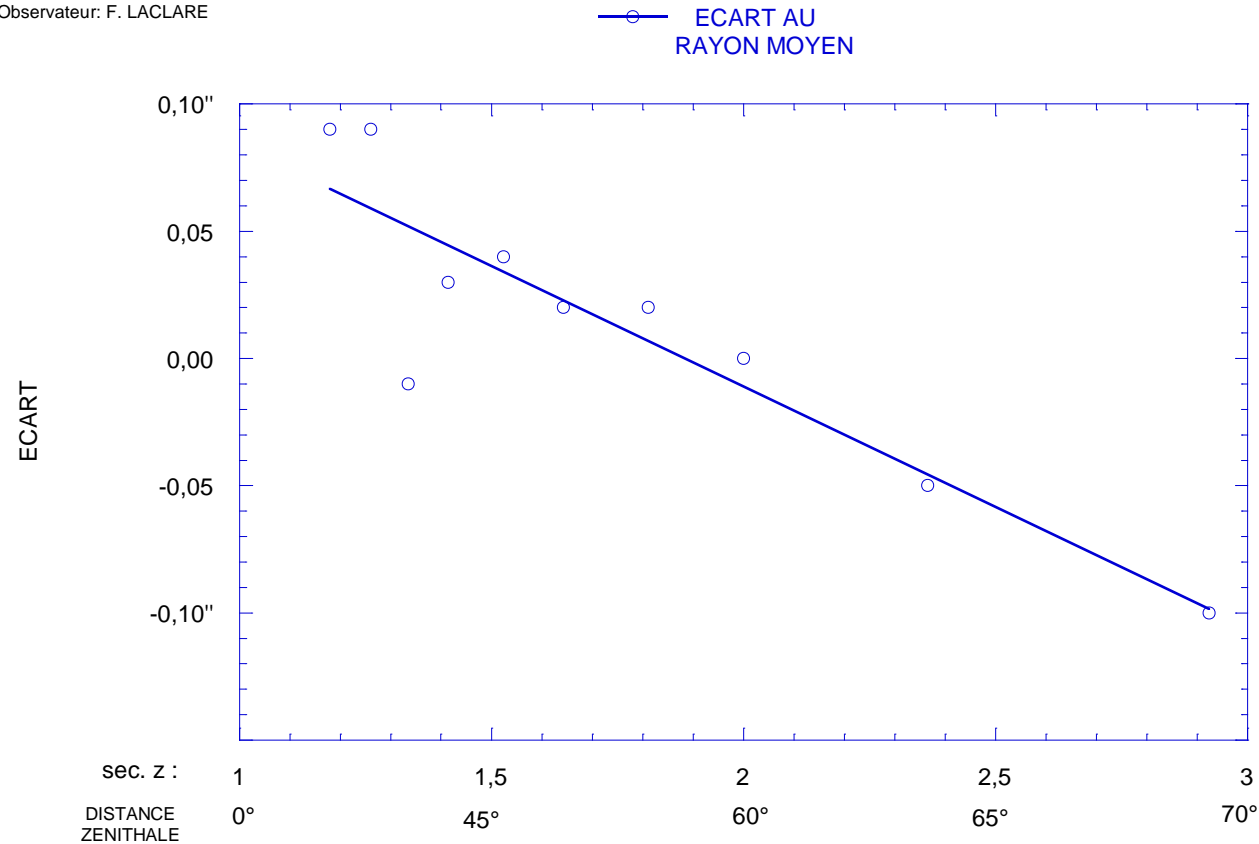
HISTOGRAMME ASTROLABE SOLAIRE

MESURES VISUELLES BRUTES
Observateur: F. LACLARE
RAYON MOYEN 1975-2006
(7279 Mesures, $R=959''.45 \pm 0''.004$, $SG=0''.32$)



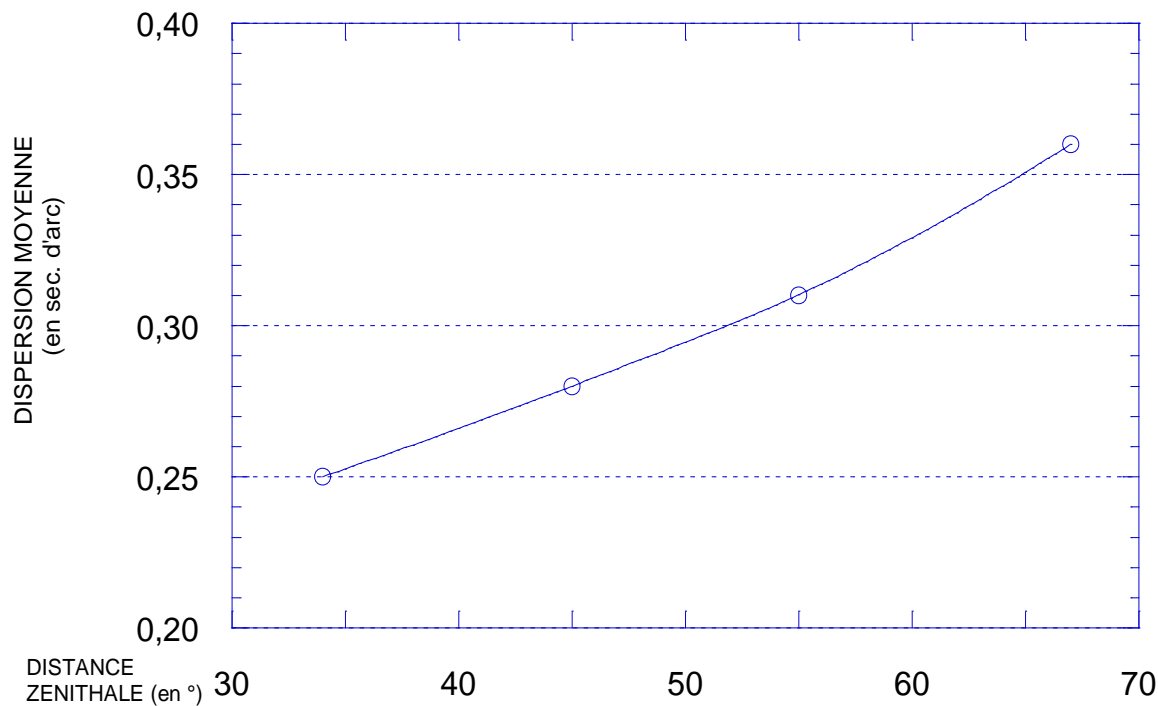
L'histogramme des mesures présente une légère dissymétrie négative, l'effectif plus grand des valeurs inférieures à la médiane rend compte du plus grand nombre d'observations à grandes distances zénithales et par conséquent de moindre qualité. Cette dissymétrie s'atténue quand l'ensemble des mesures est ramené au zénith.

DEMI-DIAMETRE ET DISTANCE ZENITHALE



Un effet systématique, lié à la distance zénithale d'observation affecte les mesures du rayon observé. C'est ainsi que les valeurs du rayon observé à faible distance zénithales sont supérieures à celles obtenues plus bas sur l'horizon d'environ 0''15. Nous savons, par des mesures CCD, que cet effet est à rapprocher de l'étalement de l'image et du retrait du point d'inflexion qui en résulte quand l'épaisseur de l'atmosphère augmente. Pour tenir compte de cet effet, et donc pour rendre la série plus homogène, les mesures « brutes » seront ramenées au zénith soit à $\text{sec.z}=1$.

DISPERSION DES MESURES ET DISTANCE ZENITHALE

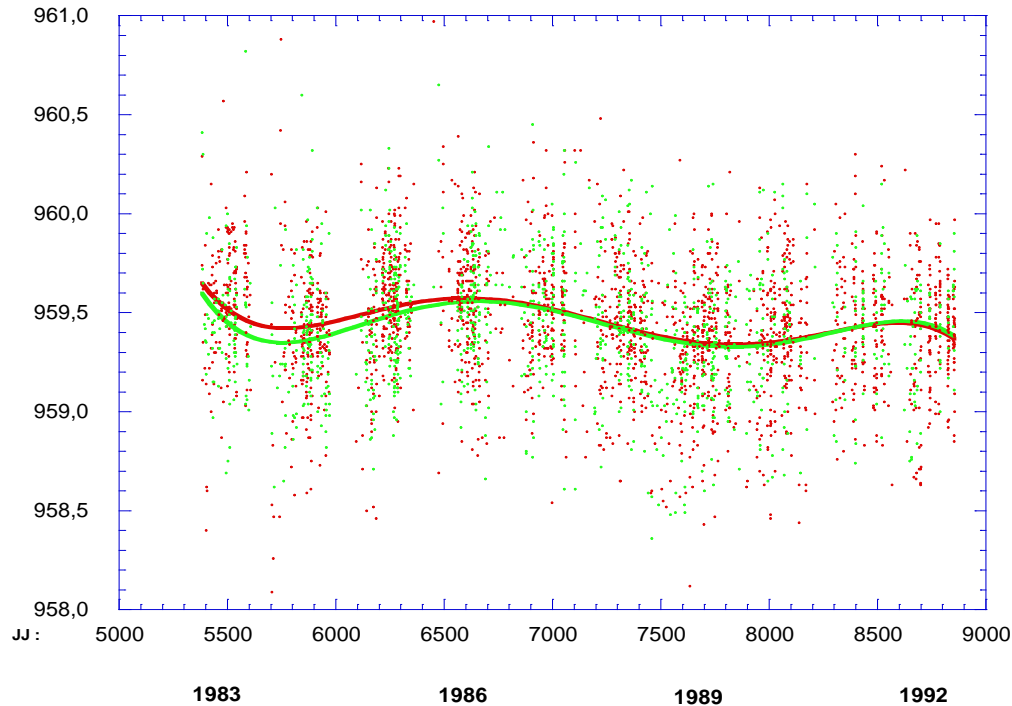


Comme on peut s'y attendre, les mesures à grandes distances zénithales sont de moins bonne qualité. Précisons que sur l'ensemble de la série la distance zénithale moyenne est de $53^{\circ}.5$. Nous n'avons pas souhaité pondérer les résultats des analyses pour prendre en compte cet effet.

— EST (2312)
— WEST (1303)

MESURES DU RAYON EST OU OUEST

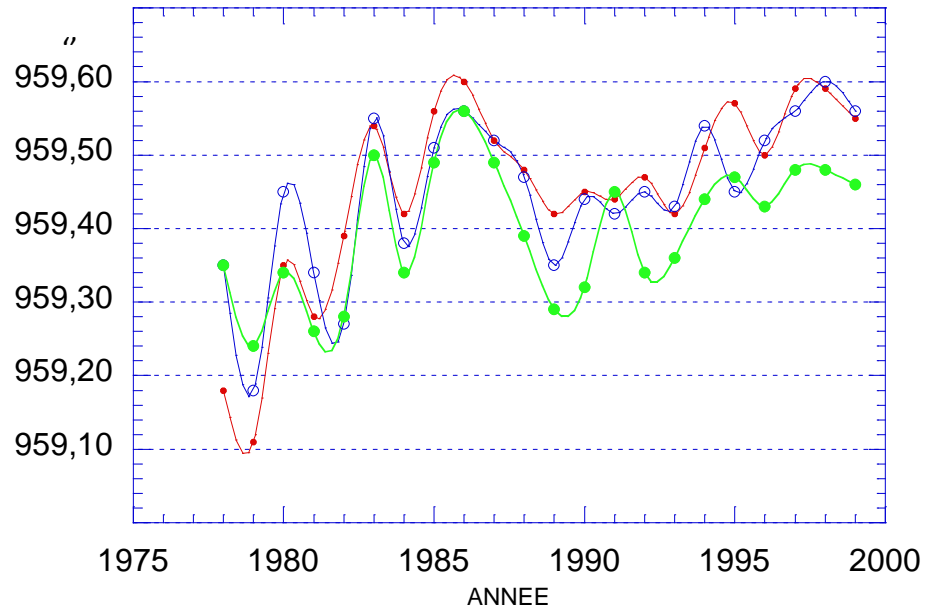
ASTROLABE SOLAIRE
MESURES VISUELLES
Observateur: F. LACLARE



Les observations sont réparties avant et après le passage au méridien. L'effectif des mesures faites l'après midi est sensiblement plus faible que celui du matin, d'environ 50%. Cette différence résulte de la plus forte nébulosité qui affecte le site de CALERN en deuxième partie de journée. Sur la période 1983-1992 la valeur moyenne du rayon est de 959".45 à l'EST et de 959".43 à l'OUEST. La dispersion des mesures est la même soit 0".32 pour chaque effectif.

VARIATIONS DU RAYON
ET DISTANCE ZENITHALE
1978 - 1999

—●— Z=56-70
—○— Z=45-52
—●— Z=30-41

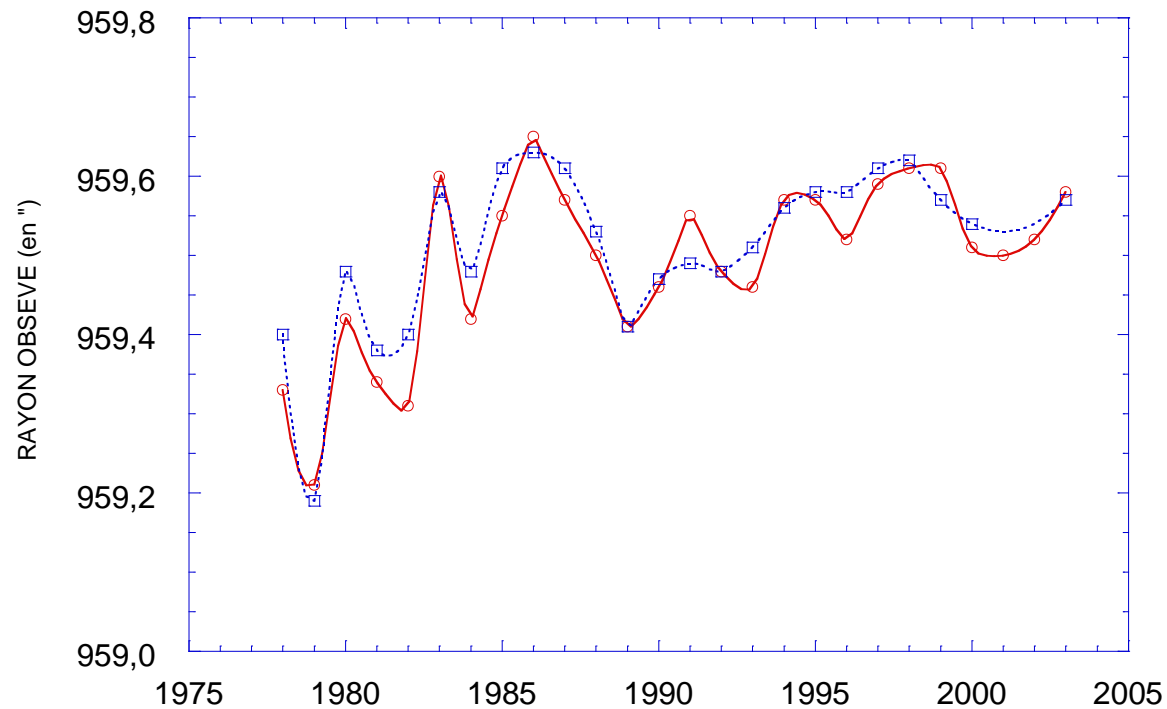


On remarque une bonne cohérence des variations du rayon moyen annuel en fonction des distances zénithales d'observation. Celles-ci étant regroupées en trois groupes depuis 30° jusqu'à 70°.

VARIATION DU RAYON ET INCLINAISON HELIOGRAPHIQUE 1978 - 2003

—○— POLAIRE (Inclinaison > 45°)
- - - □ - - - ROYAL (Inclinaison < 45°)

Moyennes annuelles du
rayon observé

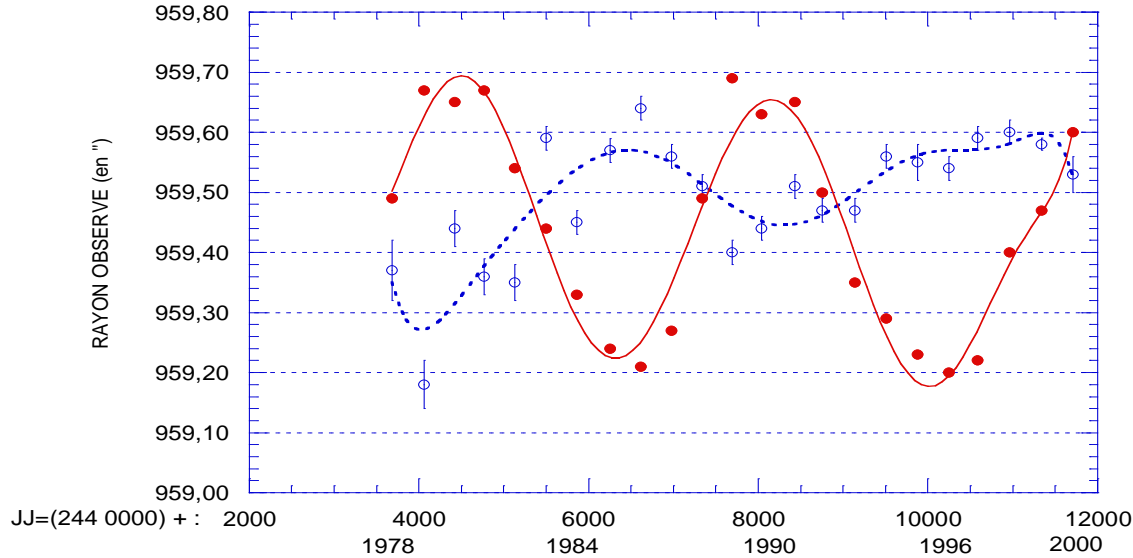


L'inclinaison du rayon observé sur l'équateur solaire (Inclinaison héliographique) varie dans le temps et avec la distance zénithale. On note que les variations du rayon sont quasiment identiques selon que leur inclinaison est supérieure ou inférieure à 45°.

sd diurne secz=1
SUNSPOT NUMBERS
(Echelle arbitraire)

VARIATIONS DU RAYON MOYENNES DIURNES 1978 - 2000

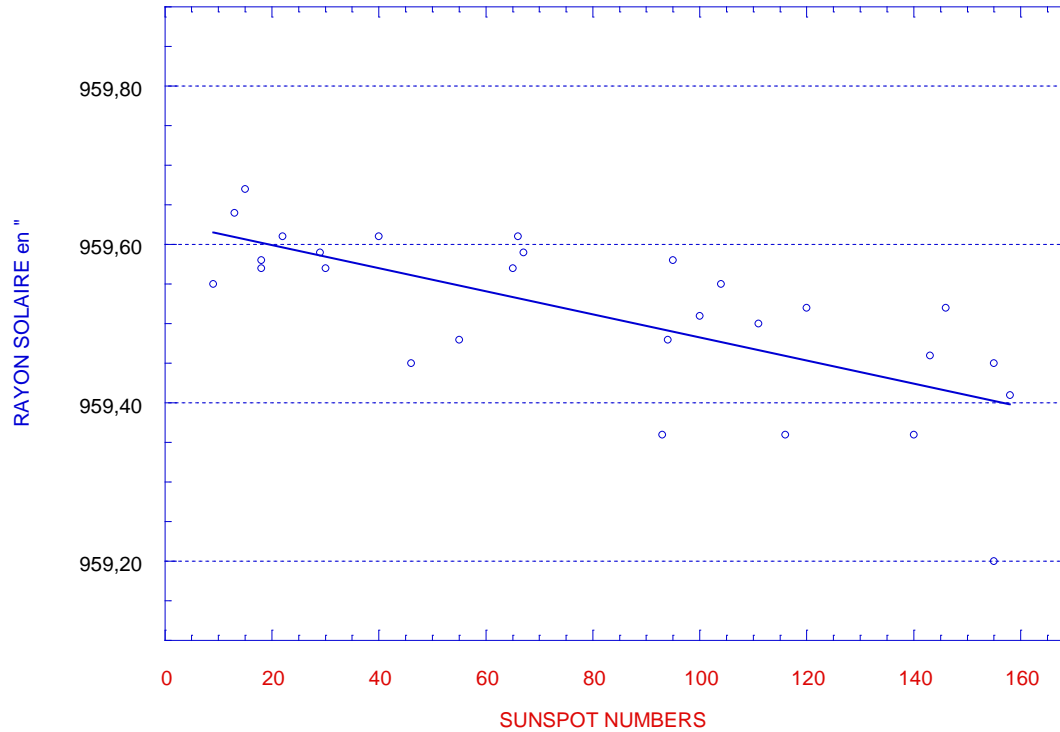
ASTROLABE SOLAIRE
MESURES VISUELLES
Observateur: F. LACLARE



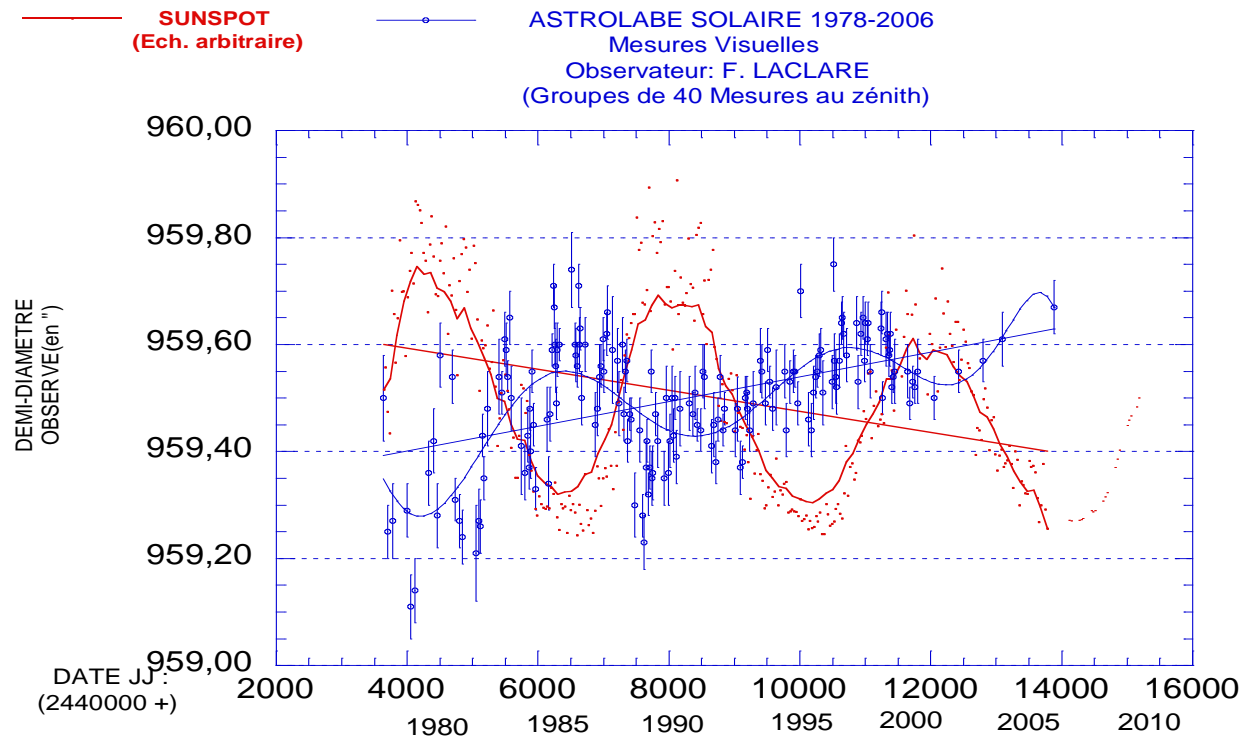
Dès les premières années de mesures le rayon observé à CALERN présentait une anti-corrélation apparente avec l'activité magnétique du Soleil . La répartition des valeurs moyennes diurnes établie annuellement entre 1978 et 2000 montre effectivement cette opposition de phases plus apparente durant les deux premiers cycles 21 et 22; la période calculée sur deux cycles est d'environ 11.2 ans. Plusieurs termes à plus court terme et signalés dès 1985 sont toujours présents sur la série. Parmi eux, le pic de période 1000 jours qui dominait nettement le spectre mais dont l'amplitude d'environ 0''.06 a diminué sensiblement et la période s'est décalée vers 1350 jours . Dans le même ordre d'amplitude, notons également la présence de signaux au voisinage de 5.4 ans et 8.2 ans. Rappelons que l'analyse faite au Brésil sur les observations de Sao Paulo, à la même époque, révélait également certaines de ces variations.

Il convient cependant de souligner, que cette durée de mesures est encore trop brève puisqu'elle ne couvre que 2 cycles d'activité, et que d'autre part, la distribution des observations n'est pas suffisamment continue pour garantir la fréquence et l'amplitude des signaux détectés par les analyses .

CORRELATION RAYON OBSERVE-ACTIVITE 1978 - 2006



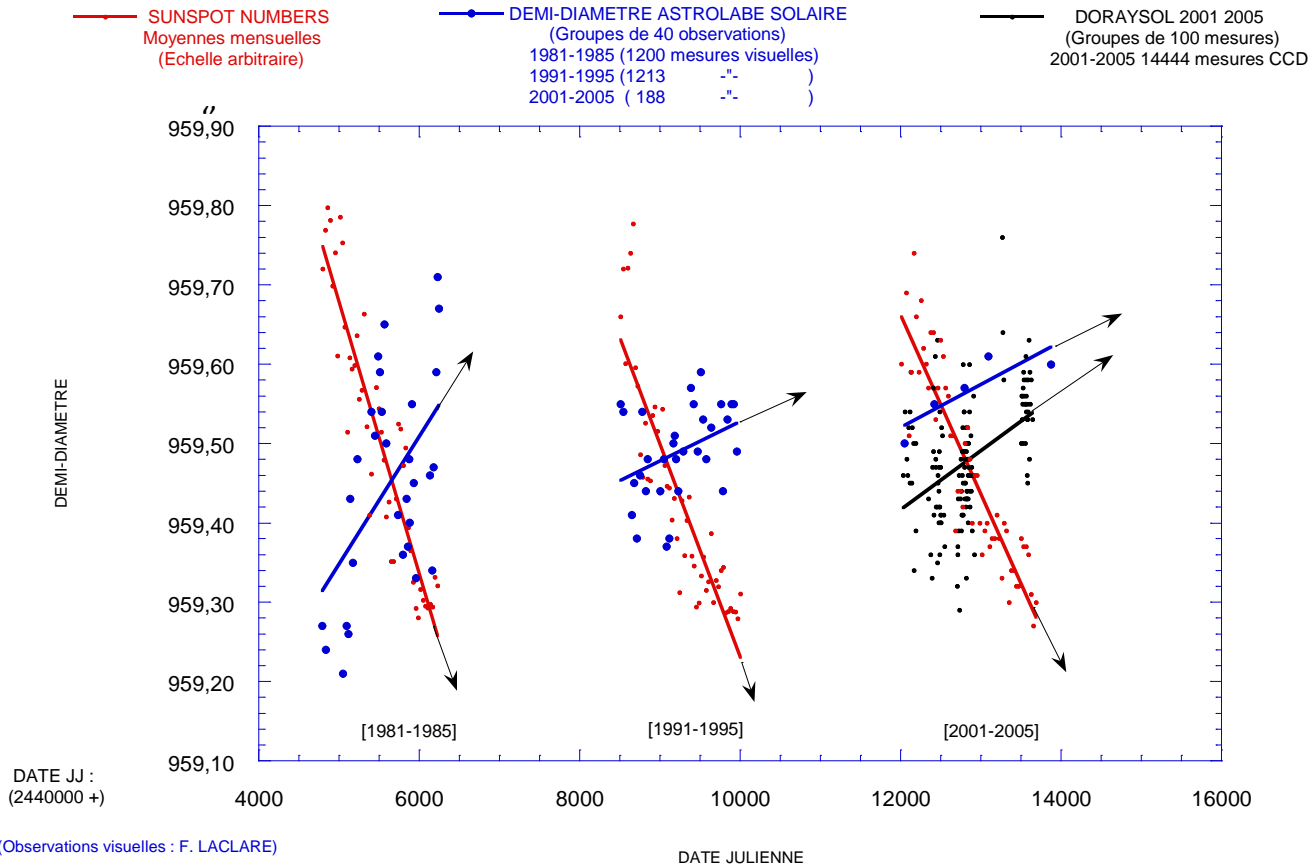
Le coefficient de corrélation calculé sur l'ensemble des moyennes annuelles des valeurs du rayon et du nombre de taches (Sunspot Numbers) est de 0.71



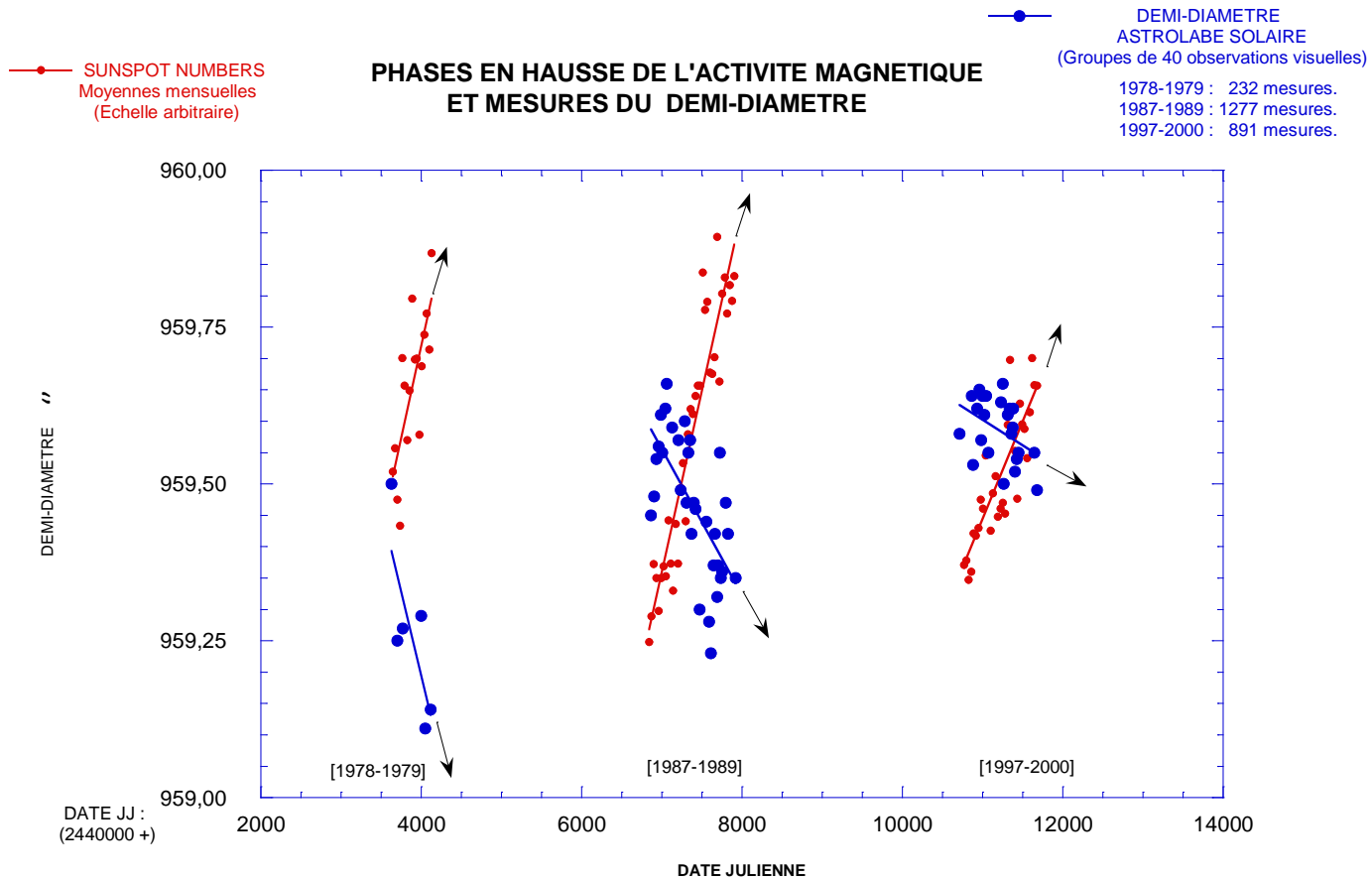
Les observations du rayon, réparties en moyennes de 40 mesures et approximées par un polynôme de degré 9, présentent sur l'ensemble de la série l'apparente anti-corrélation avec le cycle d'activité ; celle-ci étant plus marquée pendant les 10 premières années.

Les droites ajustées sur le rayon et l'activité ont des coefficients de pente voisins mais de signes opposés. ($+2.3 \cdot 10^{-5}$ pour le rayon et $-2.0 \cdot 10^{-5}$) pour l'activité. Sur cette période de 28 ans le rayon croît de $0''.23$ tandis que le « SUNSPOT NUMBER » décroît de 63.

PHASES EN BAISSSE DE L'ACTIVITE MAGNETIQUE ET DEMI-DIAMETRE



Sur les phases en baisse des cycles 21, 22 et 23 l'opposition de phase est présente. Le déclin moyen de l'activité sur les 3 séries est de 111 taches tandis que le rayon solaire croît d'environ 0''.17.



Observations visuelles : F. LACLARE

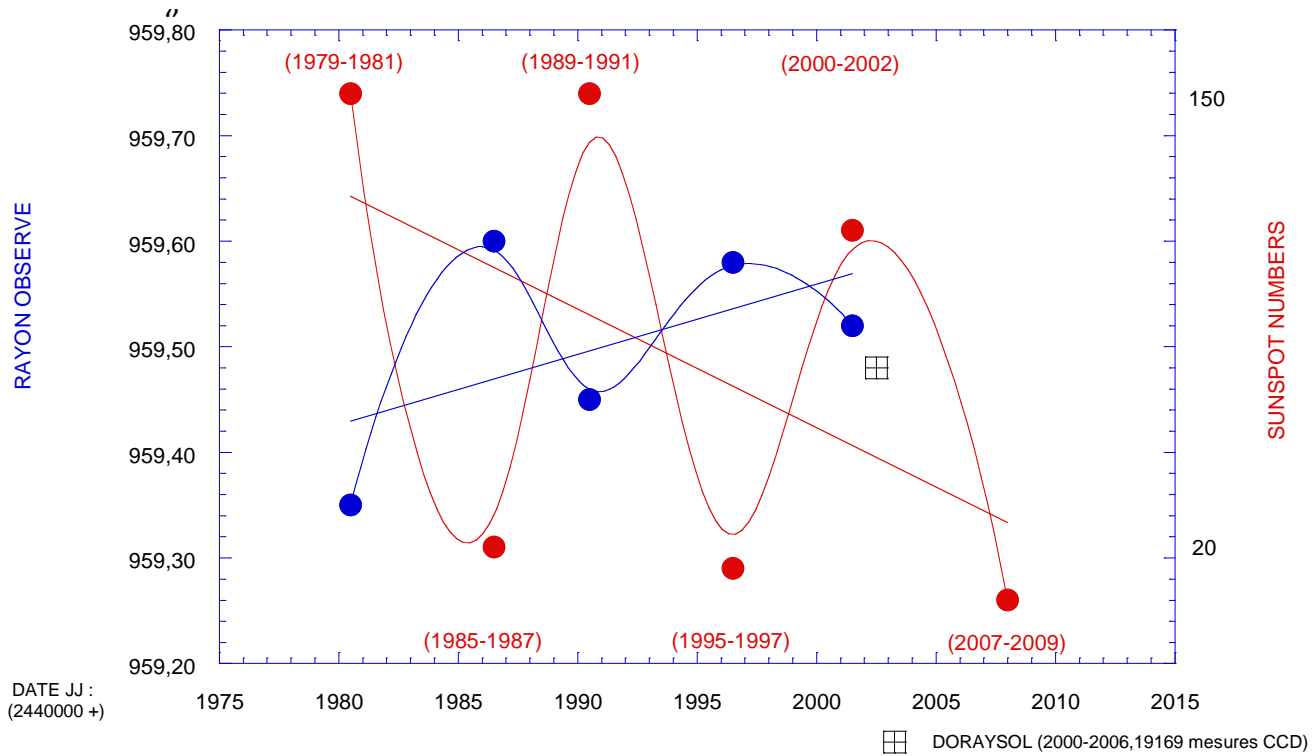
Sur les phases en hausse des cycles 21, 22 et 23 l'opposition de phase est encore présente. L'élévation moyenne de l'activité sur les 3 séries est d'environ 96 taches tandis que le rayon solaire décroît d'environ $-0''.25$.

● RAYON OBSERVE
 Astrolabe solaire
 (Observateur: F. LACLARE)

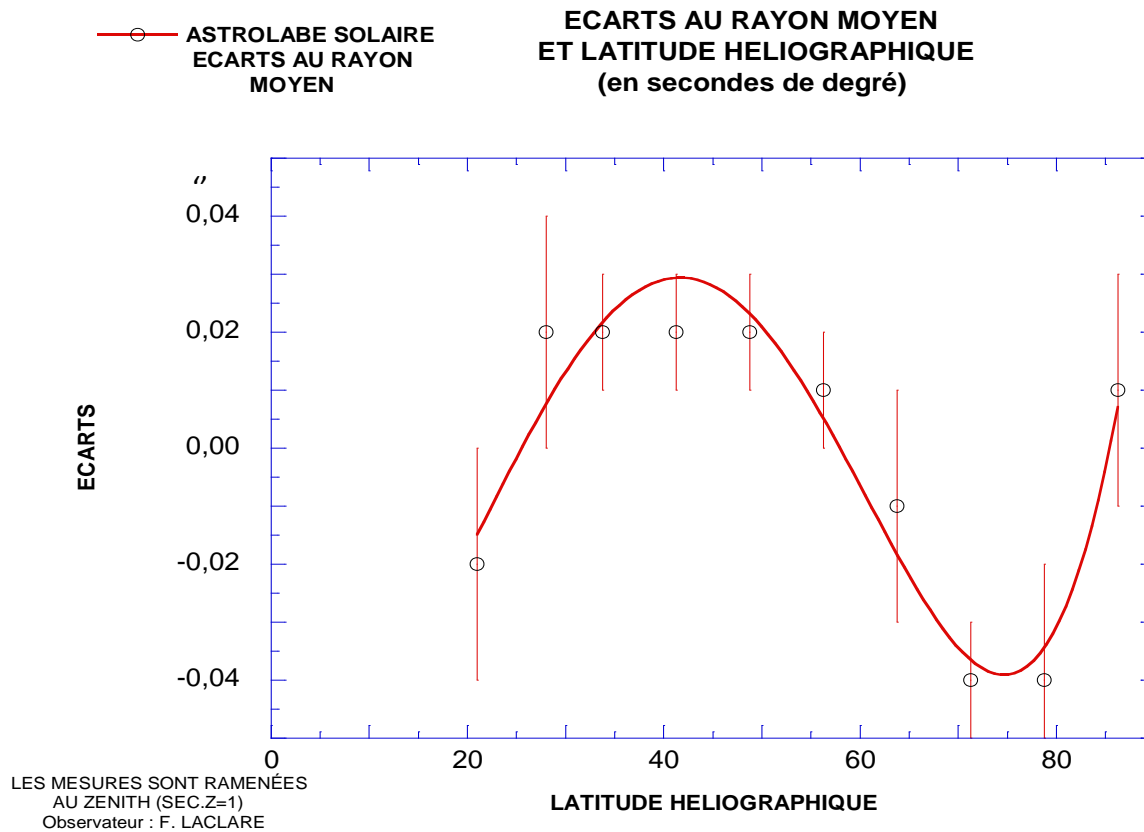
1979-1981 : 455 mesures
1985-1987 : 1173 -"-
1989-1991 : 1103 -"-
1995-1997 : 978 -"-
2000-2002 : 259 -"-

PHASES MAXIMALES ET MINIMALES DE L'ACTIVITE MAGNETIQUE ET RAYON OBSERVE

● SUNSPOT NUMBERS



Les maxima et minima de l'activité solaire confirment ici encore l'apparente anti-corrélation entre rayon observé à CALERN et le cycle d'activité solaire.



On observe que les plus grandes valeurs du rayon se situent dans la zone "royale" pour décroître à haute latitude. Notons que cette région voisine du pôle, à partir de 80° d'inclinaison héliographique, correspond aux effectifs de mesures les moins nombreux et qu'elle n'est jamais accessible pendant les mois d'été mais seulement à l'Est, en début de campagne jusqu'au début du mois de mai, et à l'Ouest en fin de campagne à partir de la fin du mois d'aout. Ces périodes d'observations ne comprennent alors que de grandes distances zénithales et par conséquent des mesures de moindre qualité. La zone d'inclinaisons équatoriales n'est pas accessible depuis la latitude du site de CALERN.

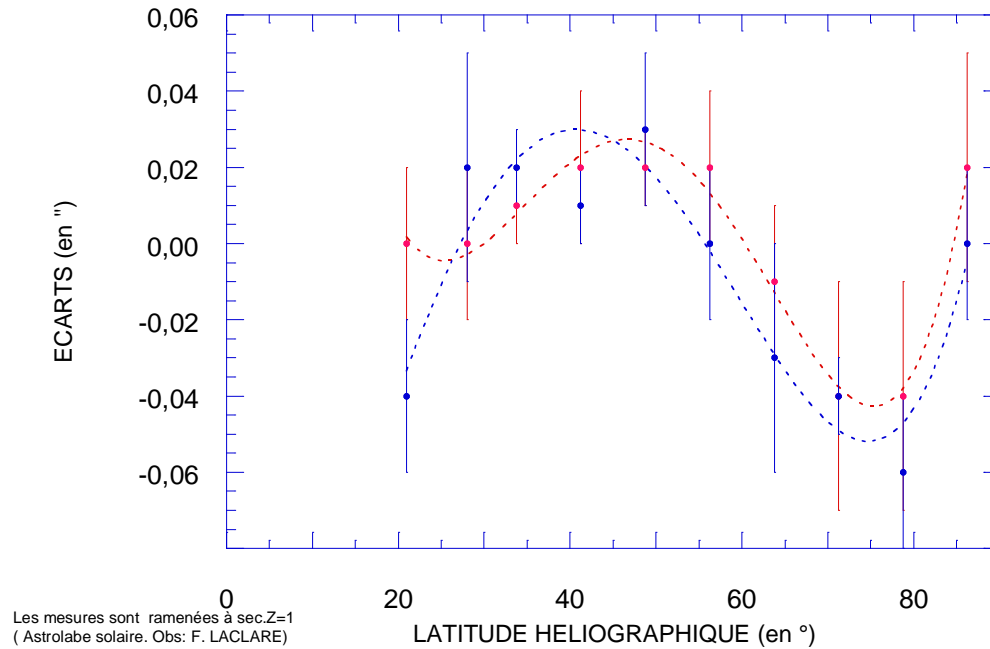
Les mesures faites au Brésil, à Sao Paulo présentaient un bon accord avec celles de CALERN.

ASTROLABE SOLAIRE

ECARTS AU RAYON MOYEN LATITUDE HELIOGRAPHIQUE ET ACTIVITE (1980-2000)

---●--- ECARTS (SUNSPOT N. > 80)

---●--- ECARTS (SUNSPOT N. < 80)

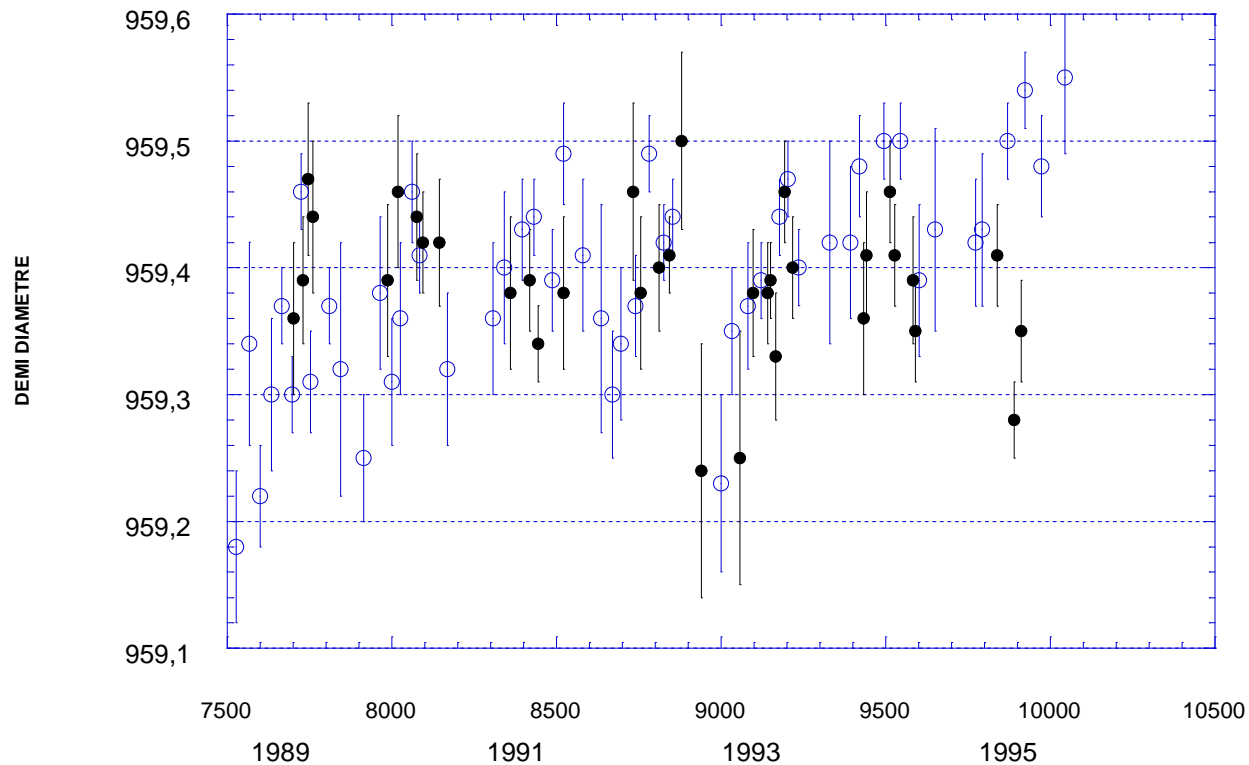


L'apparente géométrie observée ne semble pas affectée par l'activité magnétique exprimée en SUNSPOT NUMBERS.

MOYENNES MENSUELLES DU RAYON OBSERVE (1989 - 1995)

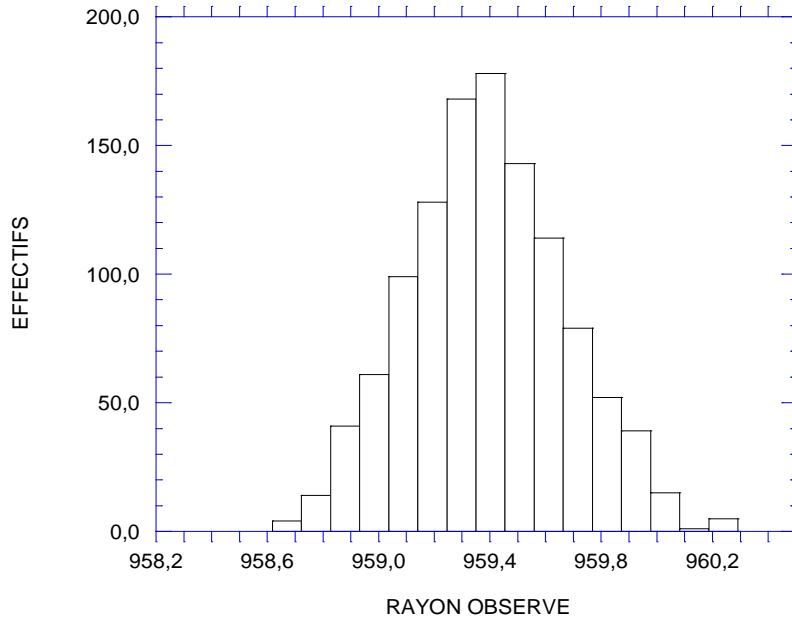
○ ASTROLABE SOLAIRE
Mesures Visuelles (2822)
Observateur: F. LACLARE

● ASTROLABE SOLAIRE
Mesures CCD (1141)
(Mode Analogique)

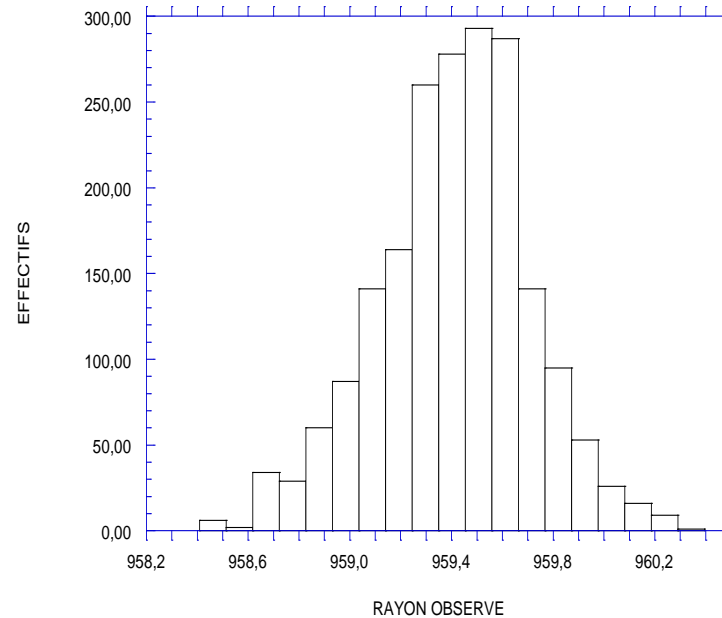


A la série continue d'observations visuelles, nous alternions sur le même astrolabe solaire, à partir de 1989, un programme de mesures CCD .
Les mesures groupées mensuellement présentaient alors une bonne cohérence pour leur valeur moyenne identique, soit 959".39 et des dispersions voisines (0".08 pour les observations visuelles et 0".06 pour les mesures CCD).
La numérisation des mesures CCD à partir de 1996 confirmera encore leur accord avec les observations visuelles.

ASTROLABE SOLAIRE
 Mesures CCD
 1141 mesures 1989 -1995
 $R=959''.39=-0''.01$, $SG=0''.28$



ASTROLABE SOLAIRE
 Mesures visuelles Observateur: F. LACLARE
 1982 mesures entre 1989 et 1995
 R (mesures brutes): $959''.41=-0''.01$, $SG=0''.30$



Sur cette période commune, de 1989 à 1995 et sur le même instrument, les distributions des mesures visuelles et CCD présentent un très bon accord quant aux valeurs moyennes et les écarts types. Notons cependant une légère dissymétrie avec des sens contraires sur les histogrammes visuels et CCD.

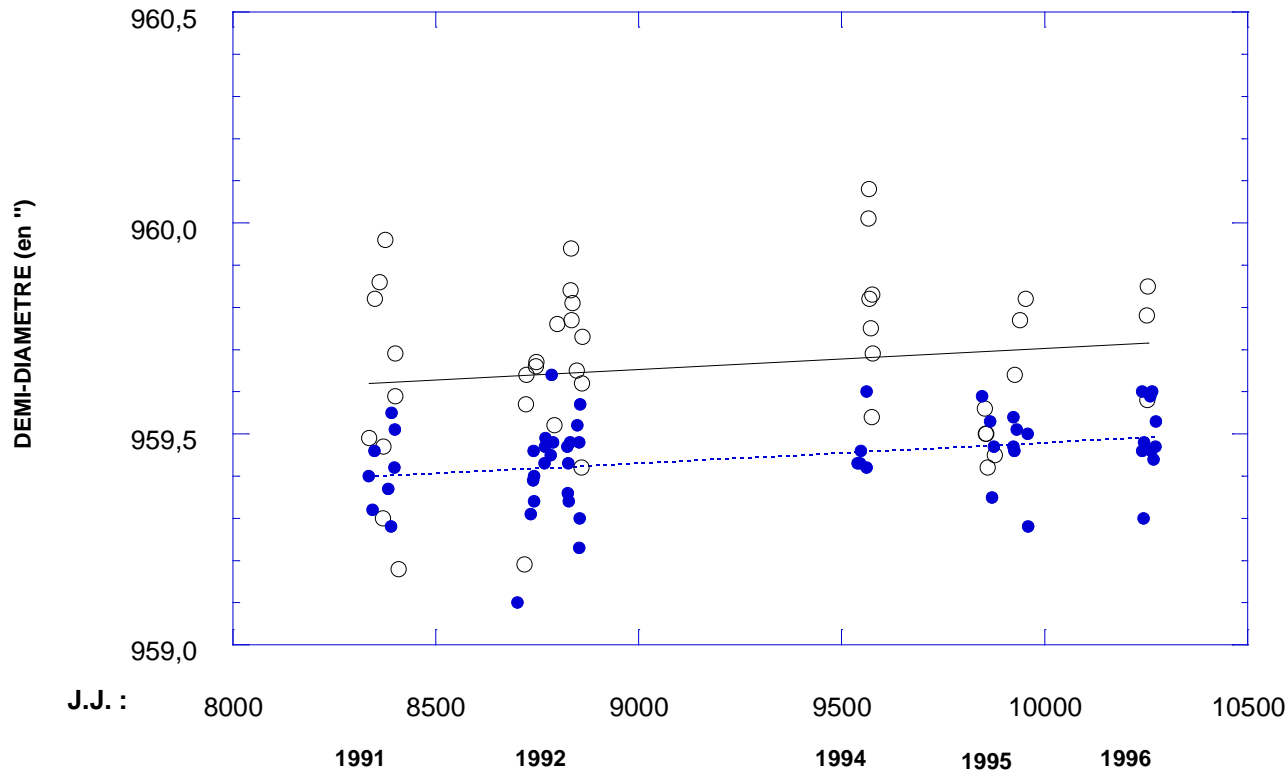
611 mesures

○ ASTROLABE SOLAIRE N°2
PRISME D'ANGLE VARIABLE
Mesures Visuelles
Observateur F. LACLARE

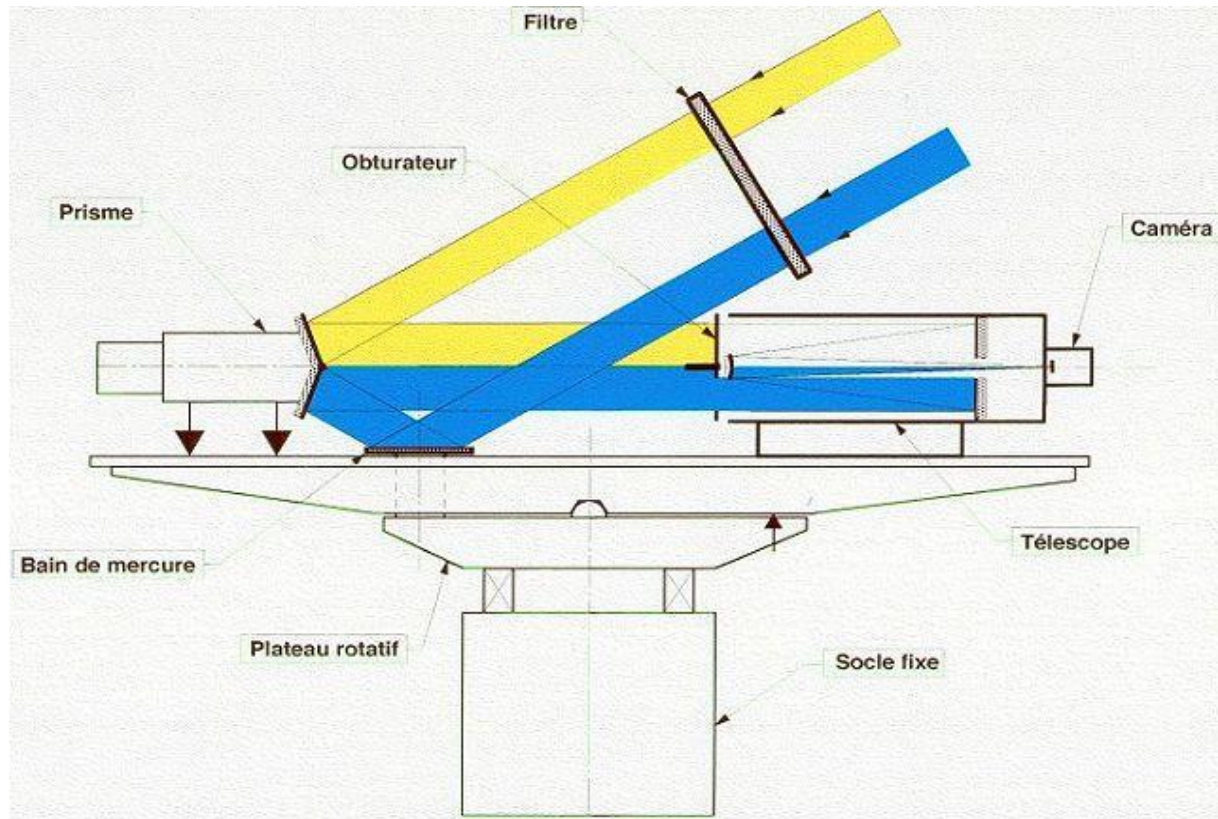
**EXPERIMENTATION D'UN PRISME
D'ANGLE VARIABLE MOTORISE
(1991 - 1996)**

● ASTROLABE SOLAIRE N°1
PRISMES D4 ANGLES FIXES
Mesures Visuelles
Observateur: F. LACLARE

499 mesures

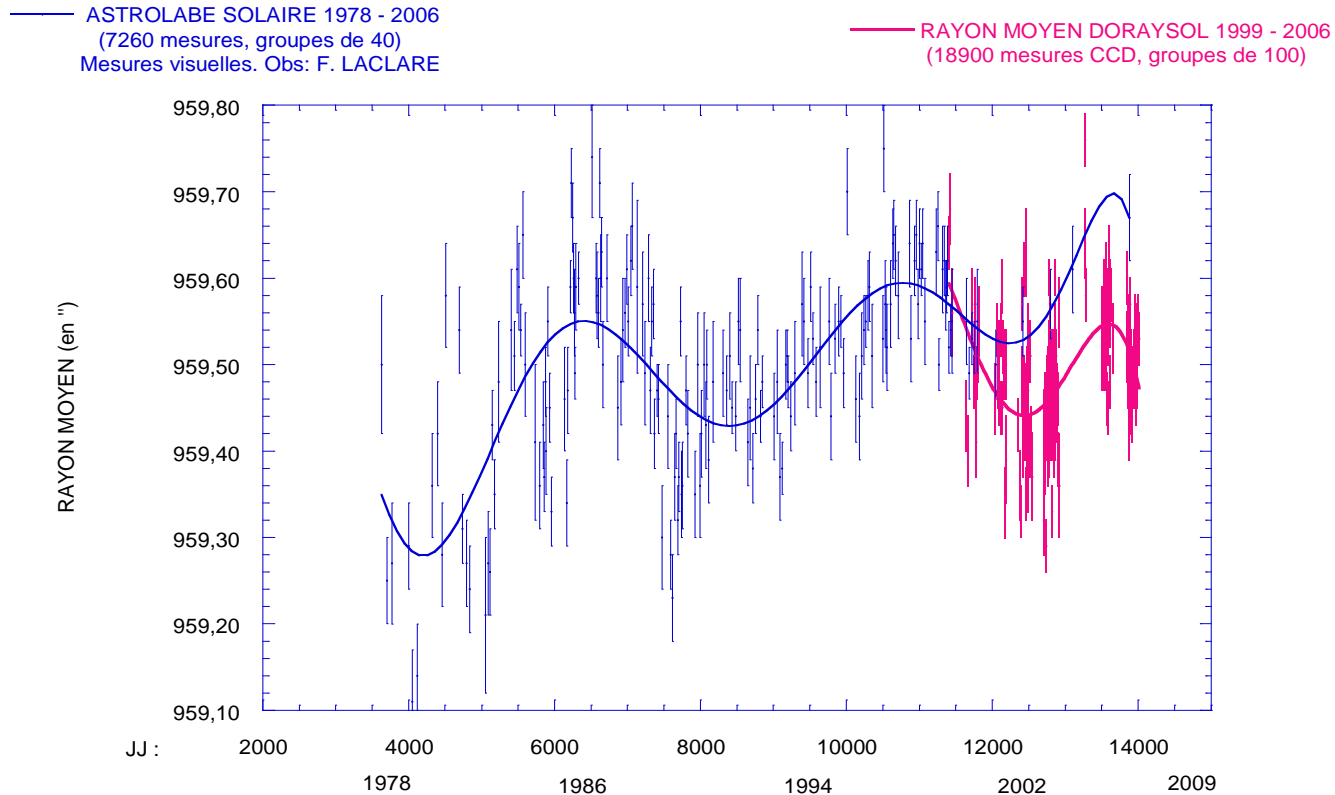


De manière à multiplier le nombre de mesures, nous développons à CALERN dès 1987, un prototype de prisme d'angle variable. Les premiers résultats obtenus nous conduisaient à réaliser avec l'aide du service des prototypes du CNRS un prisme motorisé permettant l'observation entre 30° et 60° de distance zénithale. L'expérimentation de cet instrument sur un deuxième astrolabe (N°2) était concomitante au programme de mesures continu (N°1). Le bon accord obtenu sur les valeurs observées, leurs tendances sur 5 ans et leur précision nous conduisaient à installer ce prisme variable sur le nouvel instrument: DORAYSOL.



Le nouvel instrument « DORAYSOL » (Définition et Observation du RAYon SOLaire) a été développé en gardant le principe de l'observation des bords du disque solaire à hauteurs égales et en utilisant le prisme d'angle variable qui permet un grand nombre de mesures le même jour. La motorisation des principales fonctions rend l'instrument quasi automatique et l'usage d'une caméra CCD au foyer permet d'évaluer de manière objective certains paramètres atmosphériques ou instrumentaux affectant la qualité des images. Le télescope est de type Cassegrain dont le primaire a un diamètre de 110 mm et une focale de 3450 mm. L'ensemble de l'instrument est protégé par une lame en B.K.7 de densité voisine de 4.5. Un filtre centré sur 548 nm et d'une largeur de 60 nm est placé devant la caméra.

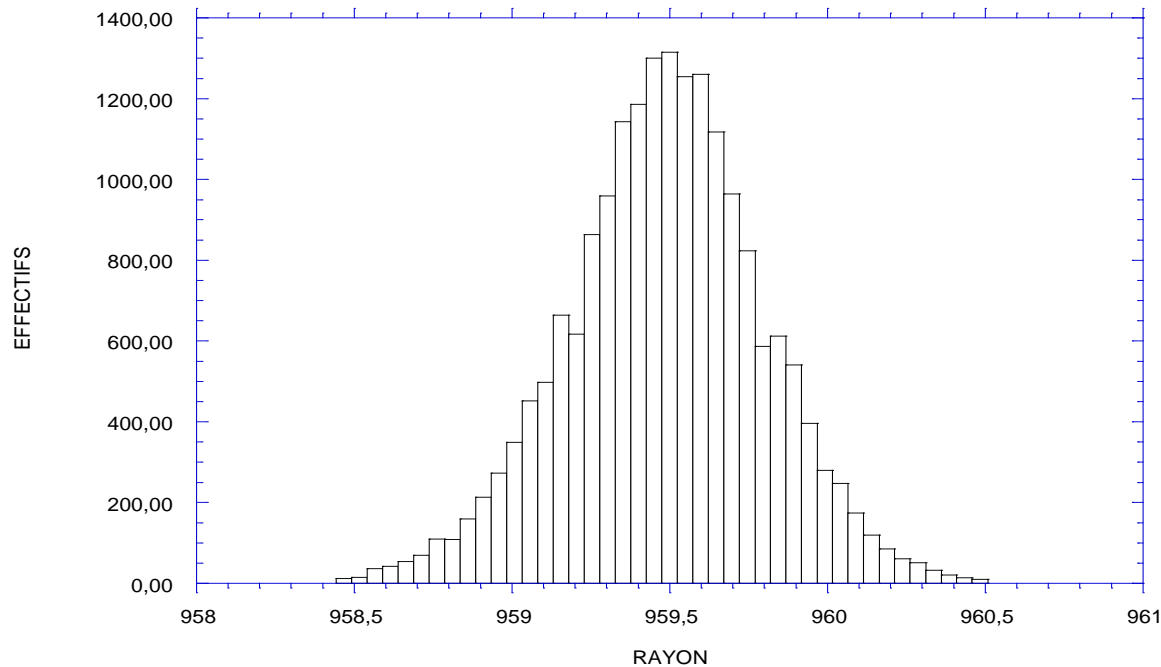
MESURE DU RAYON SOLAIRE A CALERN



A partir de 1999, l'instrument DORAYSOL était installé au voisinage de l'astrolabe solaire sur le site de CALERN. A un décalage près, les deux séries présentent la même tendance. Notons qu'en 8 ans l'effectif des mesures acquises avec DORAYSOL est plus du double de celui des mesures à l'astrolabe solaire réparties sur presque 30 ans. Précisons enfin que ces mesures CCD devenues « impersonnelles » contribuent à qualifier la longue série d'observations visuelles.

HISTOGRAMME DORAYSOL

Mesures CCD
RAYON MOYEN 2000-2006
(19095 Mesures R=959".49=-0".02,SG=0".31)

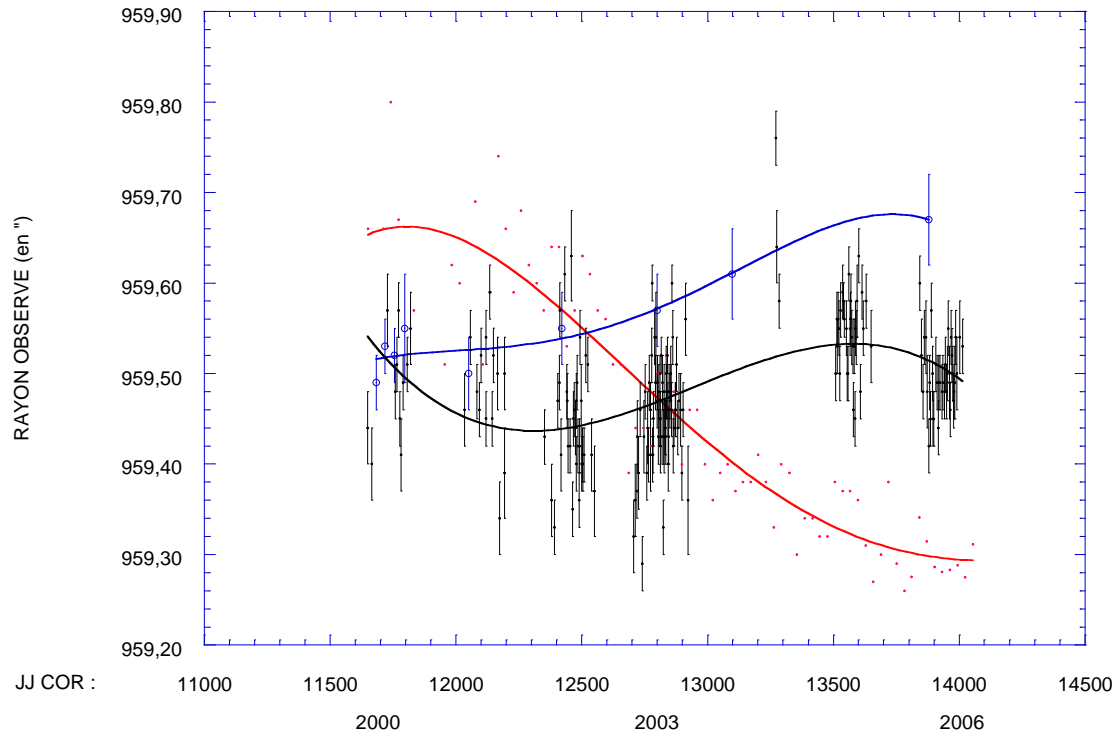


Le prisme d'angle variable utilisé sur l'instrument DORAYSOL ne présente pas la qualité métrologique des prismes réflecteurs utilisés sur l'astrolabe solaire. Il en résulte en particulier que les mesures faites à l'Est et à l'Ouest sont différentes de manière systématique. L'origine de ce défaut est liée à la structure opto-mécanique du prisme qui entraîne que l'observation du soleil ne correspond pas au passage par le cercle de hauteur mais plutôt par un petit cercle dont le pôle n'est pas le zénith. La stabilité de l'écart et la symétrie des observations Est et Ouest nous ont conduit à utiliser la moyenne des mesures. La distribution des mesures ainsi obtenues est gaussienne; ses caractéristiques statistiques confirment le bien fondé de la définition du rayon obtenu par la moyenne des observations Est et Ouest.

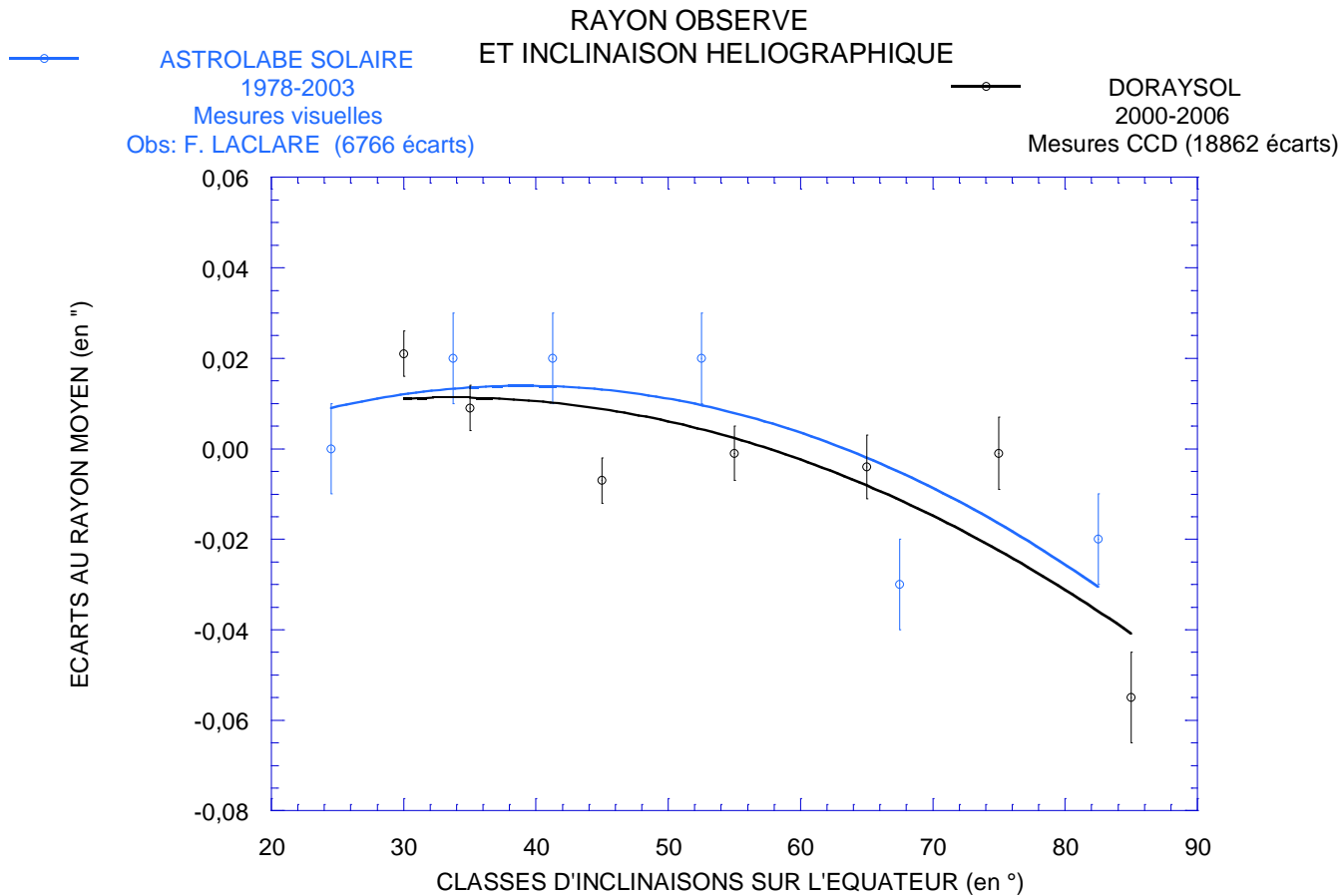
—●— SUNSPOT numbers
 Moyennes mensuelles

—○— ASTROLABE SOLAIRE
 (Groupes de 40 mesures visuelles, à sec z=1)
 Observateur : F. LACLARE

— DORAYSOL
 (Groupes de 100 mesures)



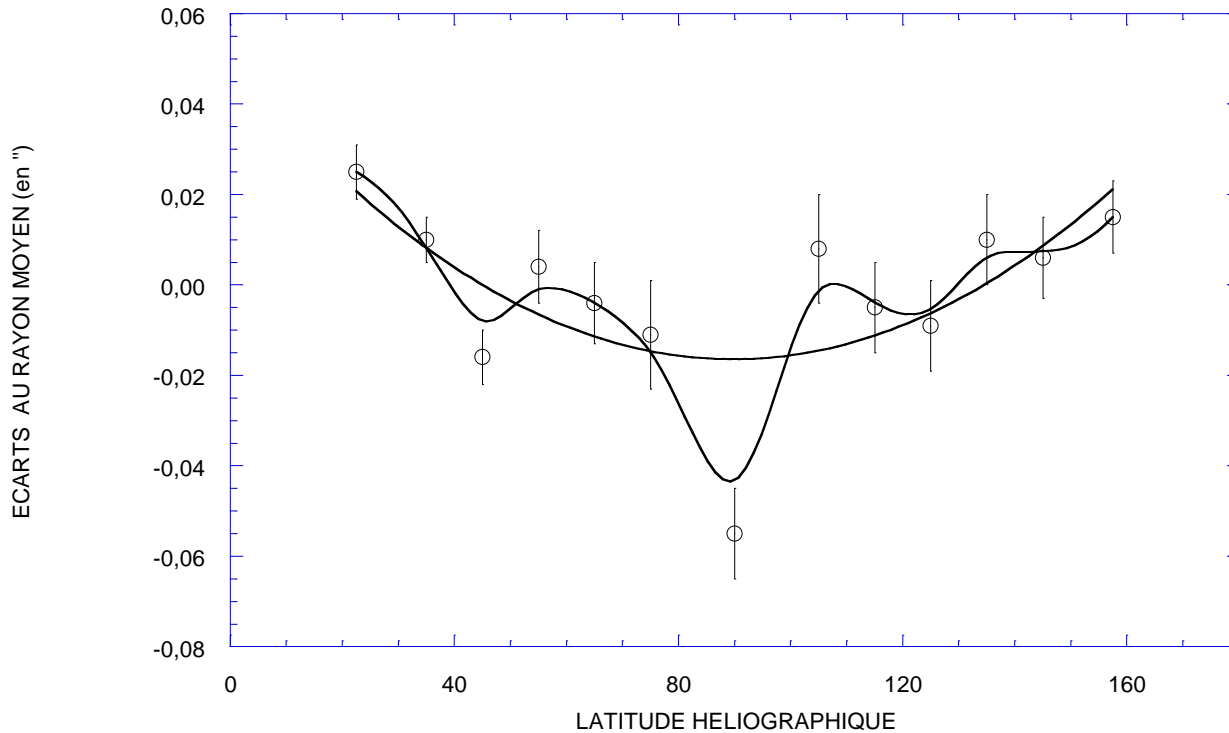
Les quelques 20 000 observations faites avec l'instrument DORAYSOL montrent encore la relative persistance « opposition de phase : rayon-activité » entre 2000 et 2006. Dans le but de surveiller l'accord des mesures durant cette période, des observations du rayon ont été assurées à partir de l'astrolabe solaire. La valeur moyenne du rayon est de $959''.48 \pm 0''.01$ pour DORAYSOL avec un écart type de $0''.32$ tandis qu'elle est de $959''.55 \pm 0''.01$ avec un écart type de $0''.26$ pour les mesures visuelles de l'astrolabe solaire.



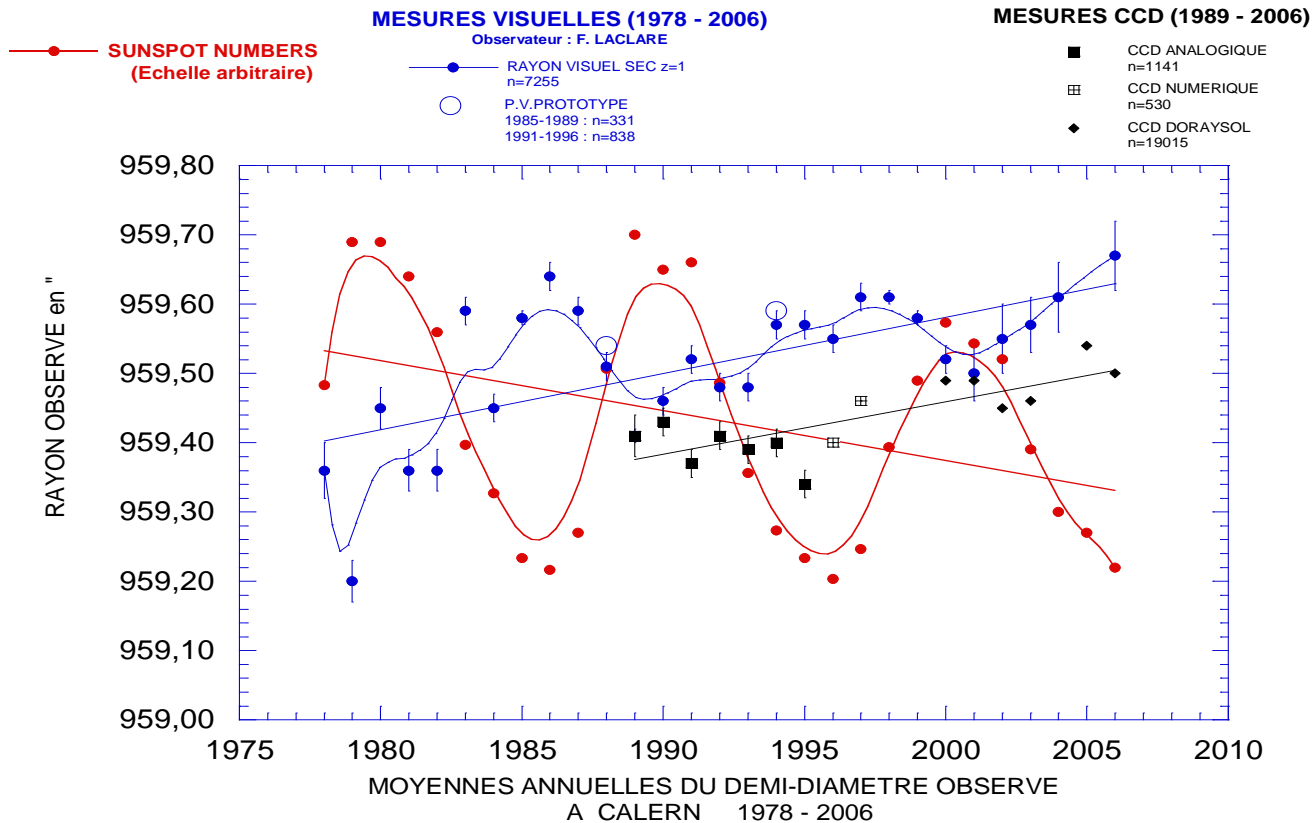
De la même manière qu'avec l'astrolabe solaire les mesures du rayon indiquaient une dépression au voisinage du pôle et de plus hautes valeurs dans la zone royale, les observations CCD à partir de l'instrument DORAYSOL confirment cette géométrie apparente.

Mesures CCD

DORAYSOL
ECARTS AU RAYON MOYEN
ET LATITUDE HELIOGRAPHIQUE
18862 écarts 2000 - 2006



La densité de mesures avec l'instrument DORAYSOL permet de mieux répartir les écarts sur un intervalle plus grand d'inclinaisons héliographiques, de 20° à 160°. C'est au voisinage du pôle que l'on voit la baisse la plus nette du rayon tandis qu'il devient plus grand aux moyennes et faibles latitudes. L'amplitude observée entre 20° et 90° est de l'ordre de 0''.04.



Pour conclure, près de 30 000 mesures du rayon solaire ont été faites sur le site de CALERN entre 1978 et 2006. Pour tenir compte d'un effet systématique lié à la distance zénithale les mesures visuelles ont été ramenées au zénith (sec z=1). L'écart observé entre les séries visuelles, ainsi corrigées, et CCD (mesures brutes) est stable, de l'ordre de 0".1. Il concourt à garantir la qualité et la stabilité des mesures visuelles. Cet écart peut aussi rendre compte des modes d'observations : Le rayon défini par le CCD, l'est à partir des points d'inflexion de la fonction d'étalement de l'image du bord solaire, ces points sont en retrait des régions de contraste probablement appréciées par les mesures visuelles; il peut en outre résulter des différences de sensibilités spectrales propres à chaque mode d'observation.

Depuis 2007 les mesures avec l'astrolabe solaire ou avec DORAYSOL ont cessé. Les mesures du rayon au sol à CALERN sont désormais conduites à partir de l'instrument SODISM II, pendant la mission du satellite PICARD.

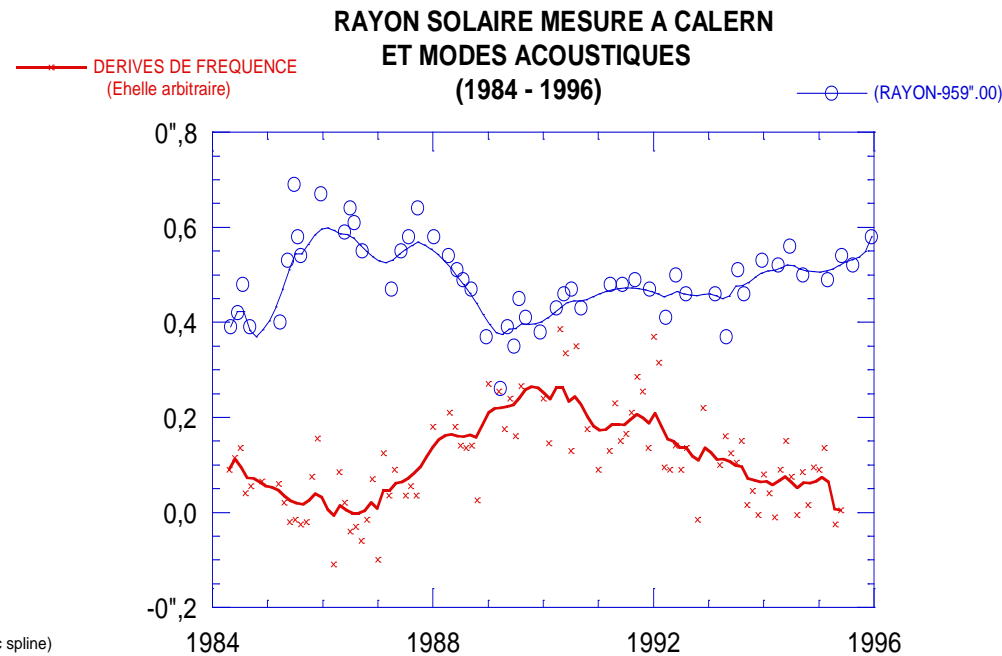
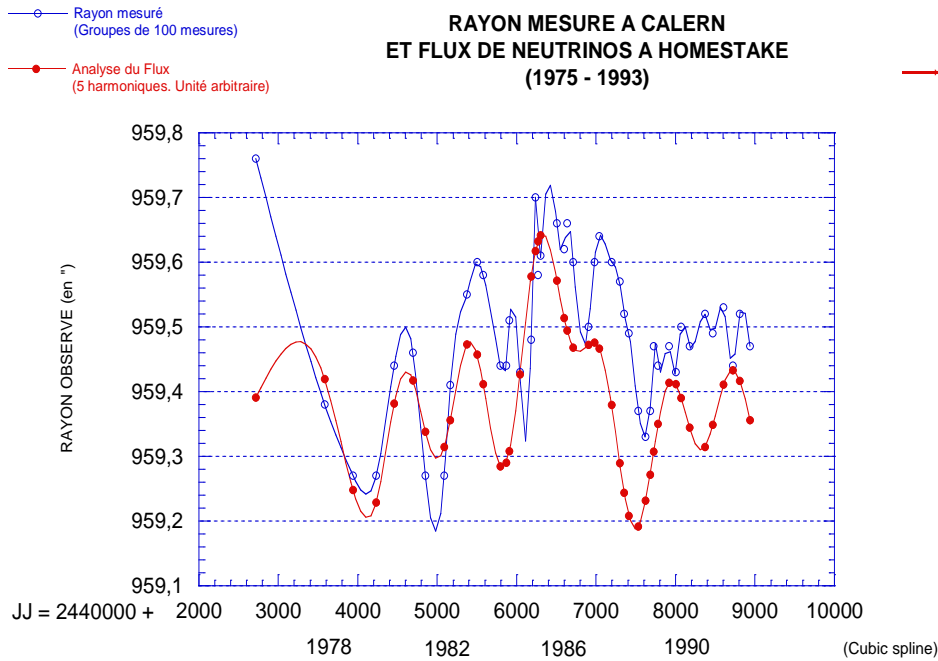
COMPARAISON DES RESULTATS S.D.S. ET CALERN

DATE DU VOL	RAYON SDS	ASTROLABE SOLAIRE Mesures visuelles (F.L.)	DUREE	NBRE MESURES	
	(1)	(2)		(1-2)	
30.09.92	959".48	959".48 +0".02	92-06 to 93-05	294	0".00
26.09.94	959".51	959".54 0".02	94-06 to 95-06	256	-0".03
01.10.95	959".54	959".56 0".02	95-06 to 96-06	298	-0".02
10.10.96	959".70	959".59 0".02	96-06 to 97-01	404	+0".11

- (1) Hight-Precision measurements of the solar diameter and oblateness by the solar disk sextant (SDS) Experiment. (Solar Physics (2006) 235:407-418, A.EGIDI and B.CACCIN, S.SOFIA, W.HEAPS, W. HOEGY and L. TWIGG).
- (2) Astrolabe Solaire de CALERN (Observatoire de la Côte d'azur France)
Observateur : F. LACLARE

La valeur moyenne du rayon observé à CALERN et ses variations sont encore l'objet de très nombreux points de vue, le plus souvent contradictoires, qu'il s'agisse des mesures visuelles ou CCD. Les raisons de ces désaccords tiennent le plus souvent à la diversité des instruments utilisés ou à leur conception, qui peut notablement différer, y compris pour un même type d'instrument tel que l'astrolabe solaire, et aussi aux périodes recouvrant les observations ou encore aux sites d'exploitation. De plus, en ce qui concerne les mesures visuelles une incertitude majeure résulte de l'appréciation personnelle liée à chaque observateur.

Seules, des mesures depuis l'espace (PICARD), par des techniques appropriées permettront de mieux définir les paramètres qui définissent la géométrie solaire et ses éventuelles variations. Dans cette attente, au nombre des mesures concomitantes aux nôtres, et qui sont sensiblement moins affectées par l'atmosphère, nous présentons ci-dessus les résultats obtenus depuis la stratosphère avec l'instrument SOLAR DISK SEXTANT (S.D.S).



Si le rayon observé à CALERN présente certaines périodicités qui existent sur d'autres paramètres rendant compte de l'activité magnétique (Sunspot, Flux, Irradiance), plus troublantes sont les corrélations apparentes entre rayon et certains paramètres plus structuraux : C'est ainsi que le rayon apparaît très corrélé avec le flux de neutrinos observé à HOMESTAKE ou à partir de l'expérience GALLEX. L'analyse révèle également une forte anti-corrélation entre rayon solaire et dérives de fréquence de certains modes acoustiques observées à l'OBSERVATORIO DEL TEIDE (TENERIFE). Ces analyses devront être reprises avec l'amélioration des mesures, notamment celles faites depuis l'espace.

Les variations du rayon observé en surface pourraient-elles être liées à la dynamique interne du Soleil ?

Fig. 1

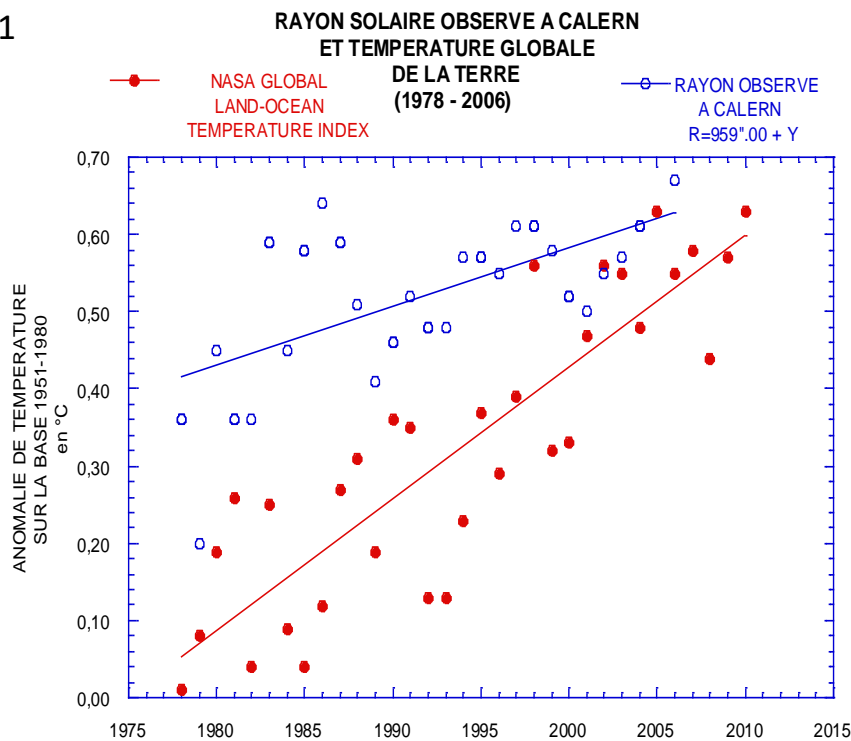
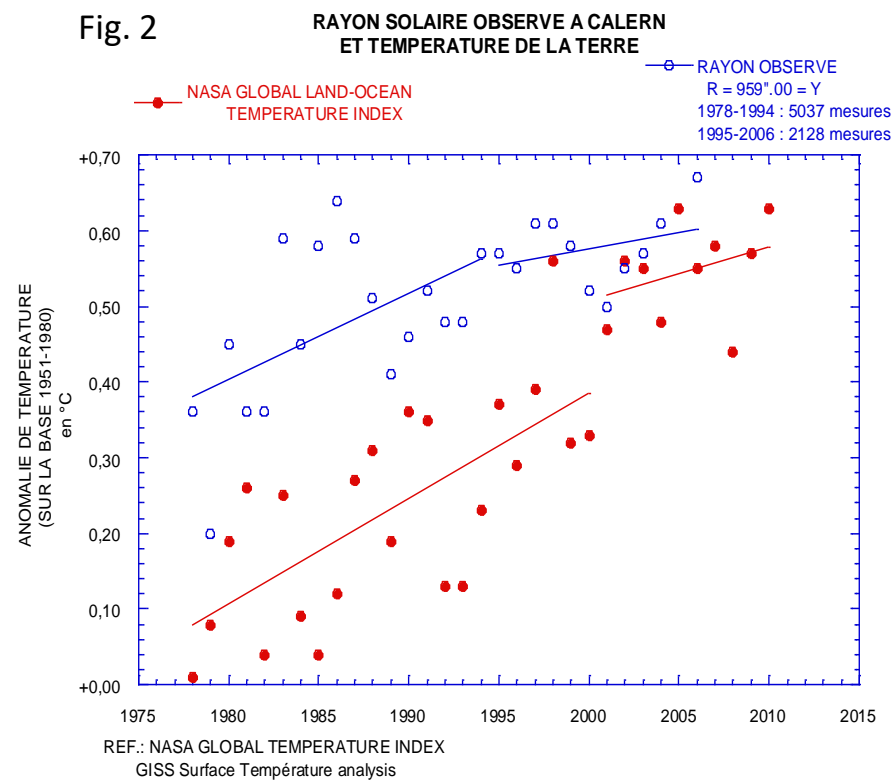


Fig. 2



La géométrie du Soleil (et son rayon en particulier) serait-elle liée aux changements climatiques observés sur Terre ? Sans ajouter à toutes les controverses existantes sur le sujet, il convient pourtant de mentionner ce fait d'observation montrant un coefficient de corrélation positif de 0.56 entre rayon observé et la température « globale » entre 1978 et 2006 (Fig.1). Ces deux variables pourraient-elles être dépendantes ? ?

Plusieurs bases de données (NASA, NOAA, HADLEY) révèlent un ralentissement de la hausse de la température depuis 9 à 10 ans. Les mesures du Rayon solaire à CALERN semblent corroborer également ce changement de tendance; le coefficient de la pente de la droite de régression des mesures du rayon décroît d'un facteur voisin de 3 à partir de 1995 (Fig.2).

Bien entendu, la notion de température « globale » reste encore quelque peu incertaine et nos mesures du rayon solaire sont encore discutables, puisque observées depuis le sol. En outre, la durée couvrant les mesures demeure insuffisante, cependant . . . affaire à suivre!

Fig.3

DEMI-DIAMETRE OBSERVE A CALERN

ET

RAYONS COSMIQUES

(1978 - 2006)

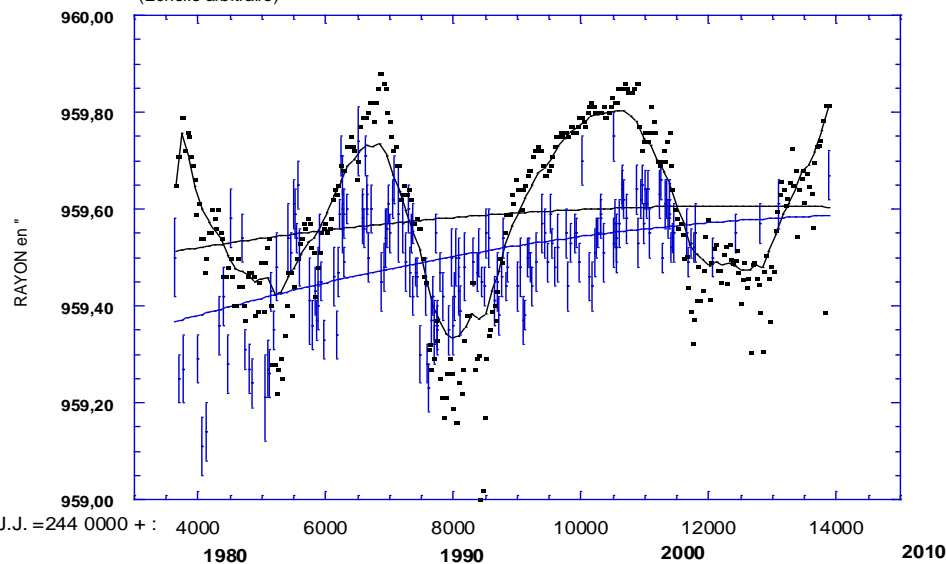
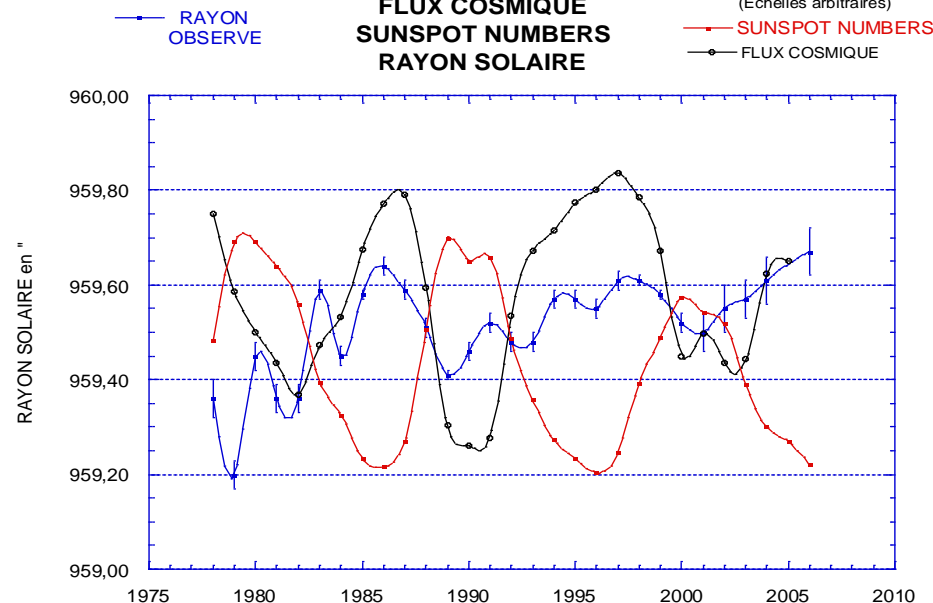


Fig.4

MOYENNES ANNUELLES (1978 - 2006)

FLUX COSMIQUE
SUNSPOT NUMBERS
RAYON SOLAIRE

(Echelles arbitraires)



H. Svensmark a avancé l'idée du rôle des rayons cosmiques, chargés électriquement, qui pourrait affecter la couche nuageuse et donc modifier l'énergie réfléchie vers l'espace et par conséquent le bilan énergétique de l'atmosphère dans son ensemble, donc le climat. Une expérience en cours (CLOUD) au C.E.R.N. est destinée à confirmer le lien éventuel entre le flux de rayons cosmiques et la couverture nuageuse.

Il existe une apparente corrélation entre rayon solaire et rayons cosmiques ($r=0.40$, Fig.3). Signalons que le flux de rayons cosmiques pourrait ne pas être sans rapport avec l'éventuelle corrélation entre rayon solaire et flux de neutrinos que nous avons mentionnée précédemment.

Notons que si l'activité magnétique ou le flux cosmique sont bien approximés par un lissage, on remarque au contraire une forme plus chaotique des moyennes annuelles du rayon solaire observé à CALERN (Fig.4).

CONCLUSION

Malgré les améliorations apportées à nos instruments au sol, par l'usage de capteurs du type CCD et par l'automatisation des mesures, l'atmosphère et ses instabilités limite de façon inéluctable la précision des observations. Seules les mesures depuis l'espace pourront répondre de manière plus rigoureuse aux questions concernant la figure géométrique du Soleil, son rayon et ses éventuelles variations mais à condition que le suivi des observations couvre de longues durées, voire plusieurs cycles. Cependant, ce type de « surveillance » n'incombe généralement pas aux expériences spatiales dont la durée de vie est brève, de l'ordre de quelques années. C'est donc au sol, par des mesures continues et calibrées sur les mesures spatiales que l'on doit conduire un tel programme.

Pendant la mission PICARD le programme DORAYSOL devrait être poursuivi, parallèlement aux mesures de l'instrument SODISM II, pour que cette longue série d'observations du rayon solaire qui a duré plus de 30 ans, ne connaisse pas de discontinuités que l'on sait si préjudiciables aux analyses et donc aux résultats.

CHRONOLOGIE DES PRINCIPALES PUBLICATIONS CONCERNANT LES MESURES DU RAYON SOLAIRE SUR LE SITE DE CALERN OBSERVATOIRE DE LA CÔTE D'AZUR

- Laclare F., Demarcq J., Chollet F., Sur la réalisation d'un astrolabe solaire au CERGA. C.R. Acad.Sci. Paris, série B, 291, (1980), 189-192
- F. Laclare, Mesures du diamètre solaire à l'Astrolabe, Astron. Astrophys. 125, (1983), 200–203.
- Ph. Delache, F. Laclare, H. Sadsaoud, Long period oscillations in solar diameter measurements, Nature 317, (1985), 416–418.
- F. Laclare, Sur les variations du diamètre du Soleil observées à l'astrolabe solaire du CERGA, C.R. Acad. Sci. Paris, t 305, (1987), Série II, 451-454
- F. Laclare, G. Merlin, L'Astrolabe solaire impersonnalisé par l'emploi d'une camera CCD. Application a la mesure du diamètre solaire, C. R. Acad. Sci. Paris, Série II, 313, (1991), 323–330.
- Ph. Delache, V. Gavryusev, E. Gavryuseva, F.Laclare, C.Regulo, T. Roca Cortés, Time correlation between solar structural parameters: p-mode, frequencies radius and neutrino flux, (1993), The Astrophysical Journal, 407: 801-805.
- Gavryusev V., Gavryuseva E., Delache P., Laclare F., Periodicities in solar radius measurements, Astron. Astrophys.,(1994), 286, 305-308
- A. Irbah, F. Laclare, J. Borgnino, G. Merlin solar diameter measurements with CALERN Observatory Astrolabe and atmospheric turbulence, SolarPhys. 149, (1994), 213–230.
- F. Laclare, Ch. Delmas, J.P. Coin, A. Irbah, Measurements and variations of the solar diameter, Solar Phys. 166, (1996), 211–229.
- M.Emilio, N.V.Leister, F.Laclare, Solar Diameter Latitude Dependence, Proceedings of the SOHO 6/GONG 98 Workshop, (1-4 June 1998)
- V. Sinceac, Analyse et exploitation des observations du Soleil, thèse de doctorat, Observatoire de PARIS., (1998), 120pp
- F. Laclare, Ch. Delmas, A. Irbah, Variations apparentes du rayon solaire observées à l'Observatoire de la Côte d'Azur (Astrolabe solaire du site de CALERN : 1975–1978), C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II b 327, (1999), 1107–1114.
- F.Laclare,Ch. Delmas, V. sinceac, F. Chollet, Valeur moyenne du rayon solaire obtenue à l'Observatoire de la Côte d'Azur (Astrolabe solaire du site de CALERN ;1975-1978)C.R. Acad. Sci.Paris,Sér. II b, (1999), 645-652.
- L. Lakhal, A. Irbah, M. Bouzaria, J. Borgnino, F. Laclare, Ch. Delmas, Error due to atmospheric turbulence effects on solar diameter measurements performed with an Astrolabe, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 138, (1999), 155–162.
- F. Chollet, V. Sinceac, Analysis of solar radius determinations obtained by the modern CCD Astrolabe of the CALERN observatory, a new approach of the solar limb definition, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 139 (2), (1999), 219–229.
- Ch. Delmas, F. Laclare, Short VS Long time series: Example of the solar diameter, Solar Phys. 209, (2002), 391–396.
- A.H. Andrei, S.C. Boscardin, F. Chollet, C. Delmas, O. Golbasi, E.G. Jilinski, H. Kilic, F. Laclare, F. Morand, J.L. Penna, E. Reis Neto, Comparison of CCD astrolabe multi-site solar diameter observations, A&A 427, (2004), 717–723.
- Ch. Delmas, F. Morand, F. Laclare, A. Irbah, G. Thuillier, P. Bourget, Ground solar radius survey in view of micro satellite missions, Adv. Space Res. 3, (2006), 1564–1568.
- A. Egidi, B. Caccin, S. Sofia, W. Heaps, W. Hoegy, L. Twigg, High-precision measurements of the solar diameter and oblateness by the solar disk sextant (SDS) experiment, Solar Phys. 235, (2006), 407–408.
- D. Djafer, G. Thuillier, S. Sofia, A. Egidi, Processing methods effects on solar diameter measurements: Use of data gathered by the solar disk sextant, Solar Phys. 247, (2008), 225–248.
- D. Djafer, G. Thuillier, S. Sofia, A comparison among solar diameter measurements carried out from the ground and outside Earth's atmosphere, Astrophys. J. 676, (2008), 651–657.
- F. Morand, Ch. Delmas, Th. Corbard, B. Chauvineau, A. Irbah, M. Fodil, F. Laclare, Mesures du rayon solaire avec l'instrument DORAYSOL (1999-2006) sur le site de CALERN (Observatoire de la Côte d'Azur). Elsevier, C.R. Physique 11, (2010), 660-673.
- S.C. Boscardin, Um ciclo de medidas do semidiâmetro solar com astrolábio. Tese do grau de Doutor em Astronomia RIO DE JANEIRO (2011)