



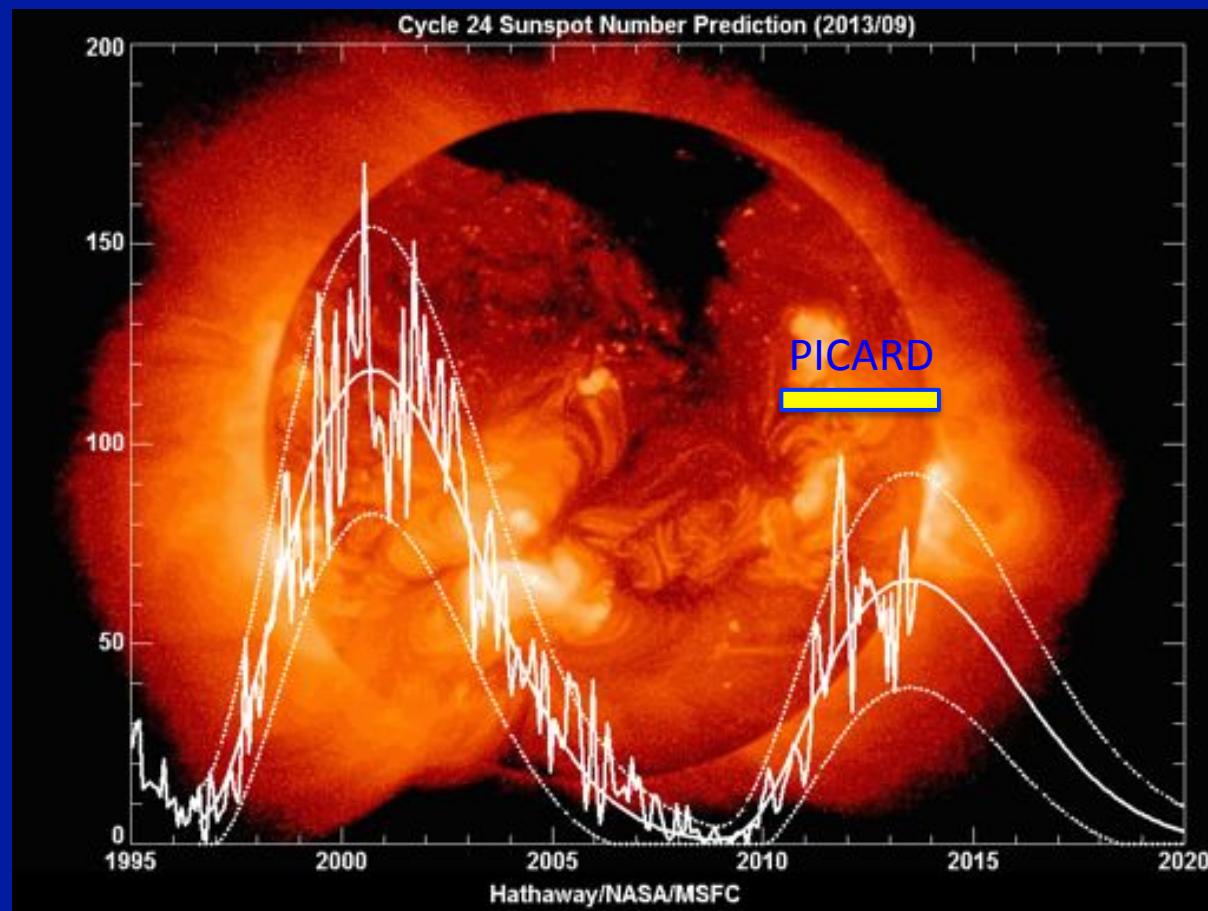
# Objectifs et résultats scientifiques de PICARD

Alain Hauchecorne  
et l'équipe scientifique et technique de PICARD



Observatoire  
de la CÔTE d'AZUR

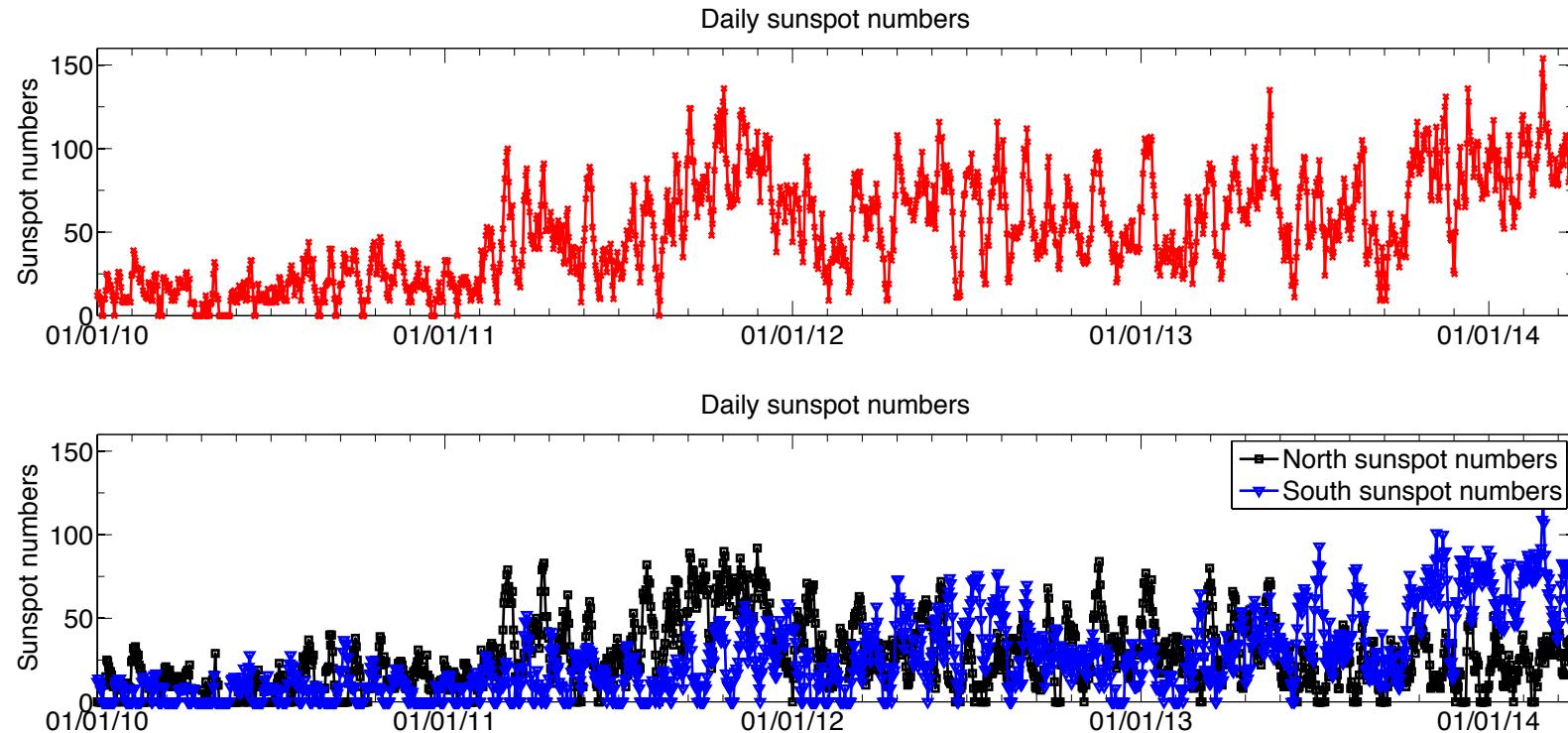
# PICARD et l'activité solaire



Les observations PICARD ont été faites pendant la montée et le maximum du cycle solaire 24

L'activité solaire été beaucoup plus faible que pendant les cycles précédents (minimim de Gleissberg minimum)

# Activité solaire cycle 24



# Objectifs scientifique de la mission PICARD

- **Physique solaire**

Métrie: rayon, forme, aplatissement à différentes longueurs d'onde

Héliosismologie

→ Fournit des contraintes aux modèles solaires

- **Relations soleil-climat**

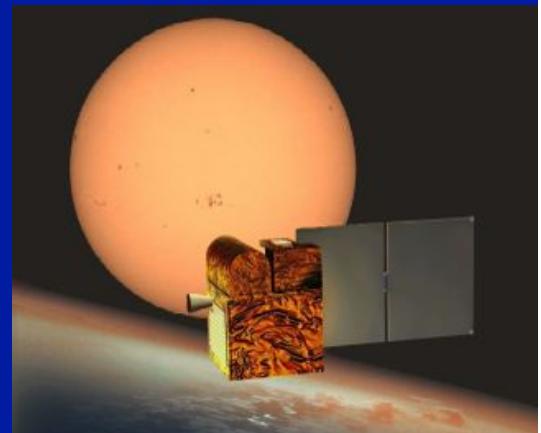
Eclaircissement solaire total (TSI): contribution à la série de mesures de TSI depuis l'espace

→ impact sur climat au sol

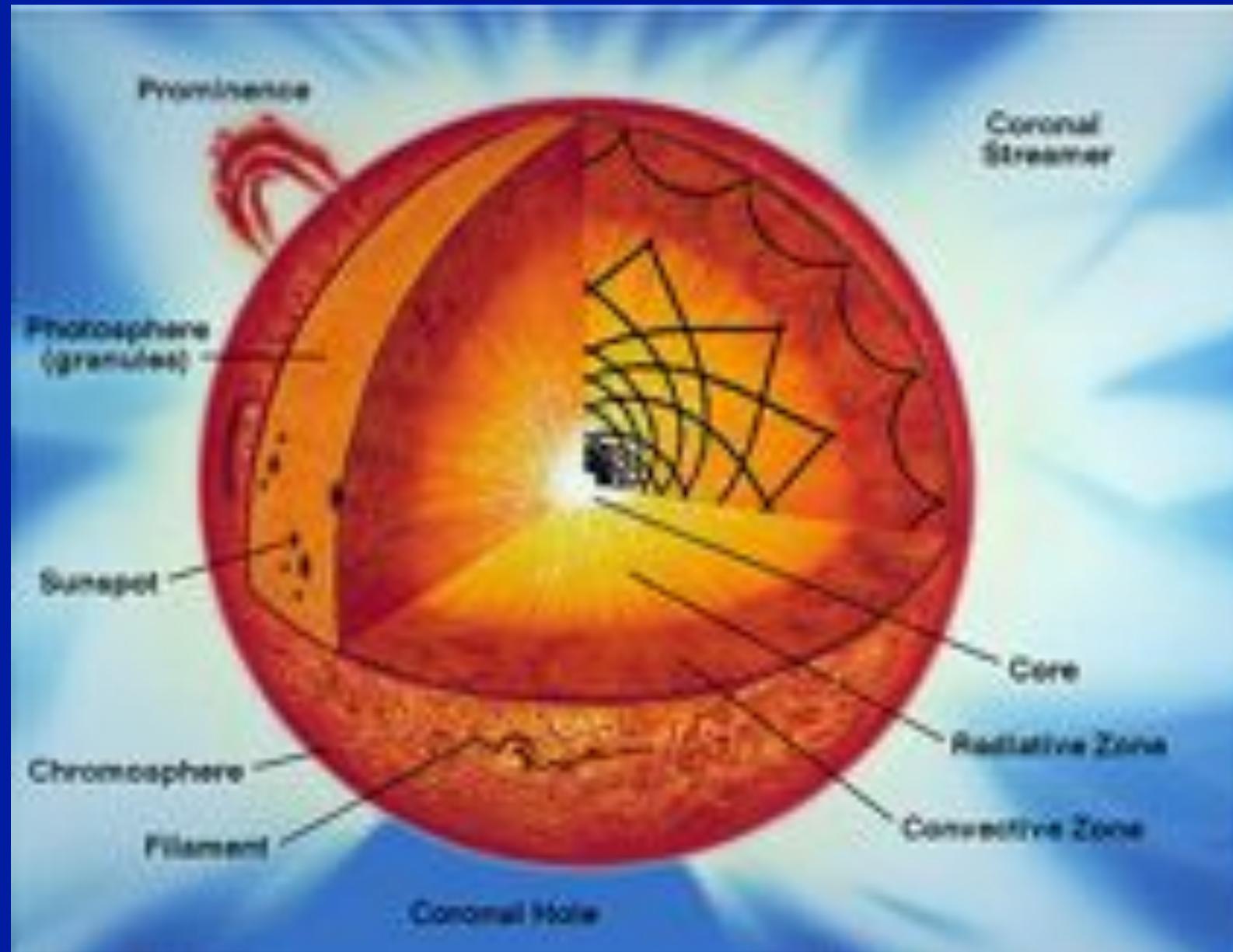
Eclaircissement solaire spectral:

Reconstruction de proxys solaires pour les modèles de circulation générale de l'atmosphère

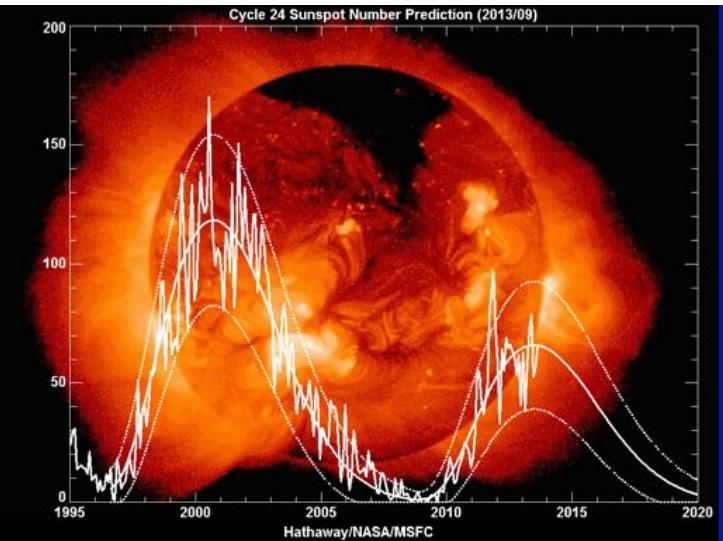
→ équilibre de la couche d'ozone stratosphérique



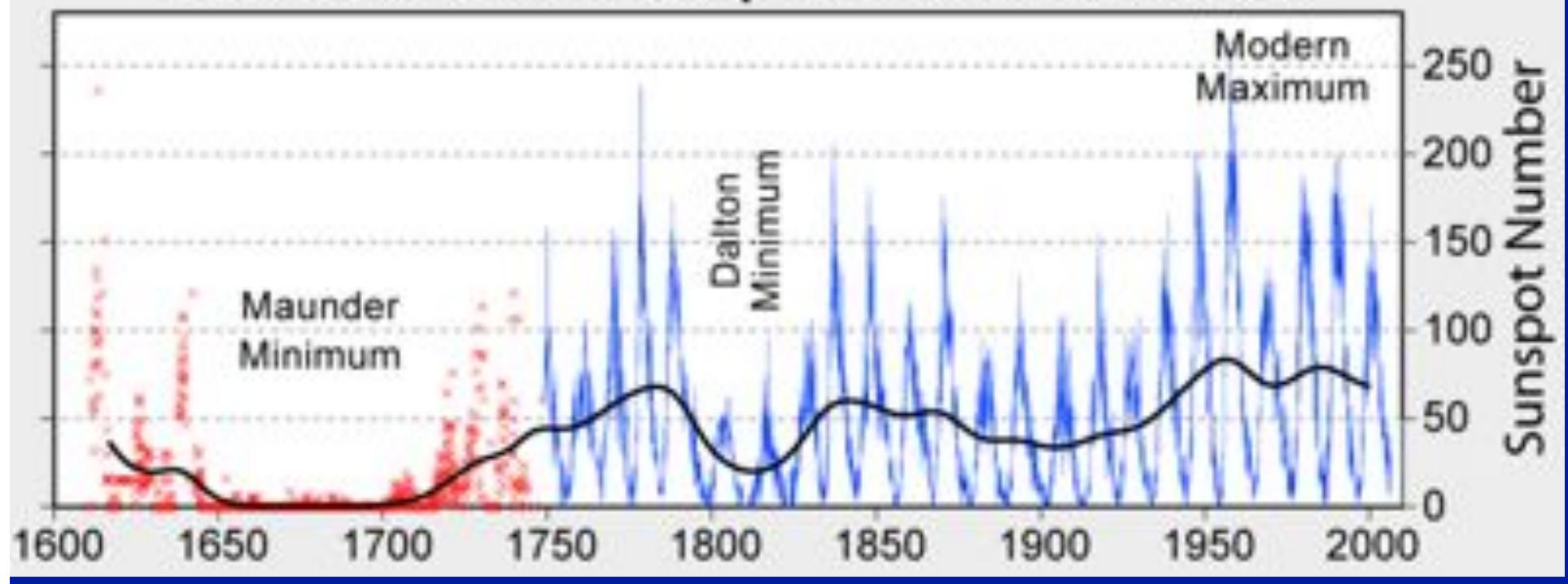
# Structure du soleil

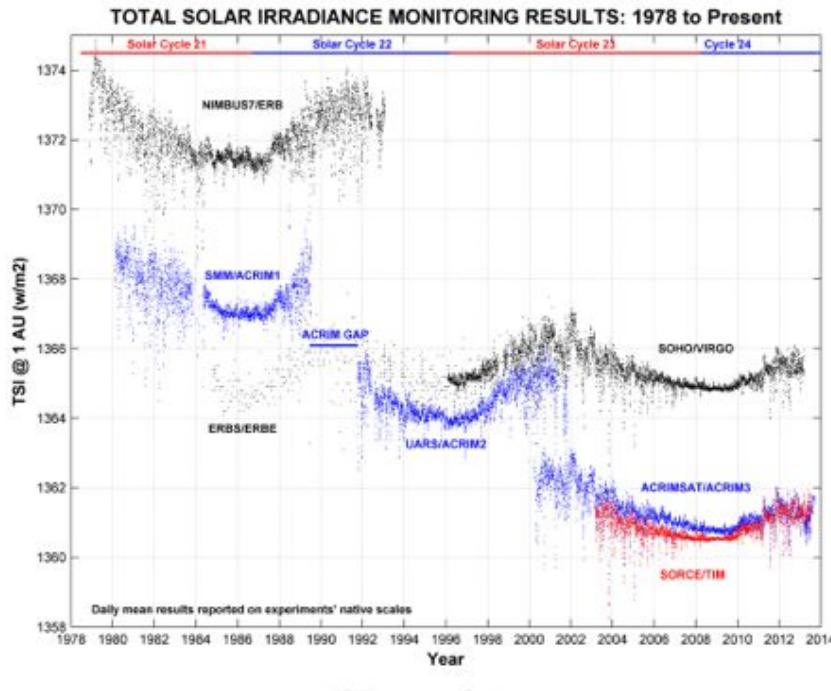


# Le cycle solaire de 11 ans



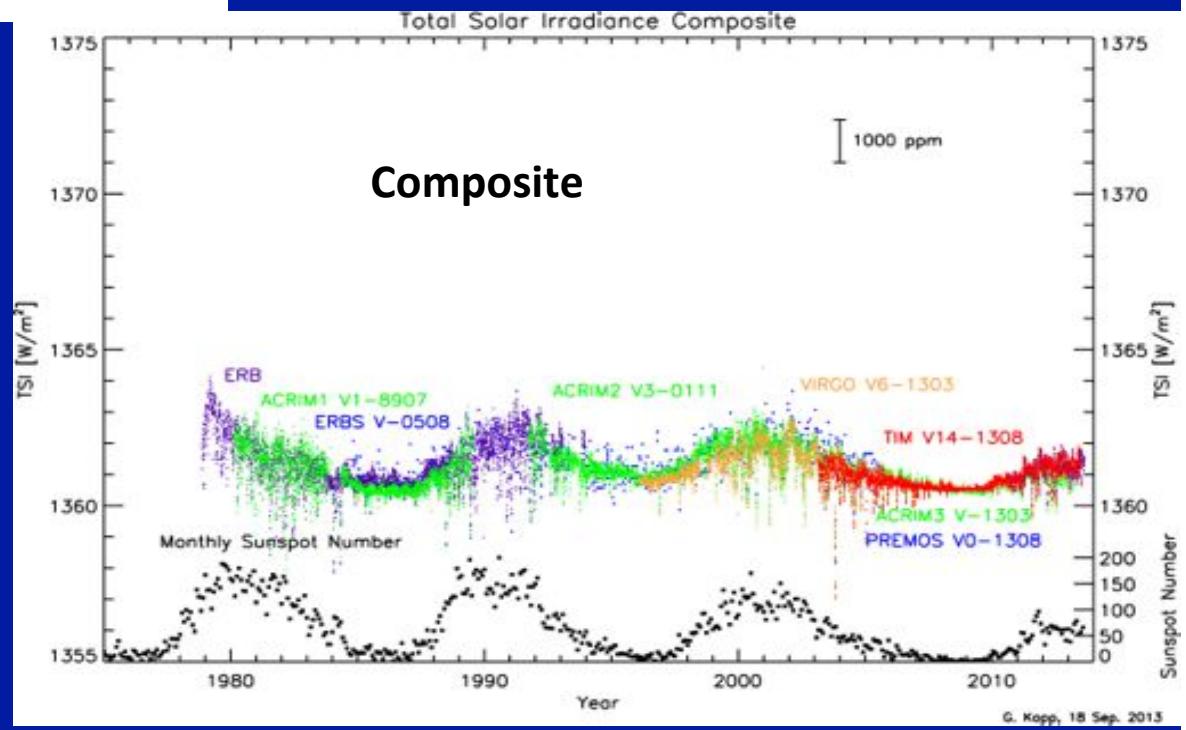
## 400 Years of Sunspot Observations



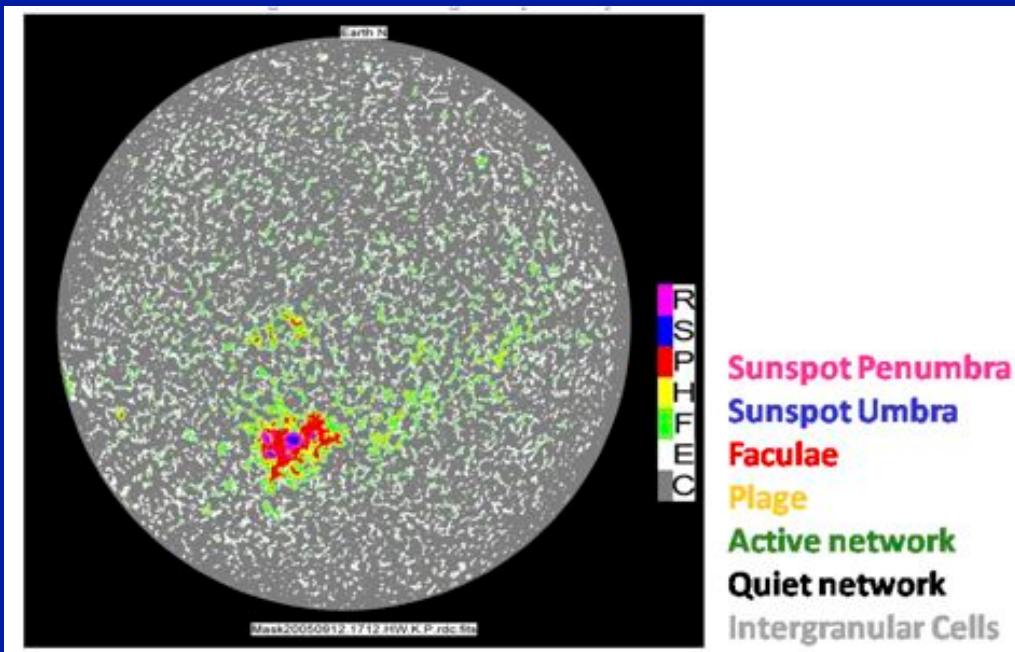
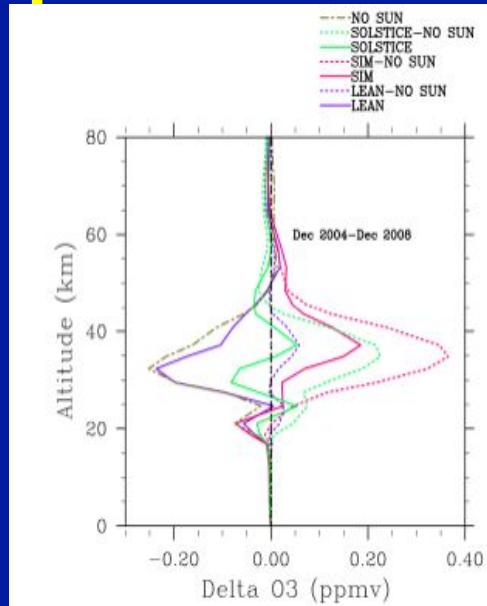
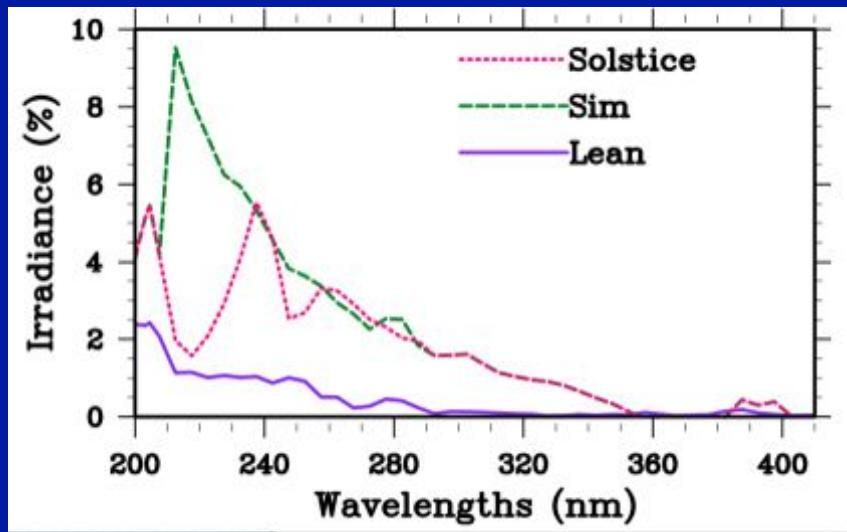


# Eclairage solaire total

PREMOS & SOVAP contribuent à la série de 35 ans de mesures de TSI



# Eclaircissement solaire spectral



La variabilité du spectre solaire UV est mal connue

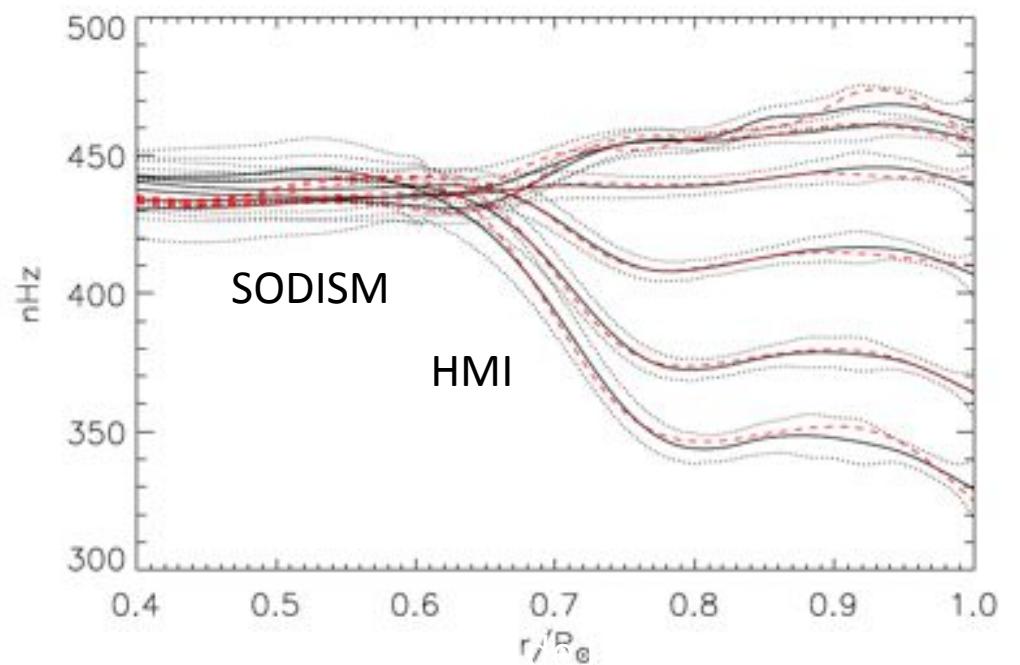
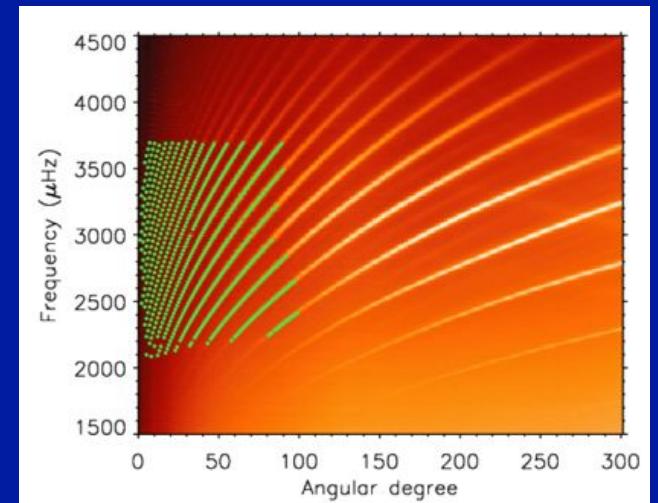
L'équilibre de la couche d'ozone est contrôlé par le flux solaire UV

Les données de PREMOS & SODISM contribuent à la reconstruction de la variabilité du spectre solaire

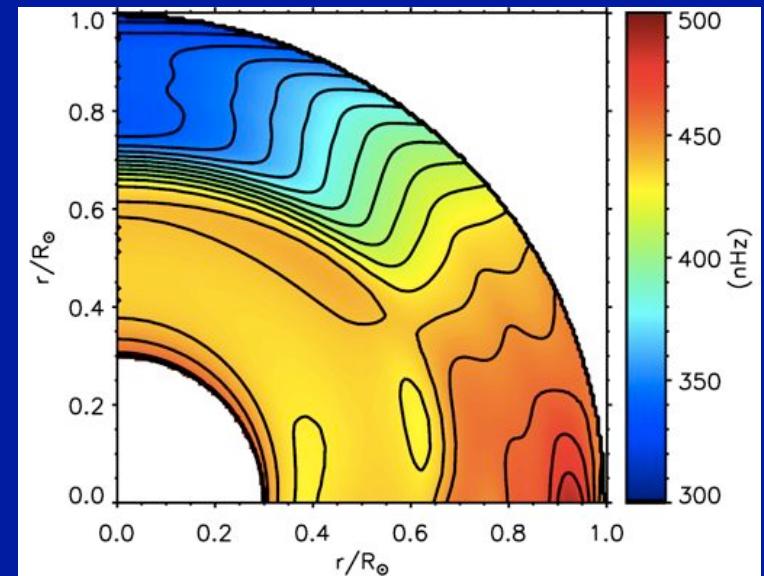


## - Héliosismologie (1/2)

- Détection des modes p, non-détection des modes g



photosphère pour les latitudes allant de  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  
 $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  et  $75^\circ$  de haut en bas.

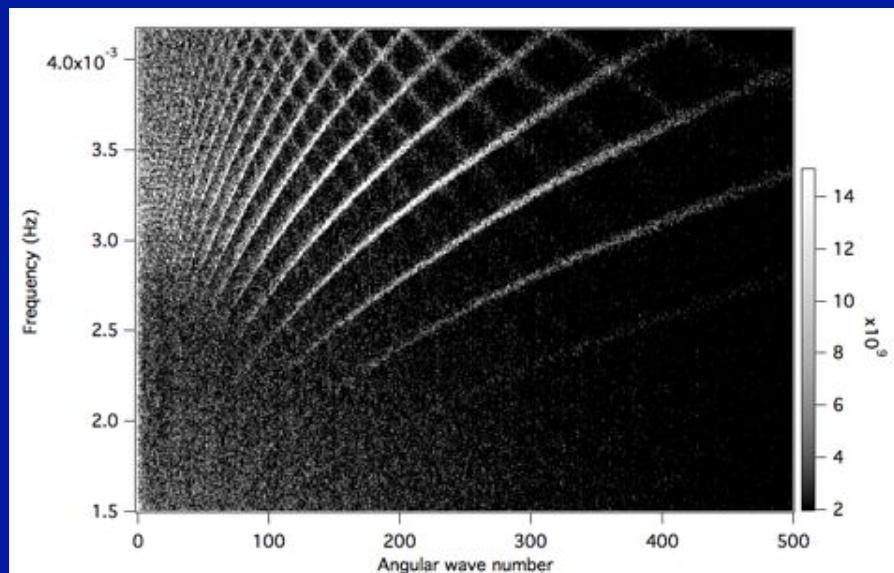


Corbard, Salabert, Boumier et al., 2013

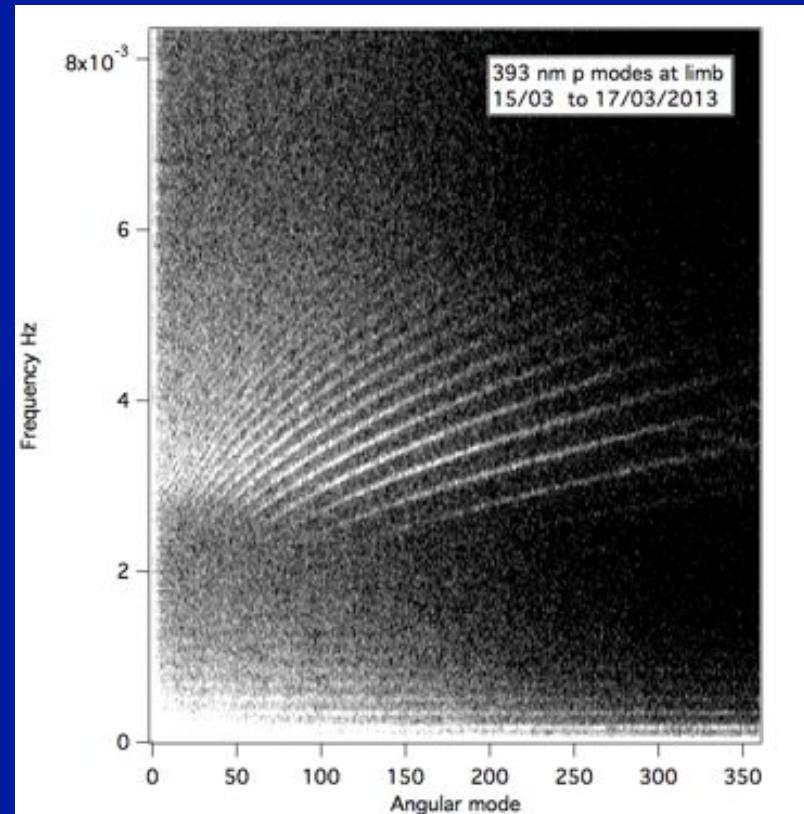
T. Corbard, P. Boumier, D. Salabert et al.

# Héliosimologie (2/2)

Modes p au limbe dans le visible (photosphère) et dans l'UV  
(chromosphère)



535 nm April 2011

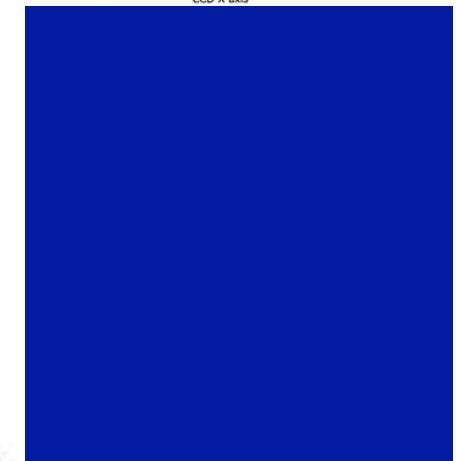
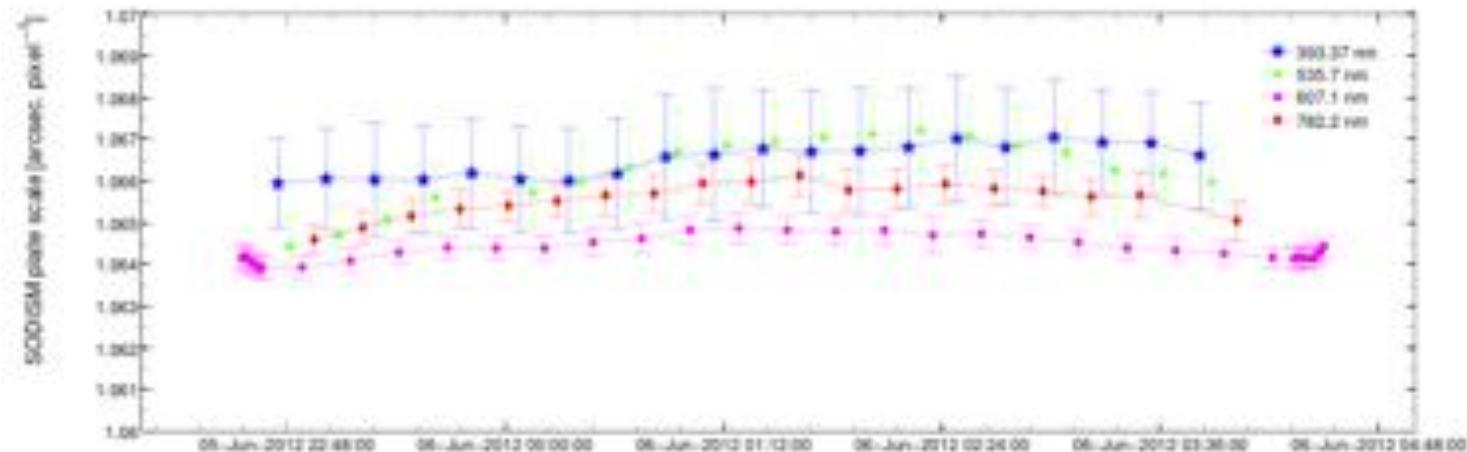
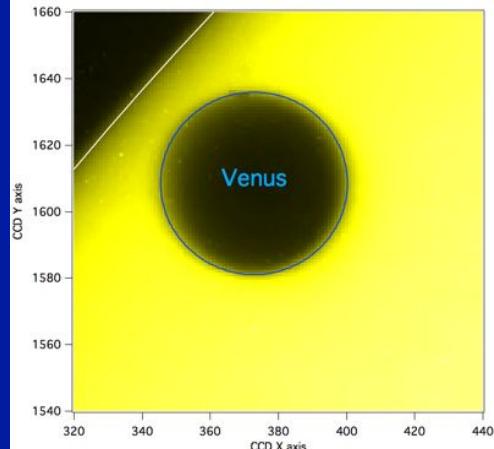


393 nm March 2013

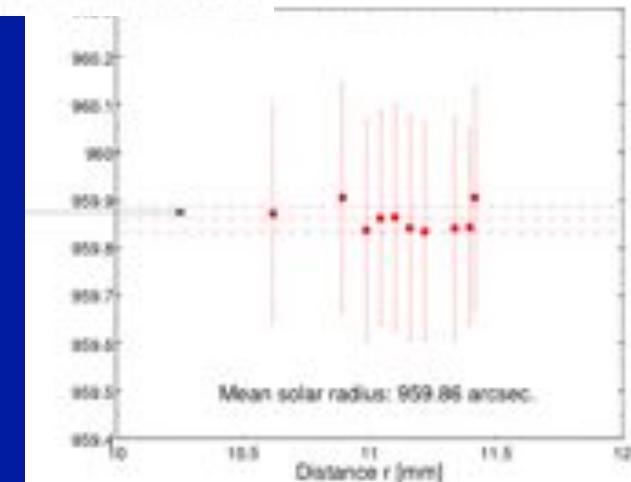
# Estimation du rayon solaire pendant le transit de Vénus(1/4)

- 1<sup>ère</sup> méthode: Estimation de l'échelle de l'image

*Meftah et al., Solar Physics, 2014*



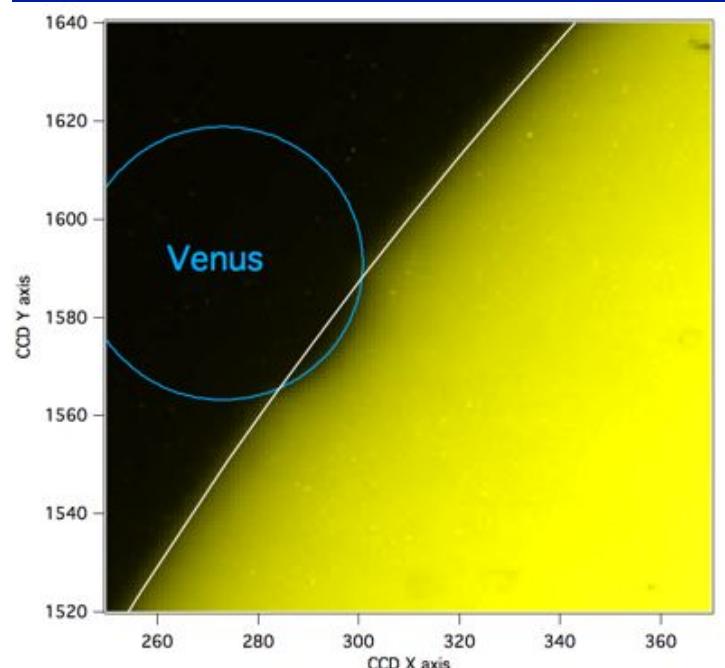
Rayon solaire=  $959.86 \pm 0.20$  "



## Estimation du rayon solaire pendant le transit de Vénus (2/4)

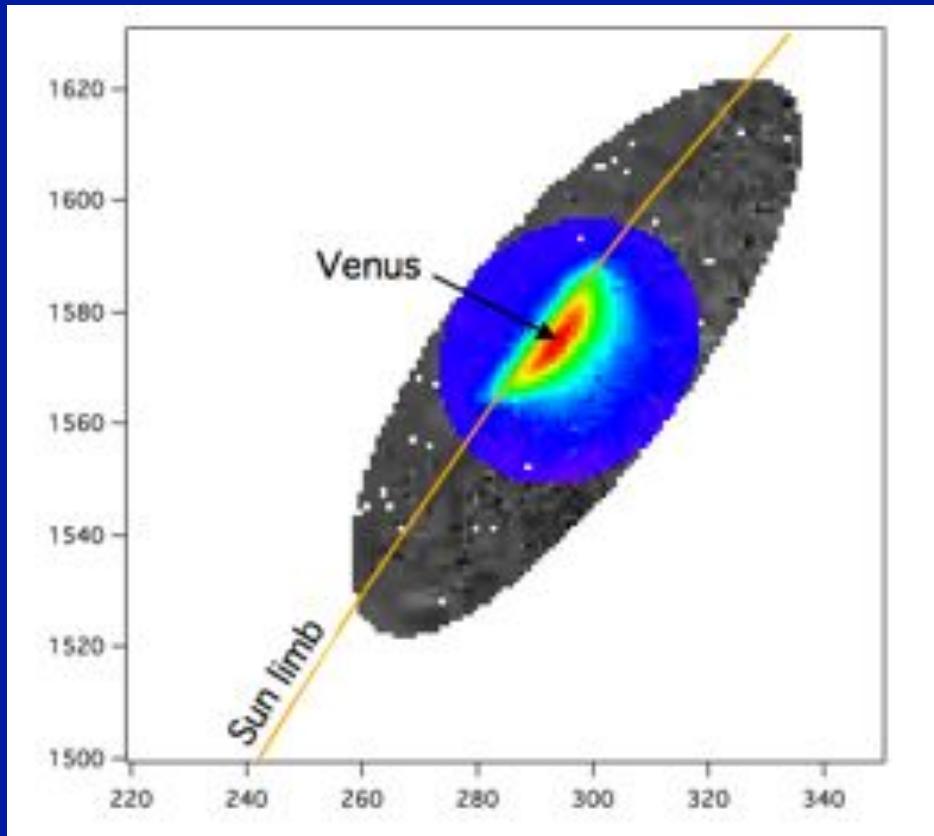
- Seconde méthode: décroissance du flux juste après le 1<sup>er</sup> contact et juste avant le 4<sup>ème</sup> contact à partir des observations de SODISM et de HMI
- Coopération entre le LATMOS et le groupe solaire de l'Université de Stanford

*Hauchecorne et al., A&A, 2014*



- On estime la décroissance du flux intégré dans une région autour du point de contact
- Varie au 1<sup>er</sup> ordre comme la puissance 2/3 de la distance entre le limbe de Vénus et le centre du soleil.
- Méthode dépendant de la précision des éphémérides (< 5 mas) mais insensible aux défauts optiques : facteur d'échelle, distorsion, PSF

## Estimation du rayon solaire pendant le transit de Vénus (3/4)



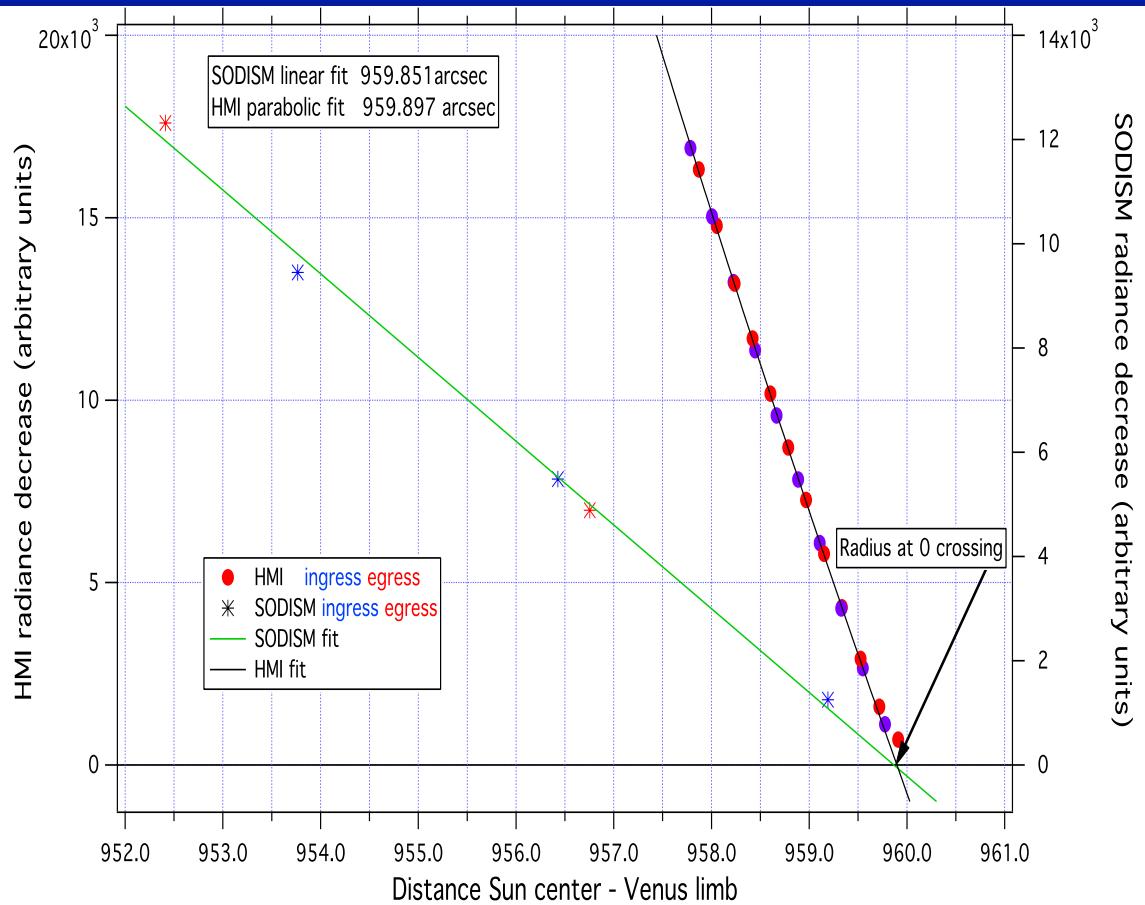
SODISM – 607 nm 5 Juin 2012,  
22:05 UT

Difference avec la dernière  
image avant le 1<sup>er</sup> contact à  
22:02 UT

Coloré : région où on estime la  
décroissance de flux

Grisé : estimation du niveau de fond

# Estimation du rayon solaire pendant le transit de Vénus (4/4)



Hauchecorne et al., ApJ, 2014

Bilan d'erreur

Ephémérides < 5mas

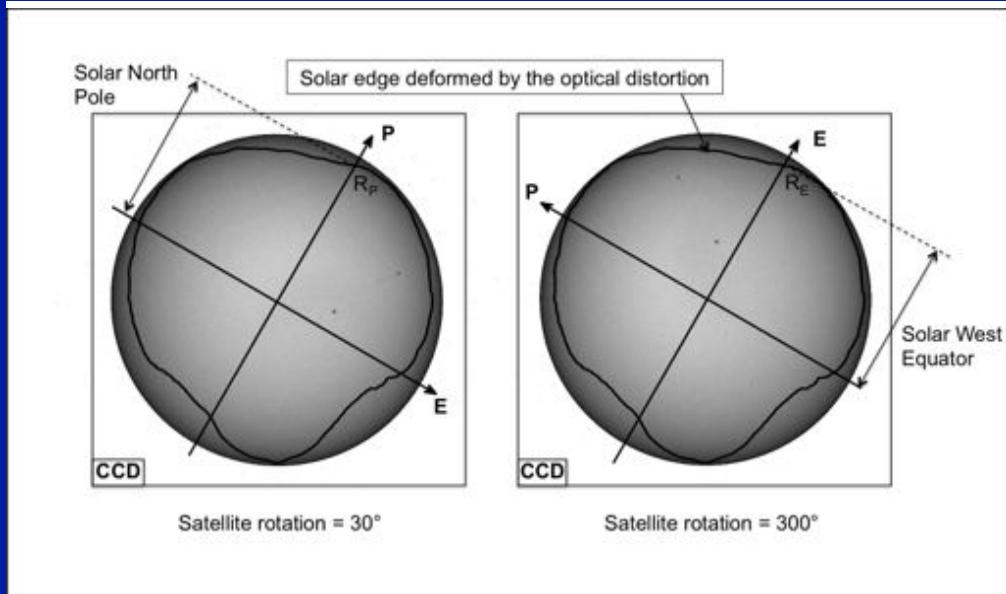
Décroissance du flux

Non-linéarité de la relation  
 $r > 0.999$

Sensibilité à la forme du modèle de limbe solaire

SODISM       $959''.85 \pm 0.19''$   
HMI             $959''.90 \pm 0.06''$

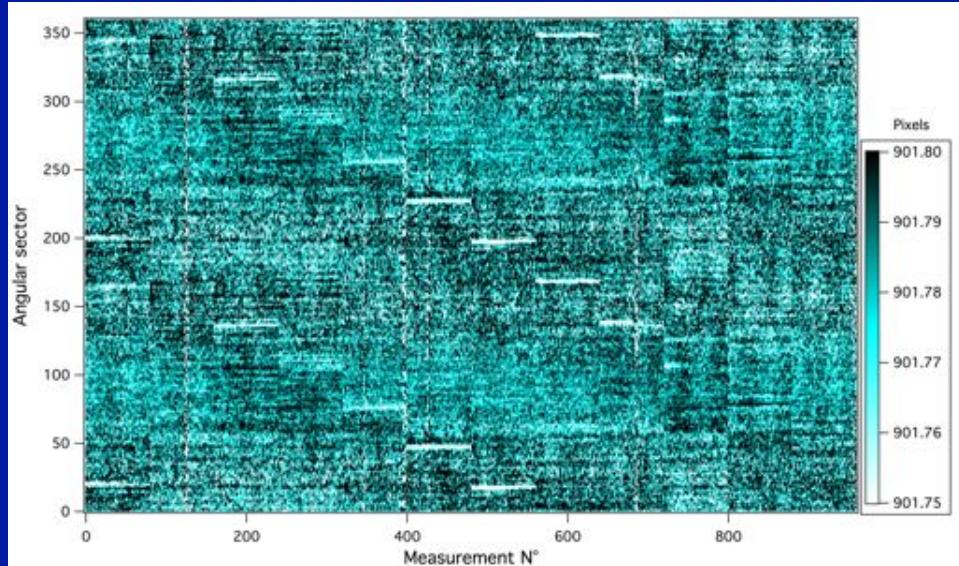
# Aplatissement solaire (1/2)



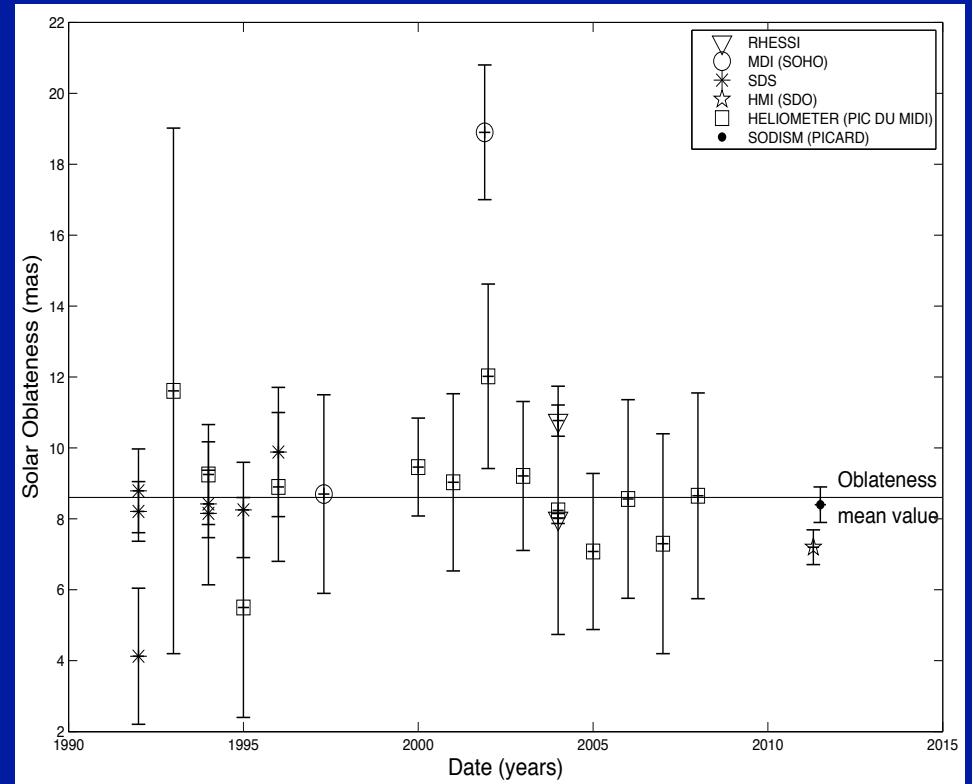
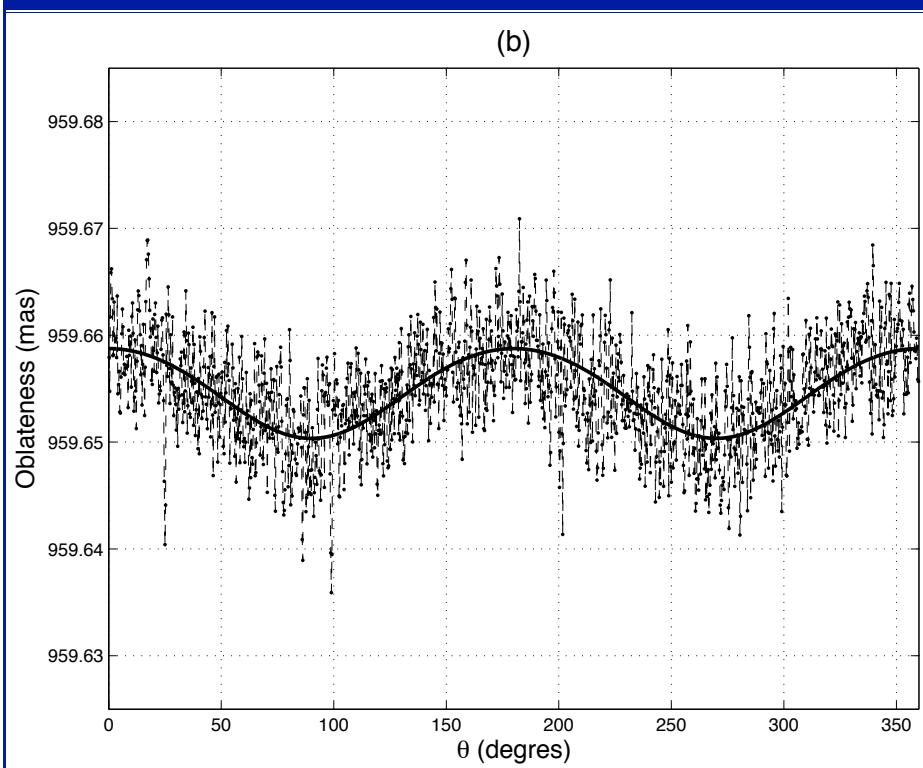
## Principe de mesure :

- Correction de distorsion angulaire
- Correction de l'évolution temporelle du facteur d'échelle (effets thermiques)

Rayon corrigé  
4-5/07/2011, 535.7 nm



## Aplatissement solaire (2/2)

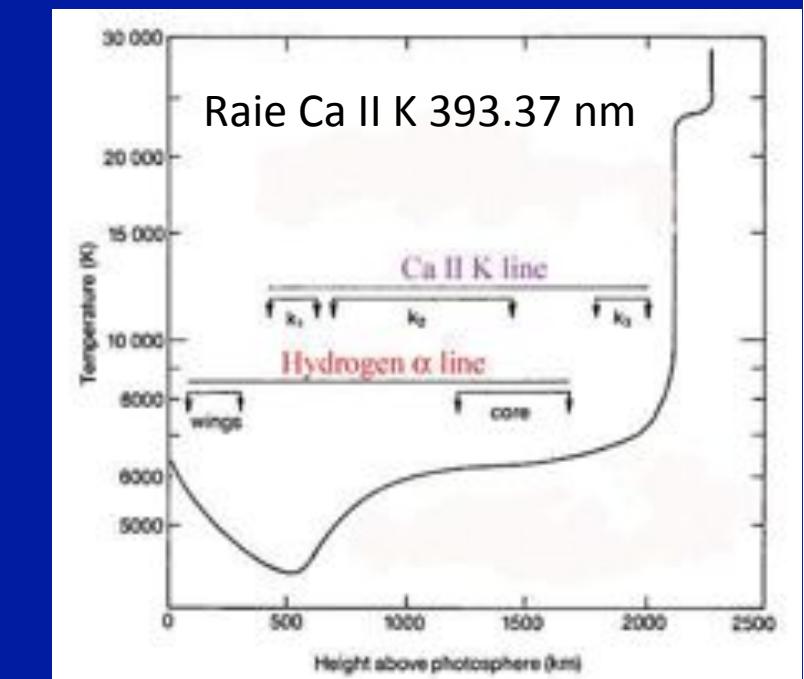
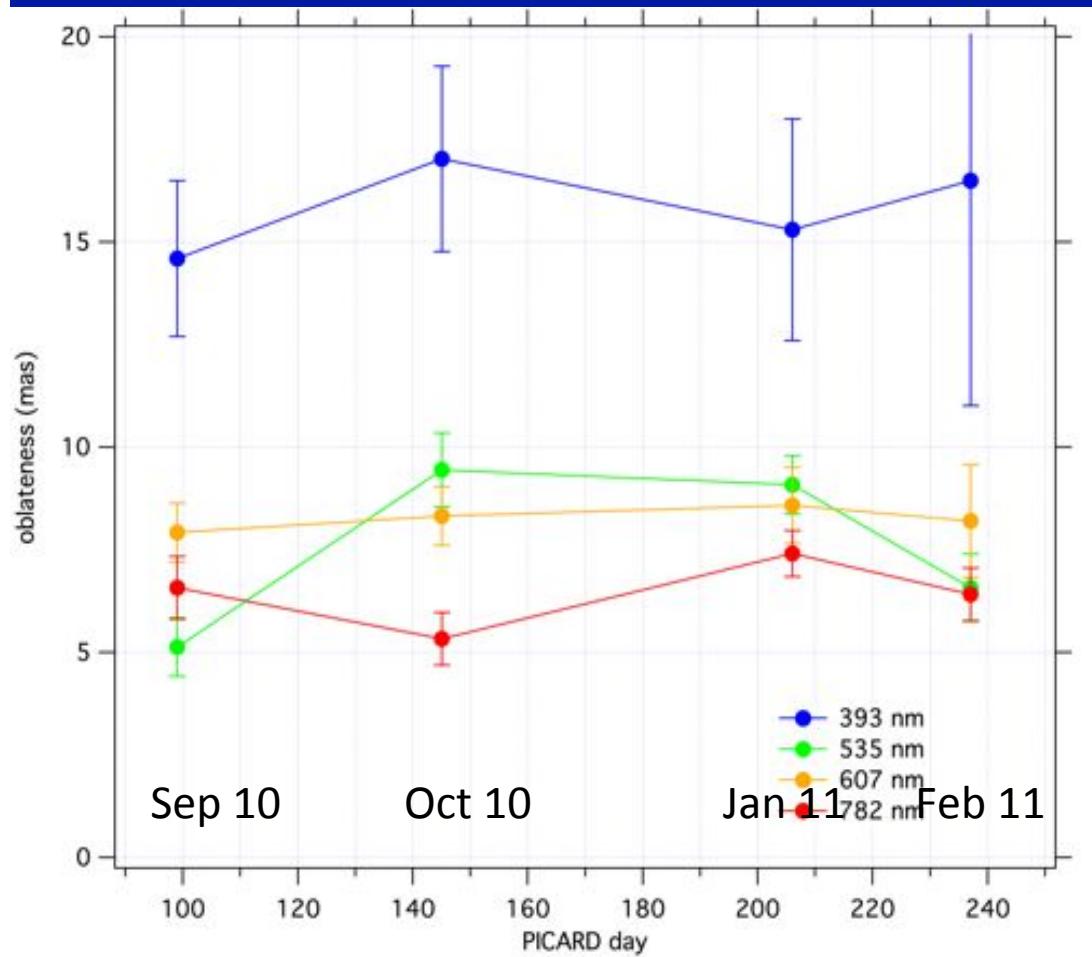


Aplatissement à 535.7 nm, Juillet 2011:  $8.4 \pm 0.5$  mas  
*Irbah et al., 2014, ApJ*

# Excès d'aplatissement dans la basse chromosphère

## Nouveau résultat scientifique de PICARD

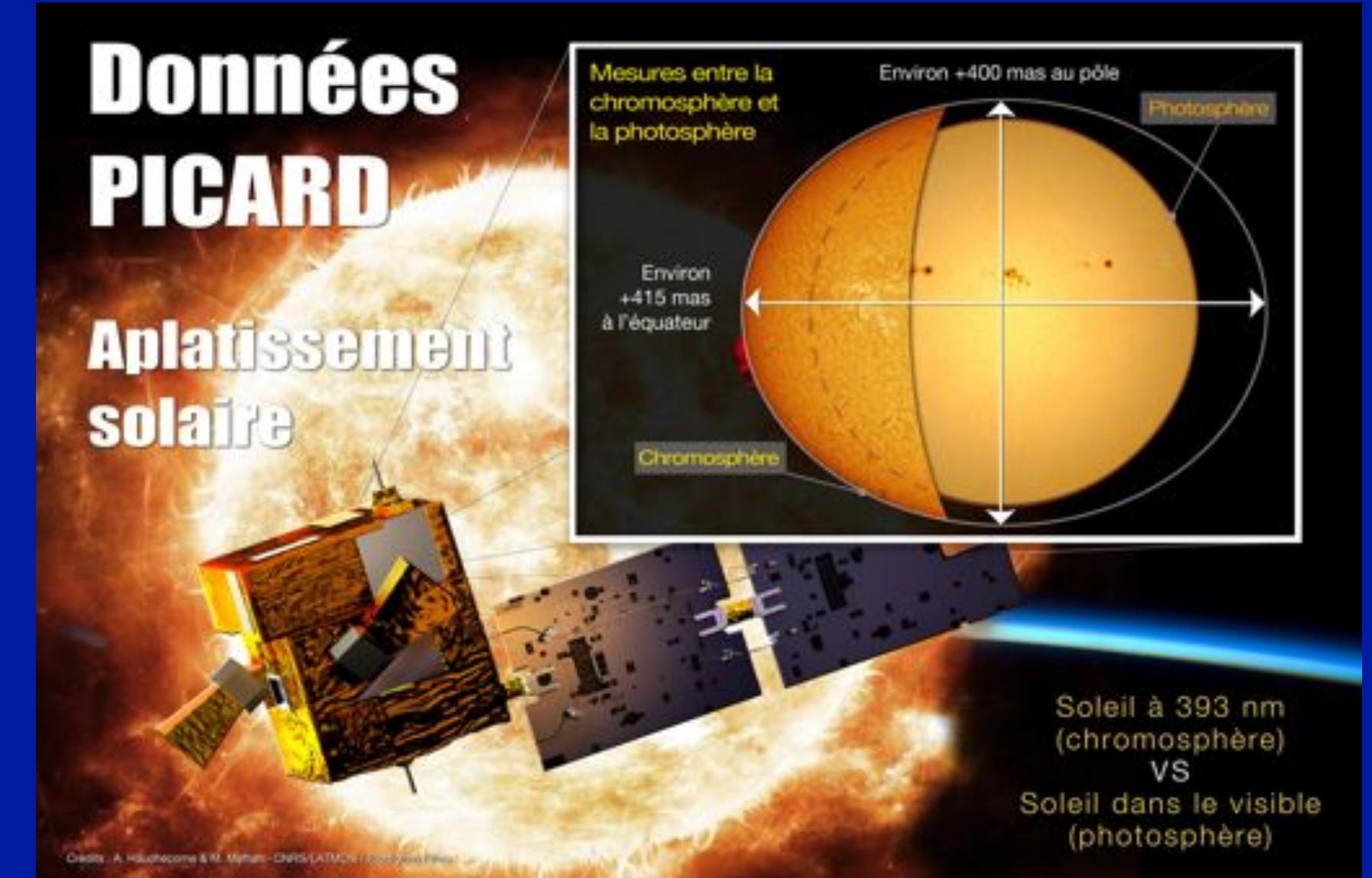
L'aplatissement solaire n'a jamais été observé dans la raie Ca II K à 393 nm qui provient en moyenne de 300 km au dessus de la photosphère  
→ Différence équateur-pôle 7 km



# Aplatissement solaire dans la chromosphère

Raie Ca II K à 393.37 nm

Vue schématique



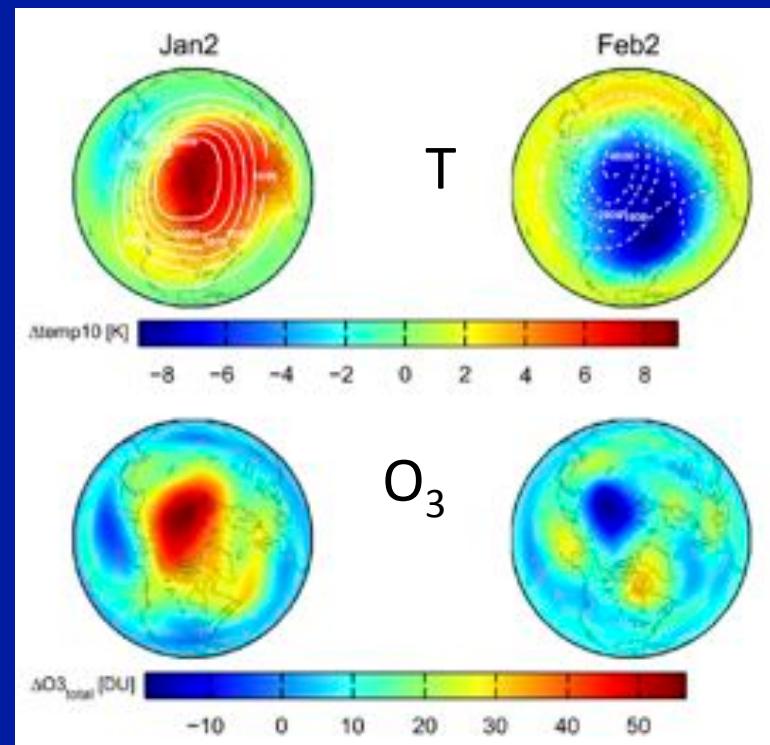
# Relations soleil-climat

## Modèles d'atmosphère et de climat terrestre

La mission PICARD a permis de lancer de développer des études sur l'impact de la variabilité de l'UV solaire sur l'atmosphère terrestre à l'aide du modèle de climat de l'IPSL LMDz-Reprobus

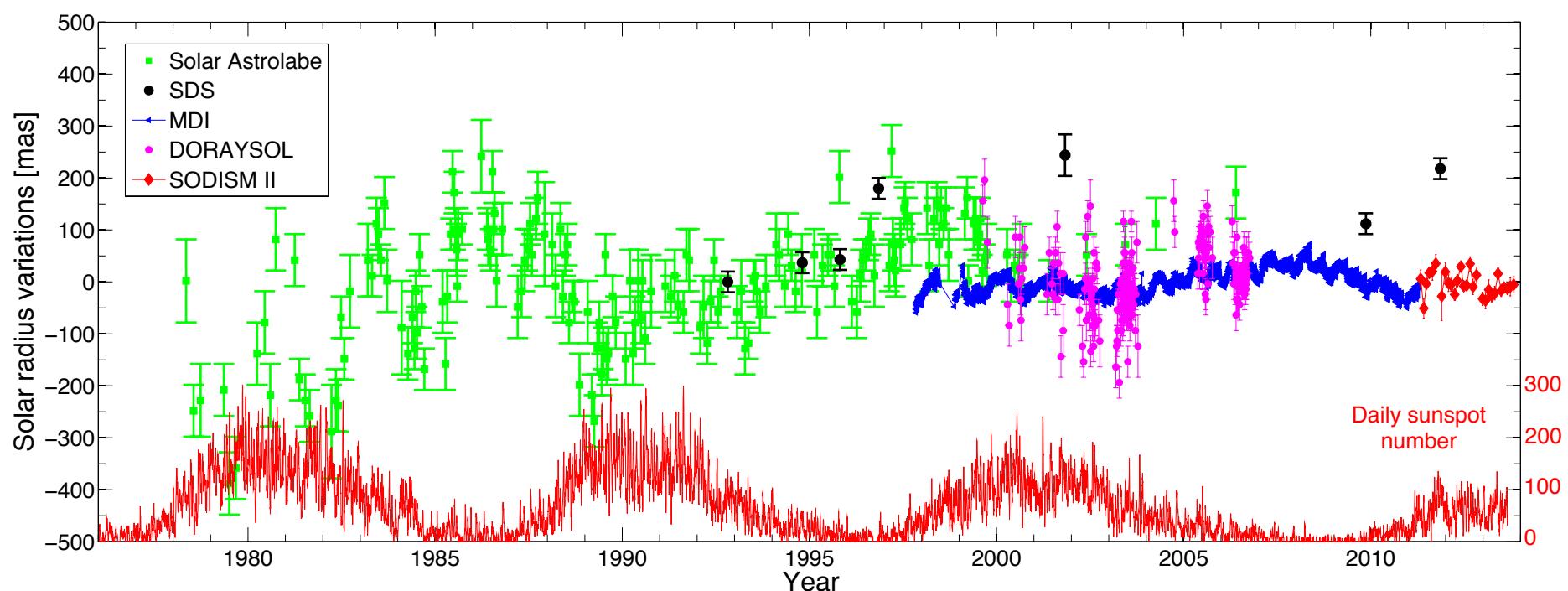
*Marchand et al., JGR, 2012*

LMDz-Reprobus: différence entre le max et le min du cycle solaire



# Constance du diamètre solaire

## Synergie avec PICARD sol

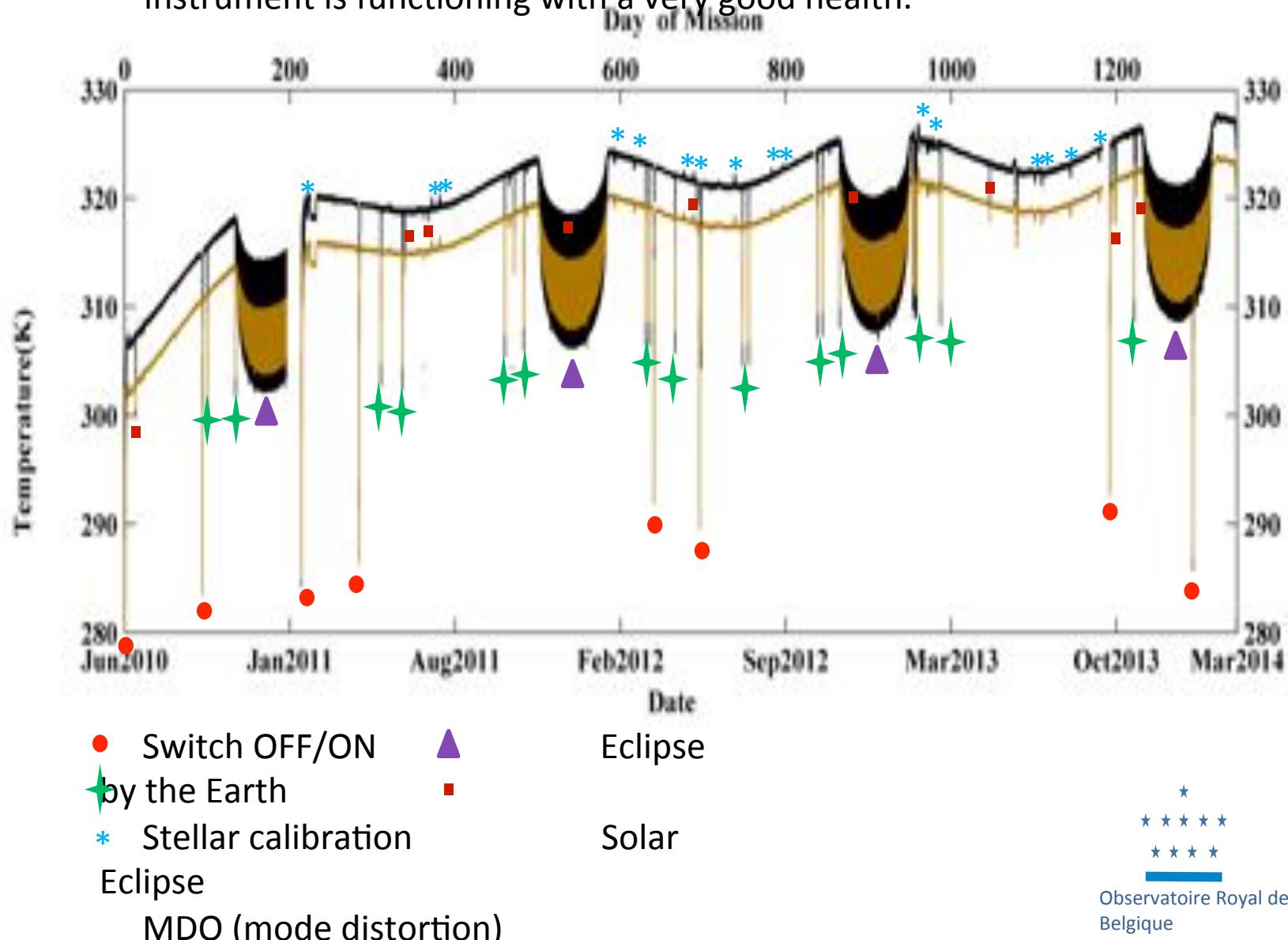


*Meftah et al., 2014*

# SOVAP-BOS

Zhu Ping et al., 2014

The duty cycle of BOS is started at 28 Jun, 2010. It is looking at Sun as well as Earth with 10 seconds cadence. Thanks to the efforts of PICARD team, the instrument is functioning with a very good health.



The mean value during the period July 0, 2010 to October 31, 2013 is subtracted from the original records.

a: Picard-BOS N2v01 product. 10 seconds sampling

(<http://picard-bos.oma.be>)

b: SOHO-Virgo v6\_004 product 1 hour sampling

(

<ftp://ftp.pmodwrc.ch/pub/data/irradiance/virgo/TSI/>)

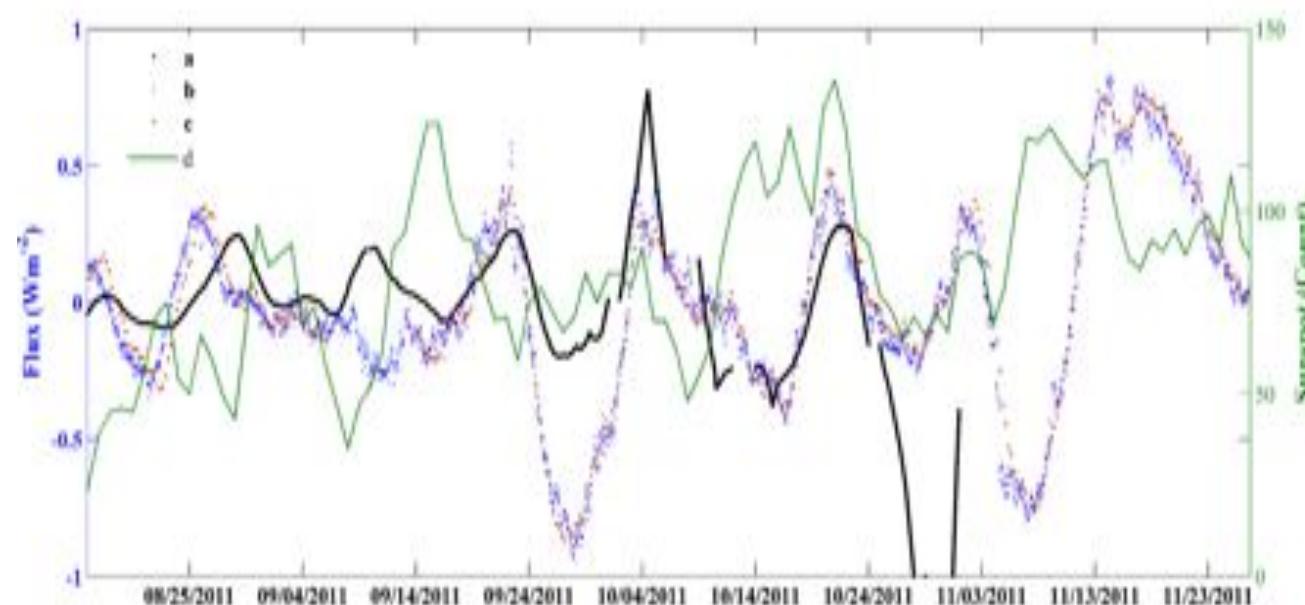
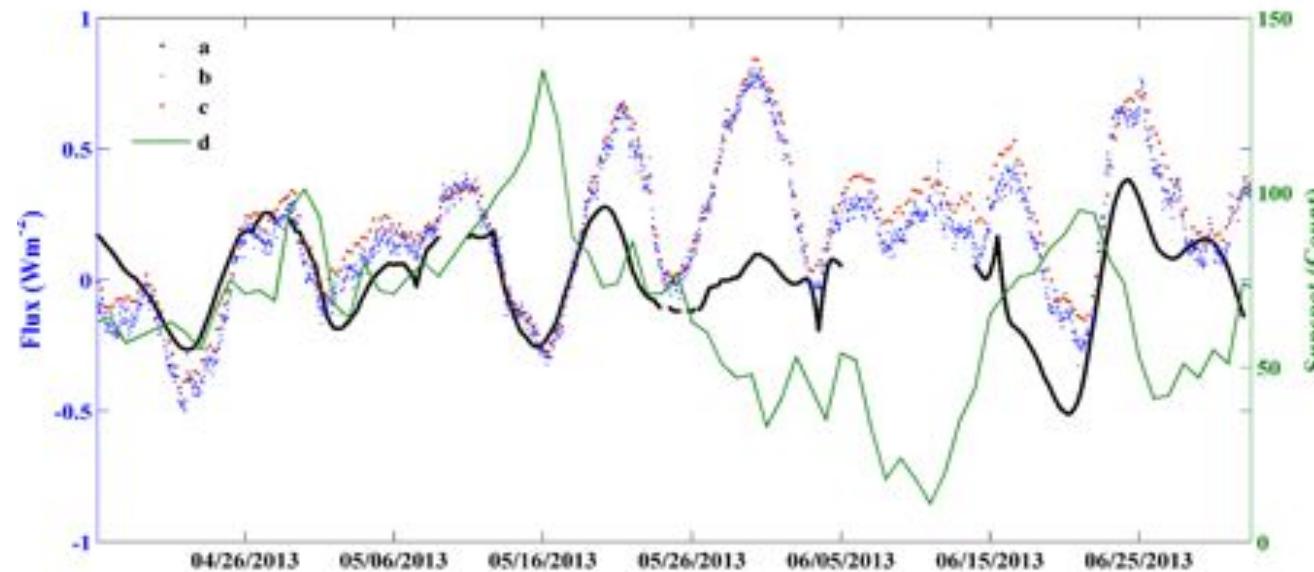
c: SORCE-TIM v15 product 6 hour sampling

(

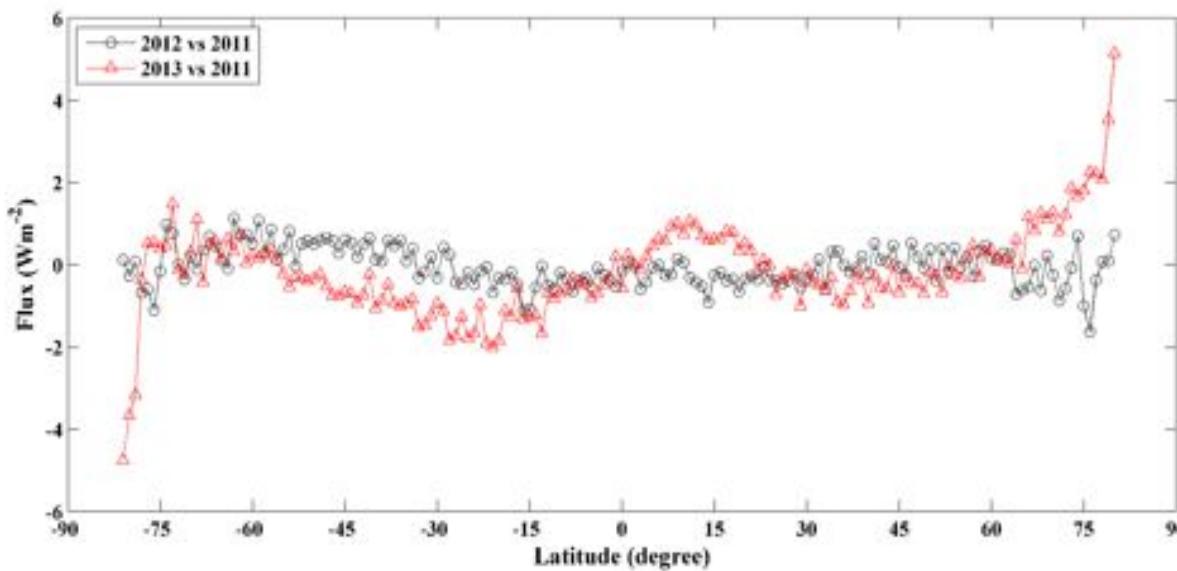
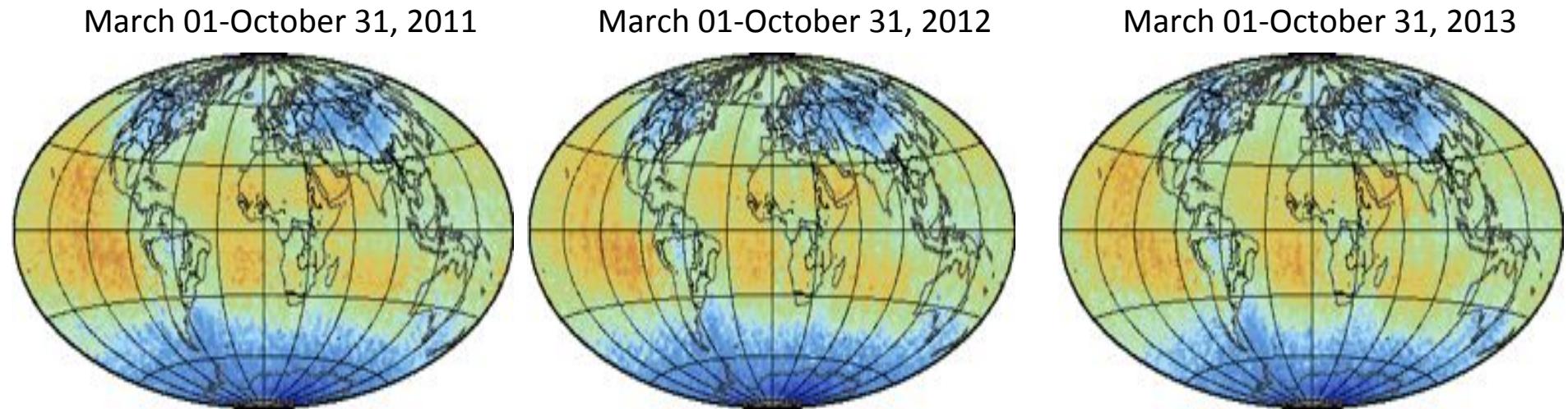
<http://lasp.colorado.edu/home/sorce/data/tsi-data/>)

d: Daily mean Sunspot number (

<http://sidc.oma.be/>)



After removing the solar part from the records of the BOS, the N2v01 radiation product is projected on the top-of-atmosphere with 1 degree by 1 degree resolution.



Left figure shows the differences of zonal mean value between year 2013, year 2012 and year 2011.

# Principaux résultats scientifiques

<b>Diamètre solaire</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mesure absolue du rayon solaire (959.9 arcsec.) et nouvelle méthode de calcul (insensible à la psf) :</li><li>- Variation du rayon solaire au cours du temps (synergie Picard Sol) : &lt; 40 mas et sans lien avec l'activité solaire</li></ul>
<b>Aplatissement solaire</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- environ 8 mas en accord avec les modèles théoriques</li><li>- Variation au cours du temps sans lien avec l'activité solaire</li><li>- Excès d'aplatissement solaire à 393 nm (environ 16 mas)</li></ul>
<b>Eclairement solaire total</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- TSI de 1362 W/m<sup>2</sup>, en accord avec TIM/SORCE &amp; continuité des mesures PICARD lors de l'arrêt de TIM</li></ul>
<b>Héliosismologie</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Modes de pression : rotation différentielle et amplification au limbe</li><li>- Pas de détection des modes gravité</li></ul>



Merci aux équipes du CNES, du B-USOC et  
des laboratoires qui ont permis d'obtenir  
ces résultats scientifiques

Symposium « Solar Metrology – needs and methods »  
7-9 octobre 2014, Paris