

## Introduction

METEOSPACE est un nouveau projet de partenariat entre l'Observatoire de Paris, l'Observatoire de la Côte d'Azur, l'Armée de l'Air et une société de service (LUNA technology) pour le développement et l'exploitation d'un ensemble de petits télescopes H-alpha/Ca II K/Ca II H/Bande G qui doivent être installés sur le plateau de Calern. L'objectif est la surveillance de l'activité solaire à la fois pour la recherche et pour ses applications en météorologie de l'espace par le biais de l'observation optique en continu et à haute cadence des phénomènes dynamiques à la source de l'activité solaire: éruptions, ondes de Moreton associées, déclenchement des éjections de masse coronale, déstabilisation des filaments.

## La surveillance Solaire à Calern: 40 ans d'astrométrie solaire, des astrolabes à l'imagerie directe de la photosphère et de la chromosphère

### Objectif scientifique de l'astrométrie solaire.

Aucun modèle de la 'dynamo' solaire n'explique les variations de luminosité observée avec le cycle d'activité (0.1 % pour la TSI). Si des tendances existent sur le long terme (niveaux de TSI différents entre deux minima solaire), ces modèles sont a fortiori incapables de les expliquer. Ces changements de luminosité peuvent être associés en grande partie à l'évolution des tâches et facules mais proviennent de la libération d'une énergie stockée quelque part à l'intérieur du Soleil et qui affecte aussi la taille du Soleil. La détection de ces très petites variations de taille du Soleil peut donc nous apprendre quelque chose sur la source de cette énergie et sur la nature des processus qui conduisent aux variations de luminosité sur un cycle et peut être à plus long terme.

Le diamètre solaire n'est donc pas un simple indice de l'activité, qui serait plus difficile que d'autres à mesurer, il représente une donnée complémentaire aux indices de l'activité magnétique et qui permettrait de mieux comprendre les mécanismes à l'origine des variations de luminosité. C'est un paramètre difficile à mesurer avec la précision voulue mais, si des variations sont observées, même très petites, cela aura des implications très importantes sur notre compréhension des mécanismes permettant les variations de luminosité de notre étoile et qui ont un impact sur Terre.

### Devons nous continuer un programme d'astrométrie solaire sur le long terme? Dans quel cadre ?

- Les premiers résultats obtenus au sol par imagerie directe montrent avant tout que la très bonne stabilité de ces mesures permet d'envisager la poursuite d'un suivi sur le long terme au sol par cette méthode. Etre capable d'établir une limite à 50 mas ou mieux sur le long terme en parallèle avec le suivi de l'irradiance est important pour toute interprétation de l'évolution à long terme de l'irradiance et l'étude de l'influence des variations solaire sur le climat. L'instrumentation PICARD-SOL est clairement la mieux positionnée au niveau mondial pour cette tâche.
- « La surveillance à long terme fournit de plus les données nécessaires pour explorer d'autres relations entre le Soleil et la Terre, comme par exemple la contribution potentielle de l'activité solaire à l'évolution du climat. » [Action Nationale pour l'Observation Surveillance du Soleil et de l'environnement spatial de la Terre (ANO-6)]



### La situation actuelle – Les résultats

La difficulté et le challenge en astrométrie, comme en radiométrie (suivi de l'irradiance totale et spectrale) est d'établir une série à long terme, cohérente et calibrée sur le long terme, pouvant donner des indices d'évolution séculaire de notre étoile. Pour la radiométrie, les observations au sol ne sont pas possibles et les débats concernant le raccordement et l'inter-calibration des mesures des différentes missions spatiales sont toujours d'actualité. Pour l'astrométrie, les difficultés rencontrées pour calibrer les images PICARD et leur évolution dans l'environnement spatial basse orbite et les ajustements optiques (refocalisation) effectués périodiquement sur SDO rendent le suivi astrométrique à long terme difficile. Les missions spatiales permettent cependant d'établir des points de référence, notamment lors du dernier transit de Venus (Meftah et al. 2014, SolPhys 289, 1; Hauecorne et al. 2014, ApJ 783, 127) et permettent une mesure précise de l'asphéricité solaire (8.4±0.5 mas, Irbah et al. 2014, ApJ 785, 89).

- Depuis l'espace, par imagerie directe SOHO/MDI donne une limite sur un cycle de 23 mas (Bush et al. 2010, ApJ 716, 1381) mais les mesures par transit diffèrent de plus de 500 mas (!) entre 2003, 2006 d'une part (transits de mercure observés par MDI, Emilio et al. , 2012, ApJ 750, 135) et 2012 d'autre part (transit de venus observé par SDO/HMI, Emilio et al., 2015, ApJ 798, 48).
- Côté sol, l'astrométrie est possible mais compliquée par les effets atmosphériques, principalement les effets de la turbulence optique. Le programme d'astrométrie initié en 1974 à l'OCA à partir d'astrolabes a ainsi été poursuivi à partir de 2011 par un programme d'astrométrie par imagerie directe basée sur l'utilisation du modèle de qualification de PICARD/SODISM accompagné d'un moniteur de turbulence dédié (Ikhlef et al., 2016, MNRAS 458, 517). **Les premiers résultats ont été publiés (Meftah et al. 2014, A&A 569, A60; Meftah et al. 2015, ApJ 808, 4) qui ont permis d'obtenir une limite supérieure de 50 mas pour les variations du rayon sur la phase ascendante du cycle 24 et de mettre en évidence une oscillation de très faible amplitude autour de 130 jours de période.**

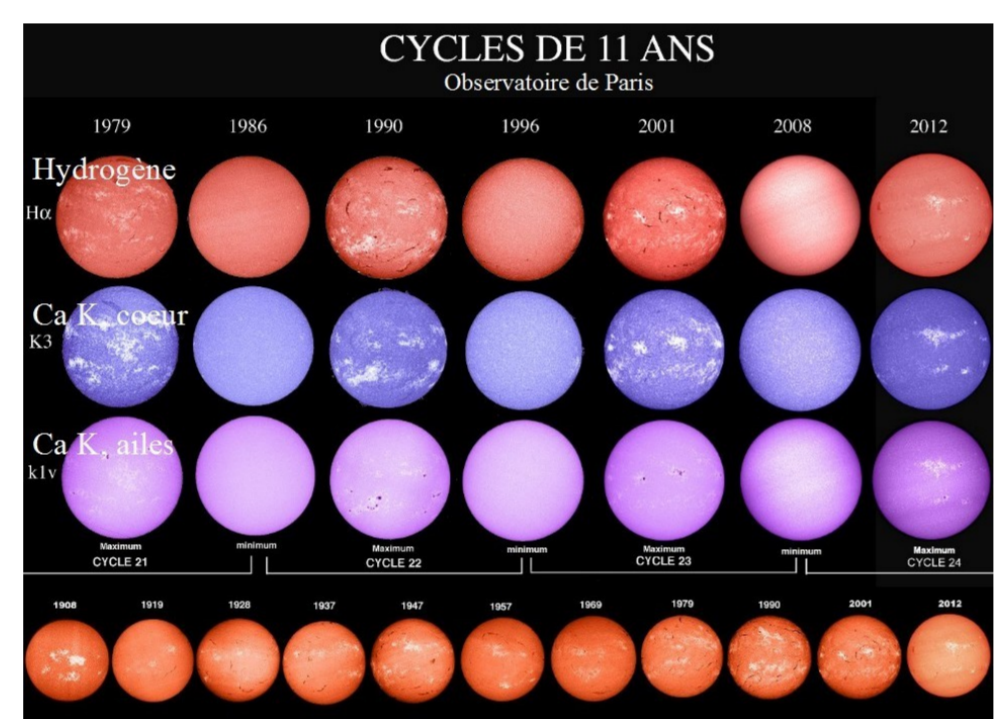
## Les observations solaires systématiques : le contexte

### Contexte national

- Observatoire de Paris à Meudon (label SO6/INSU)

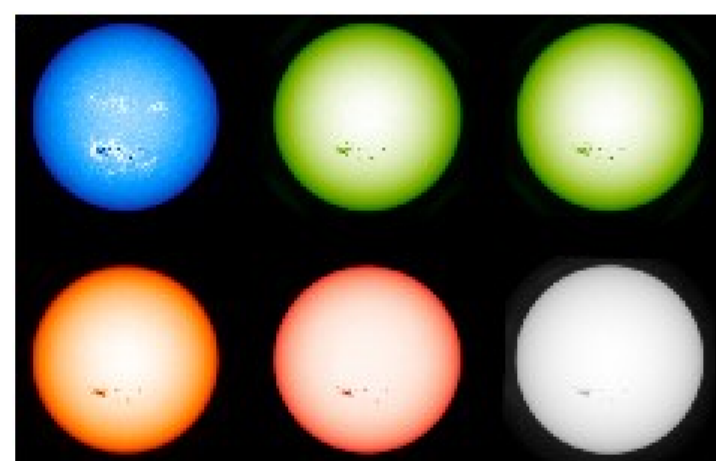
Objectif adapté au faible ensoleillement: observations à l'échelle du cycle à raison d'une image/jour (chromosphère)

→ **VARIABILITE, CYCLICITE A LONG TERME**



- Observatoire Midi Pyrénées / Pic du Midi (label SO6/INSU)

Instrument CLIMSO privé (FIDUCIAL) à fonctionnement associatif (les Observateurs Associés) sous pilotage scientifique de l'IRAP (chromosphère, couronne)



Haut: 393.37 nm, 535.7 nm (deux filtres)  
Bas: 607.1, 782.2 et 1025.0 nm

- Observatoire de la Côte d'Azur/ Calern (label SO6/INSU jusqu'en 2014)

PICARD sol (imagerie continue photosphérique + chromosphère CaII K)

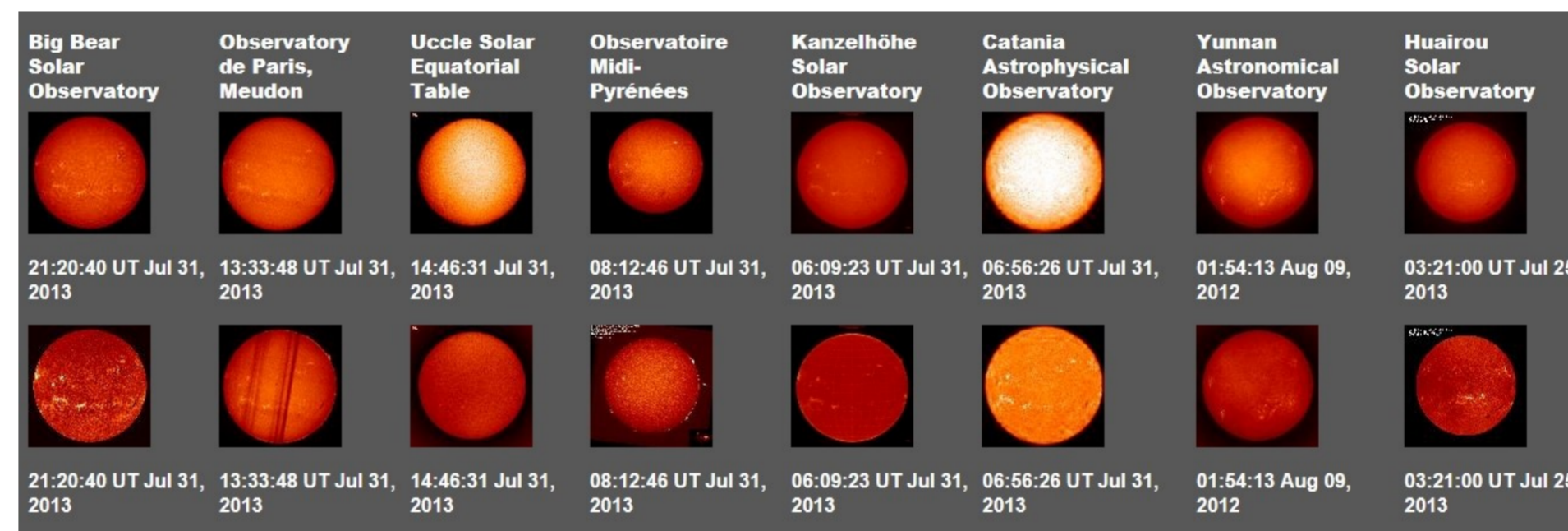
auxquels se joindra METEOSPACE pour former un nouveau SN0 ? Atelier à Nice 19-20 Oct 2016

<https://meteospace.sciencesconf.org>

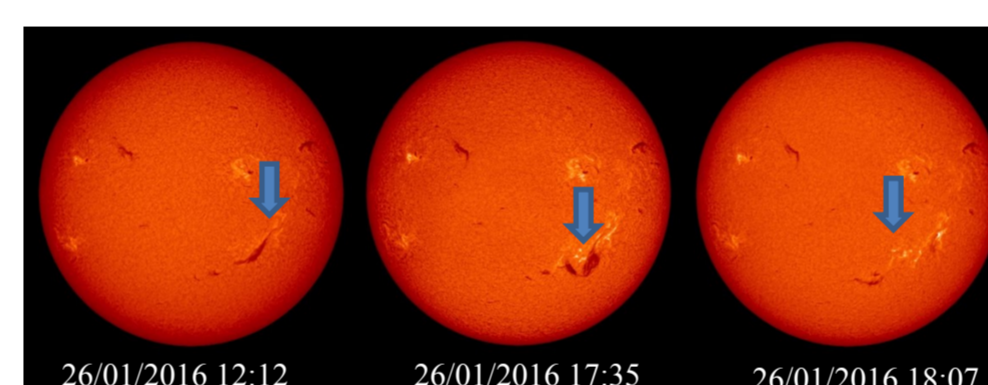
### Contexte international

Contexte sol: réseaux mondiaux répartis en longitude pour suivi 24H/24 de l'activité solaire

Global H $\alpha$  network (8 stations hétérogènes, peu d'observations continues)

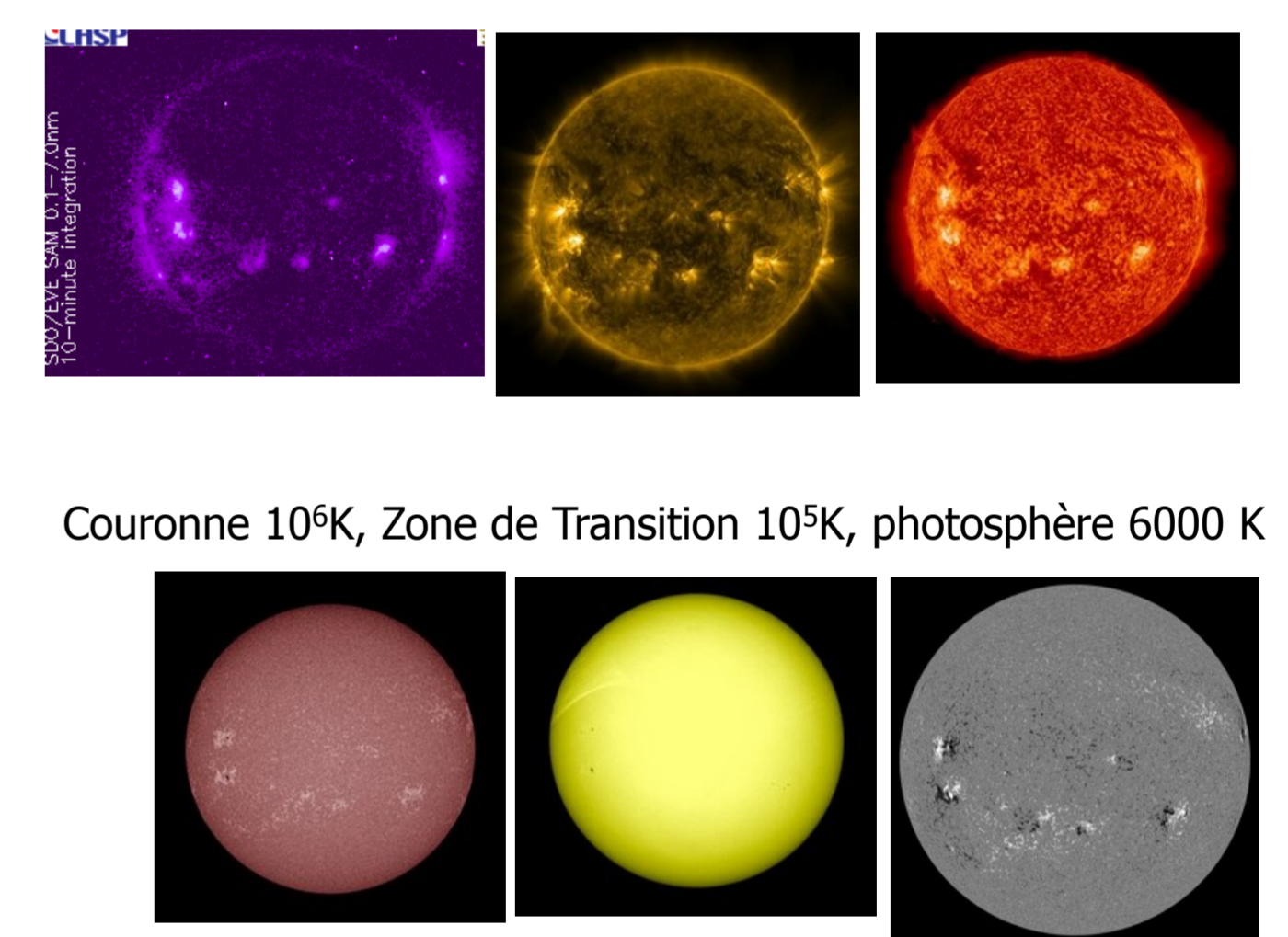


+ Réseau héliosismologique GONG (7 bons sites homogènes pour observations continues, le seul européen est Tenerife)



Eruption de filament vue en H-alpha par GONG le 26/01/2016

Contexte spatial: SDO/NASA 1 image/min, X, UV, optique



Couronne 10<sup>6</sup>K, Zone de Transition 10<sup>5</sup>K, photosphère 6000 K

**MAIS, depuis l'espace, pas d'observation chromosphérique à la source de l'activité solaire**

## Le projet METEOSPACE

### METEOSPACE en résumé

Surveillance des éruptions et instabilités des filaments, déclenchement des CME (échelle de temps = 24 H)

+ Outils opérationnels de prévision

2 groupes de bénéficiaires:

Communauté scientifique solaire internationale

+ Défense nationale (Armée de l'air CDAOA) dans la lignée du programme FEDOME: programme RAPID/DGA

3 partenaires: LUNA/OP/OCA – démarrage 01/10/2015

Une convention financière: OP/DGE

+ 3 conventions de partenariat: LUNA/OP/OCA

Prolongement du projet FEDOME (antenne solaire ORFEES à NANCAY) dans le domaine des observations optiques



Coût: 0.5M€

Equipements financés: coupoles + instruments + base de données

DGA: 95k€  
DIM ACAV: 23k€ PNST: 7 k€  
OP: 25000 € (matériel existant mis à disposition)  
+ salaires OP (75 k€)  
+ salaires OCA (150 k€)  
+ salaires LUNA (125 k€)

### PHASE 1: construction/réalisation 2015-2017

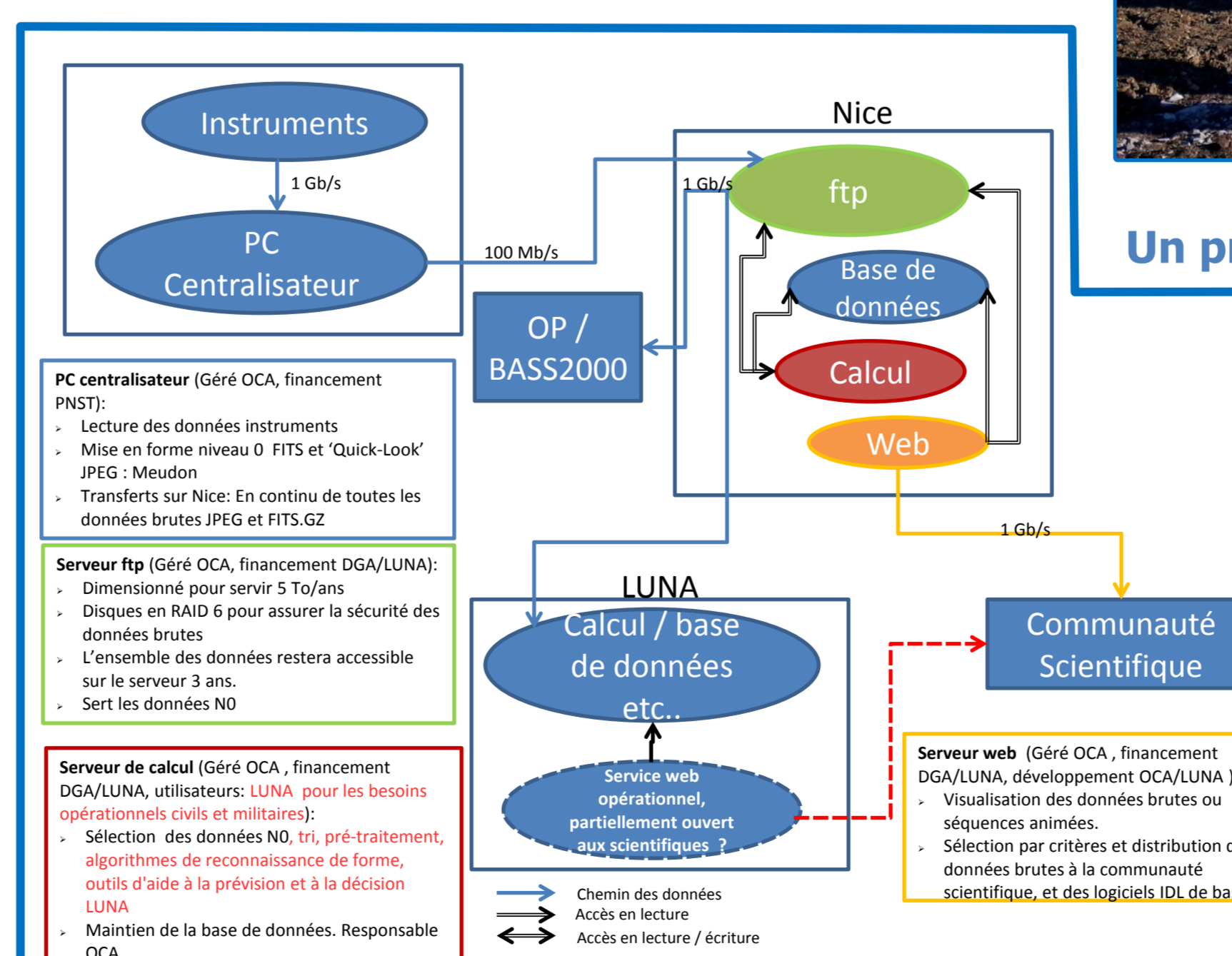
- LUNA (PI): algorithmique, outils opérationnels de prévision
- OP: instrumentation
- OCA: infrastructure d'accueil et archivage des données

### PHASE 2: exploitation à partir de 2018

- OCA: production des données et archivage
- OP: maintenance instruments
- LUNA: jouvence outils de prévision
- Utilisation opérationnelle (CDAOA) et scientifique

### PHASE 3: extension à d'autres sites (> 2020, à définir)

- couverture en longitude pour observations 24H/24 ?
- H-alpha sur NANOSAT ?



### Les instruments : automatiques, 3 lunettes et guidage

#### Chromosphère

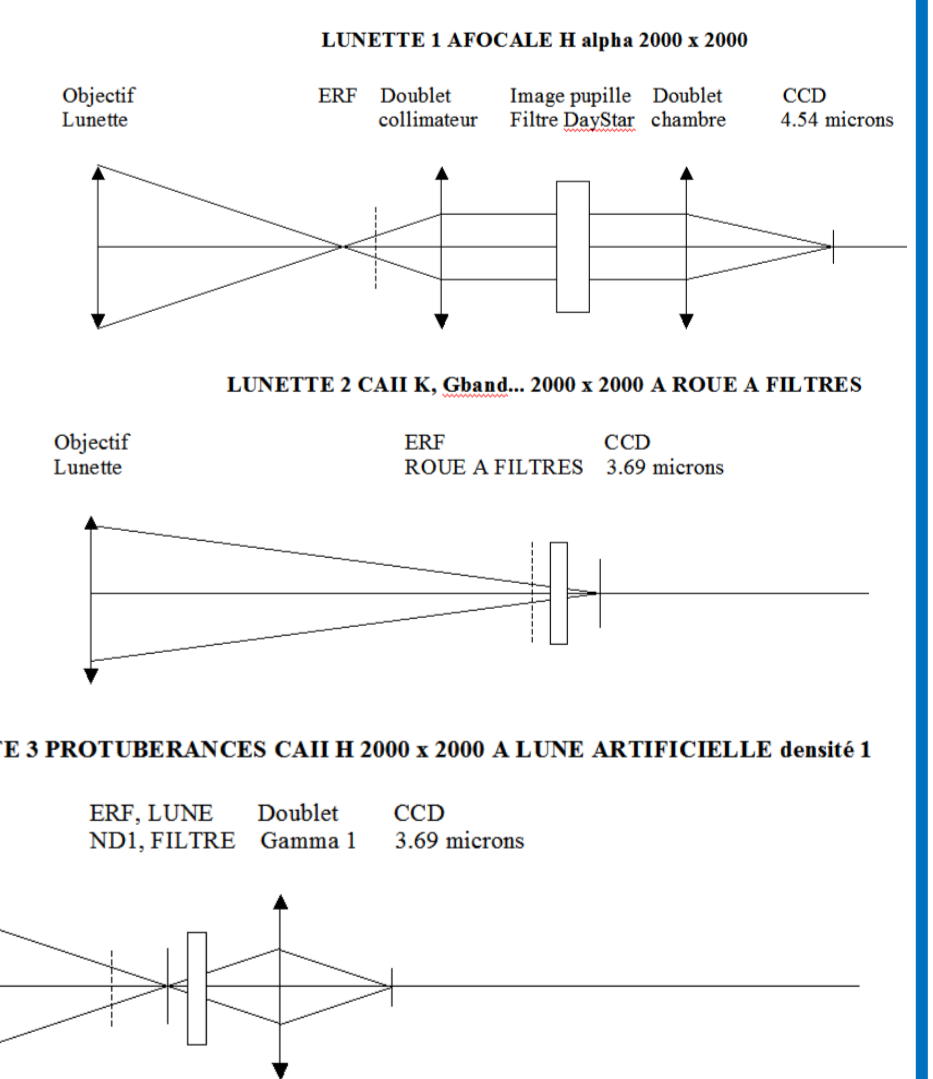
- 1- H-alpha, une image toutes les 10 s, Fabry Péroty DayStar de 0.5 Å de bande passante
- 2 - CaII K, filtre interférentiel de 1.5 Å de bande passante

#### Protubérances (avec une densité 1)

- 3 - CaII H, filtre interférentiel 1.5 Å (Hinode)

#### Photosphère (roue à filtres)

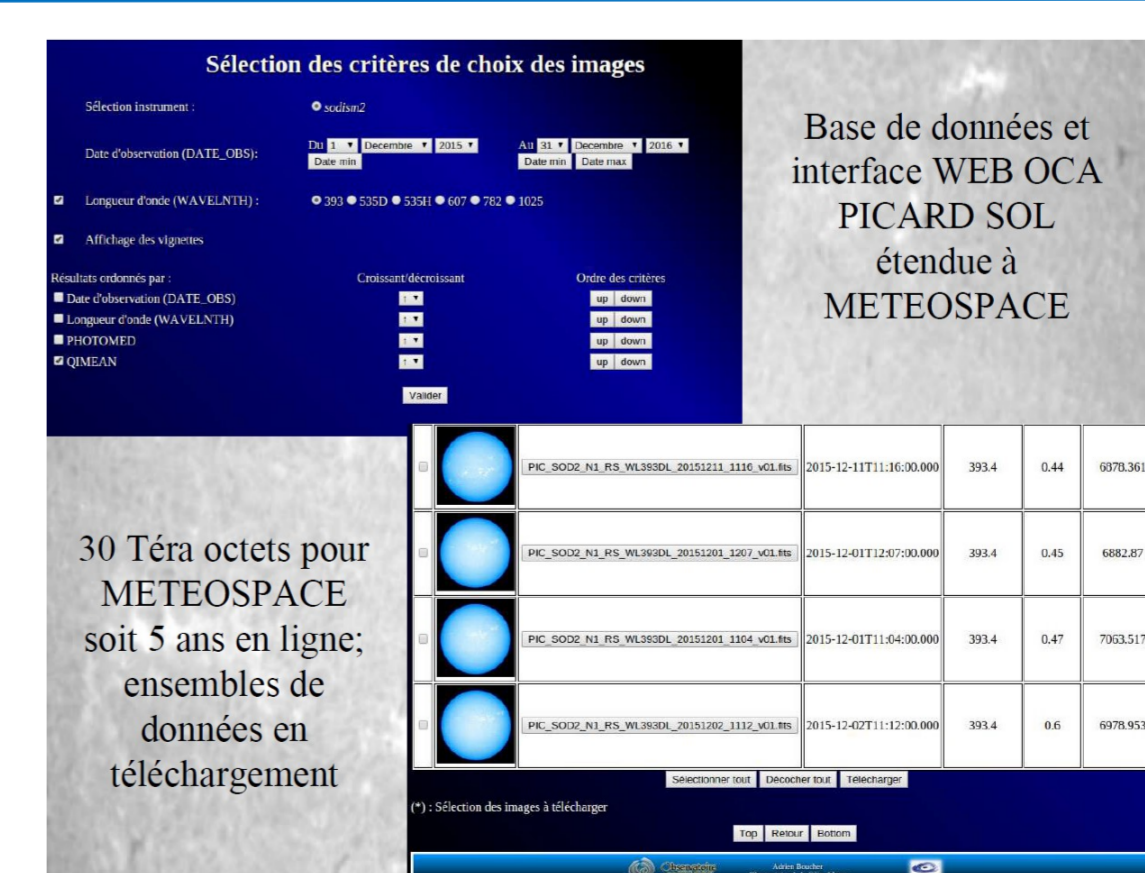
- 4 - bande G molécule CH 8 Å



#### Possibilités d'extension

-des positions libres de filtres dans la roue

Un projet de distribution des données qui se fonde sur un service existant



### Le SO PICARSOL – Bilan

- ~130 000 images 2048<sup>2</sup> de niveau 1 (calibrées) distribuées entre 2011 et 2015
- Un service web dédié de sélection et distribution des données (jusqu'à 130 images par jour)
- 9 publications de rang A utilisant les données du service d'astrométrie solaire depuis 2011