

Moyens d'observations en astérosismologie : Etat des lieux et perspectives

Réza Samadi & Eric Michel
LESIA – Observatoire de Paris

François Bouchy
LAM / Observatoire de Genève

Plan

- **Photométrie spatiale**
- Spectroscopie et photométrie sol
- Les futures missions de photométrie spatiale



MOST

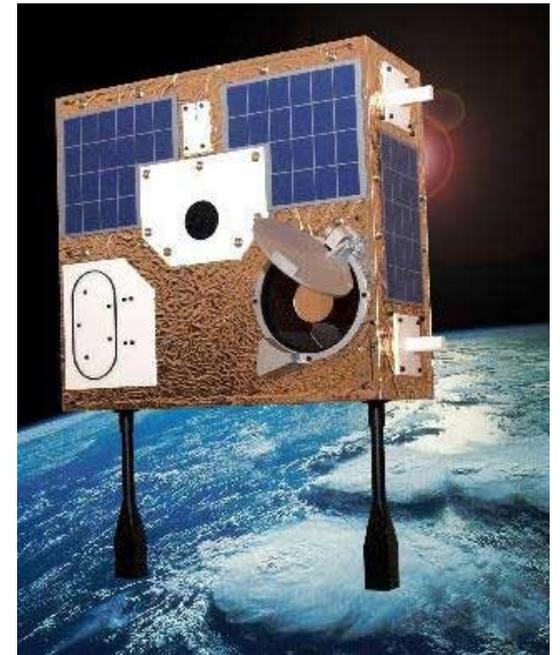


- Telescope : 15 cm
- Cadence : 10s à 1mn
- Runs de ~10 jours à 2 mois
- 80% > duty cycle >35%
- Low Earth Orbit (LEO) , période de ~100 mn

- Plusieurs centaines d'étoiles dans l'intervalle $5.4 < V < 11$
- Possibilité de choisir des cibles dans des positions assez diverses (déclinaisons : 19° à $+36^\circ$)



MOST



- Performance: 35 ppm/hr à $V = 6.7$
- Principalement des pulsateurs classiques
- Maître d'oeuvre : agence spatiale canadienne, avec participation autrichienne
- Lancé le 30 juin 2003, toujours opérationnel !
- Résultat illustratif: Gruberbauer et al. (2011) « MOST observations of the roAp stars HD 9289, HD 99563, and HD 134214 »



CoRoT



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



- Telescope afocal de 27 cm
- Cadences : 32s et 512s
- Runs de ~15 jours à 5 mois
- Duty cycle > 90%
- Low Earth Orbit (LEO), polaire, période de ~100 mn

- ~ 150 étoiles “brillantes” (voie “sismo”), $5.4 < V < 9$
- ~ 150 000 étoiles “faibles” (voie “exo”), $11 < V < 16$
- Choix des cibles : « corot eyes » ($< 14^\circ$), anti-centre et centre galactique



CoRoT



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

- Performances:
 - Etoiles “brillantes” (voie sismo) : 7- 33 ppm/hr
 - Etoiles “faibles” (voie exo) : 133 – 565 ppm/hr
- Choix des cibles : « corot eyes » ($< 14^\circ$), anti-centre et centre galactique
- Tout type de pulsateurs : pul. classiques, solar-like, géantes rouges
- Maître d'oeuvre CNES avec partenaires européens , plate-forme filière PROTEUS
- Lancé le 26 décembre 2006,
- Avarie bord le 2 novembre 2012 ...
- Traitement et archivage des données jusqu'à mi 2015





CoRoT



Quelques résultats marquants concernant les oscillations de type solaire

- Oscillations de type solaire >10 étoiles séquence principale
 - Exemple le plus significatif : HD 52265, étoile abritant une planète (masse, rayon, âge, inclinaison ...)

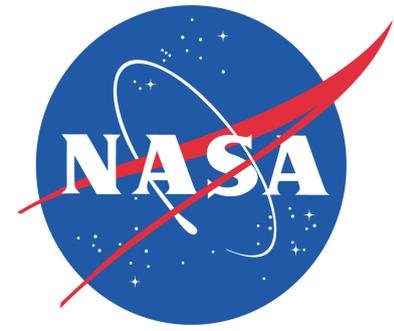
- Oscillations de type solaire plusieurs milliers de géantes rouges :
 - identification d'un spectre « universel »
 - multiples relations d'échelles (fréquences, amplitudes, ...)
 - perte de masse
 -

Revue récentes (CoRoT & Kepler):

- Chaplin & Miglio, 2013, ARAA
- Mosser et al 2013, SF2A
- Christensen-Dalsgaard, 2013, ESA Pub. Series

Kepler

Kepler

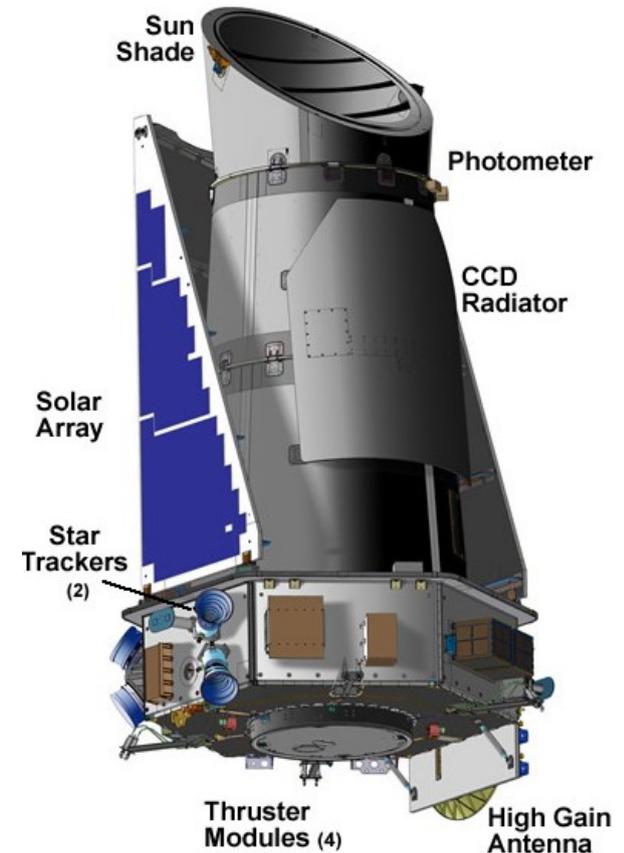


- Telescope 95 cm
- Cadences : 1mn et 29mn
- Runs de ~ 4 ans
- Duty cycle > 90%
- Orbite dérivante

- Domaine de magnitude : $7 < V < 12$ (sismo)
- ~ 200 000 étoiles en cadence lente
- ~ 2 000 étoiles en cadence rapide
- Choix des cibles : champ Kepler fixe

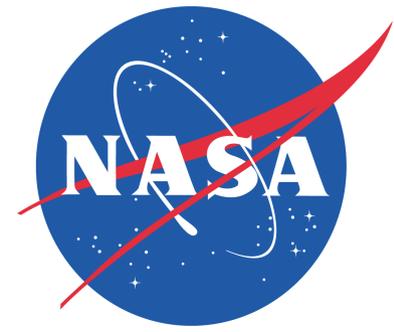
- Performances: de 4 à 34 ppm/hr

- Maitre d'oeuvre NASA
- Lancé le 7 mars 2009
- Perte de la 2eme roue à réaction : janvier 2013



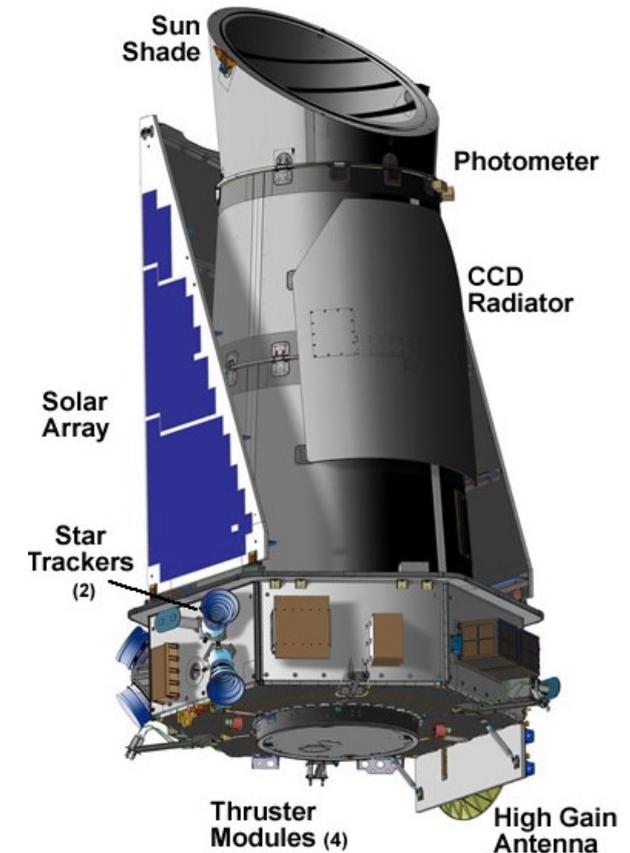
Kepler

Kepler



Quelques résultats marquants concernant les oscillations de type solaire

- Oscillations de type solaire sur plusieurs centaines d'étoiles séquence principale et sous-géantes
- Oscillations de type solaire dans plus de 10 000 géantes rouges
- Modes mixtes dans les géantes et sous géantes et inversion du profile de rotation dans des sous-géantes



Revue récente (CoRoT & Kepler):

- Chaplin & Miglio, 2013, ARAA
- Mosser et al 2013, SF2A
- Christensen-Dalsgaard, 2013, ESA Pub. Series

Plan

- Photométrie spatiale
- **Spectroscopie et photométrie sol**
- Les futures missions de photométrie spatiale

Spectroscopie haute résolution sol

HARPS



- Intérêt pour les étoiles très brillantes combinant des mesures interférométriques, spectroscopique et sismologiques (ex: Bruntt et al. 2010, Bazot et al. 2011)
- Malgré un facteur de pression élevé (6-8) il est possible de faire de la sismo

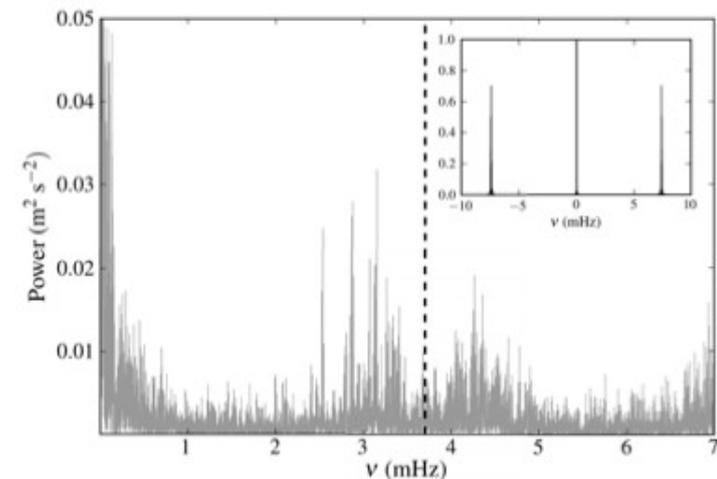
Spectroscopie haute résolution sol

HARPS



- Intérêt pour les étoiles très brillantes combinant des mesures interférométriques, spectroscopique et sismologiques (ex: Bruntt et al. 2010, Bazot et al. 2011)
- Malgré un facteur de pression élevé (6-8) il est possible de faire de la sismo

- Nouvelle campagne HARPS de 12 nuits sur 18 Sco en mai 2012 en multi-sites (Bazot et al. 2011, 2012)



- Campagne HARPS de 10 nuits sur Alpha Cen B en Mai 2013 combinant sismo et exoplanète de très faible masse (Dumusque et al.)
- Large programme HARPS (135 nuits) de suivi des cibles astéro CoRoT (Poretti et al.) utilisant notamment le profil des raies pour contraindre l'identification des modes

Spectroscopie haute résolution sol

SOPHIE



- Campagne de 5 nuits sur SOPHIE en août 2012 sur Vega (Böhm et al.)
- Campagne de 10 nuits sur SOPHIE en fév 2013 sur HD103095 (Creevey et al.)
- Amélioration SOPHIE (2 m/s depuis juin 2011)
- Nouvelle phase d'optimisation en cours 1 m/s

Spectroscopie et photométrie sol

Photométrie sol (mono-site):

- OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment),
 - Télescope 1m, 1.4 deg. carrés
 - Cepheids, RR Lyrae, géantes rouges à très longues périodes (Tip RGB, AGB), ...



Réseaux - photométrie :

- Réseau WET (Whole Earth Telescope):
 - Télescopes 1 – 2 m, 3 à 4 sites, voir plus
 - Optimisés pour les pulsateurs compacts/stades évolués



Réseaux - spectroscopie:

- Projet SONG (Stellar Observations Network Group), telescope 1m, vitesse Doppler, précision 1 m/s, 1 prototype opérationnel à Tennerife



Plan

- Photométrie spatiale
- Spectroscopie et photométrie sol
- **Les futures missions de photométrie spatiale**

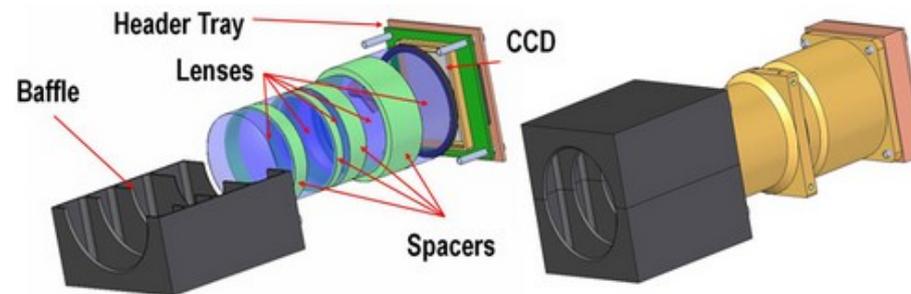


BRITE(s)

BRIght Target Explorer



- Constellation de (3 - 6) nano-satellites
- Télescope : 3cm, 24° x 24°
- Cadence : 1.3s, 8s, 50s
- 3 couleurs (une couleur par nano-sat)
- Runs de 180 à 200 jours
- Low Earth Orbit (LEO), 40 mn par orbites de 100 mn





BRITE(s)

BRIght Target Explorer



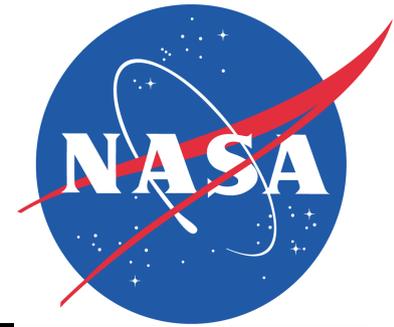
- Performance : 69 ppm/hr à $V=0$ (par télescope, pause de 1.3s),
- Etoiles très brillantes ($V<4$), 2 à 16 étoiles par champ
- Sismologie des pulsateurs classiques (étoiles chaudes, massives), RG, super-RG

- Consortium : Australie, Canada et Pologne
- BRITE-AUSTRIA et UniBRITE (Australie) : lancés le 25 février 2013
- BRITE-PL1 : lancé le 21 novembre 2013
- BRITE-Canada : lancement ~ 6 mois

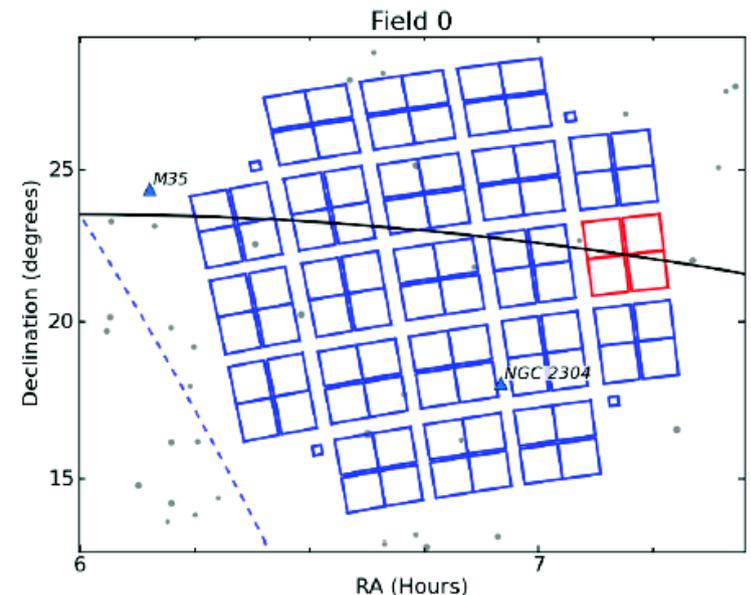
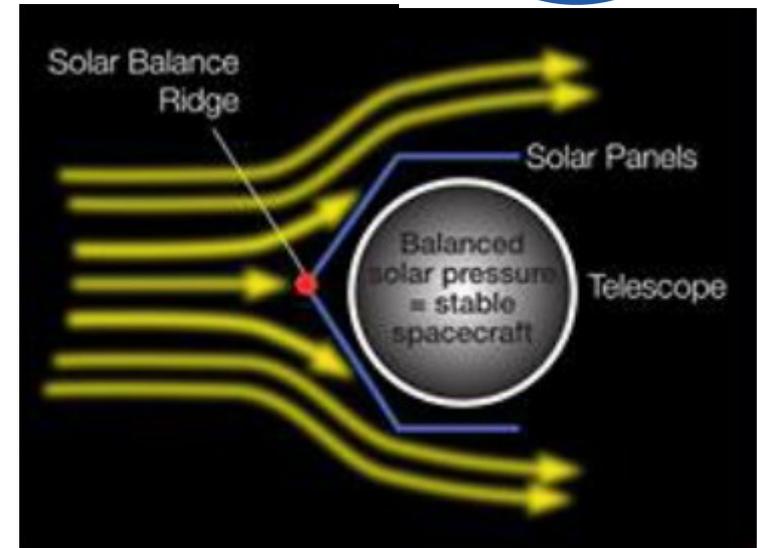
- Projet de participation française à travers la construction d'un satellite (LESIA/CEA, PI : C. Neiner)

Kepler II

« K2 » mission



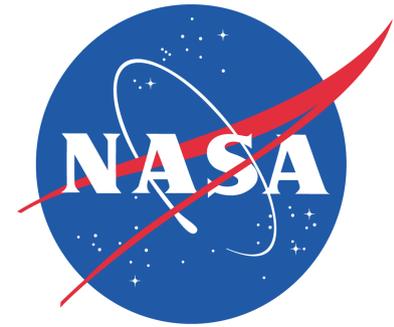
- Perte de la 2eme roue à réaction : janvier 2013
- Utiliser la pression de radiation solaire comme 3eme couple stabilisateur
- Runs de ~ 70 - 80 jours
- 10 000 étoiles avec une longue cadence
- 512 étoiles avec une courte cadence
- Champ : 9 fois les champs déjà couverts par Kepler I, écliptique
- Durée totale : 2 ans
- Performances: comme Kepler I (?)
- 1ere observations : printemps 2014





TESS

Transiting Exoplanet Survey Satellite



- 4 télescopes, 23°x 23° et 60 cm² chaque
- 500 000 étoiles F5-M5, magnitude 4 à 12
- Survey complet du ciel en 2 ans

- Observation continue de 27 jours
- 2 % du ciel observé en continue pendant 1 an

- Performance : 31 ppm/h à V=7
- Observations sismiques jusqu'à la magnitude ~ 7

- Lancement prévu vers 2017



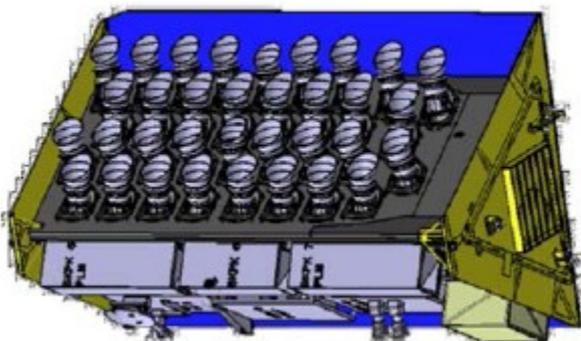
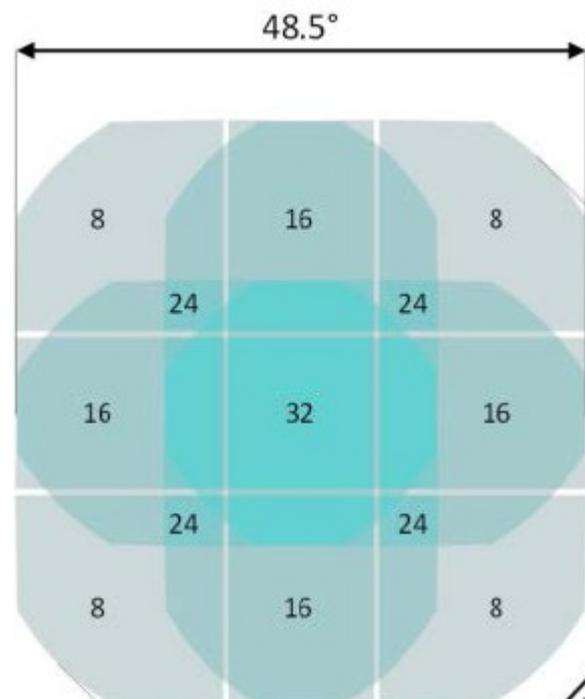
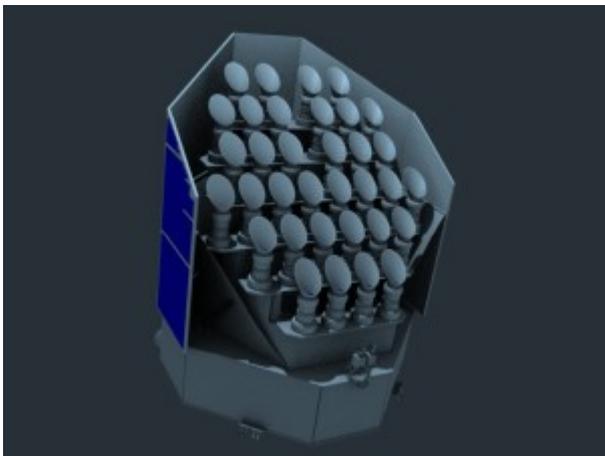


PLATO

PLAnetary Transits and Oscillations of stars

« Une mission spatiale pour l'exploration et la caractérisation des systèmes planétaires tempérés »

- 32 télescopes 'normaux', 12 cm, cadence 25s et 600s
- 2 télescopes 'rapides', 12 cm, cadence 2.5 s
- Champ de vue composite : 4 zones de 1100 deg² chaque
- Champ de vue global : 48.5°, 2200 deg²
- Grande surface collectrice totale
- 3 niveaux photométriques : 27, 34 et 80 ppm/hr

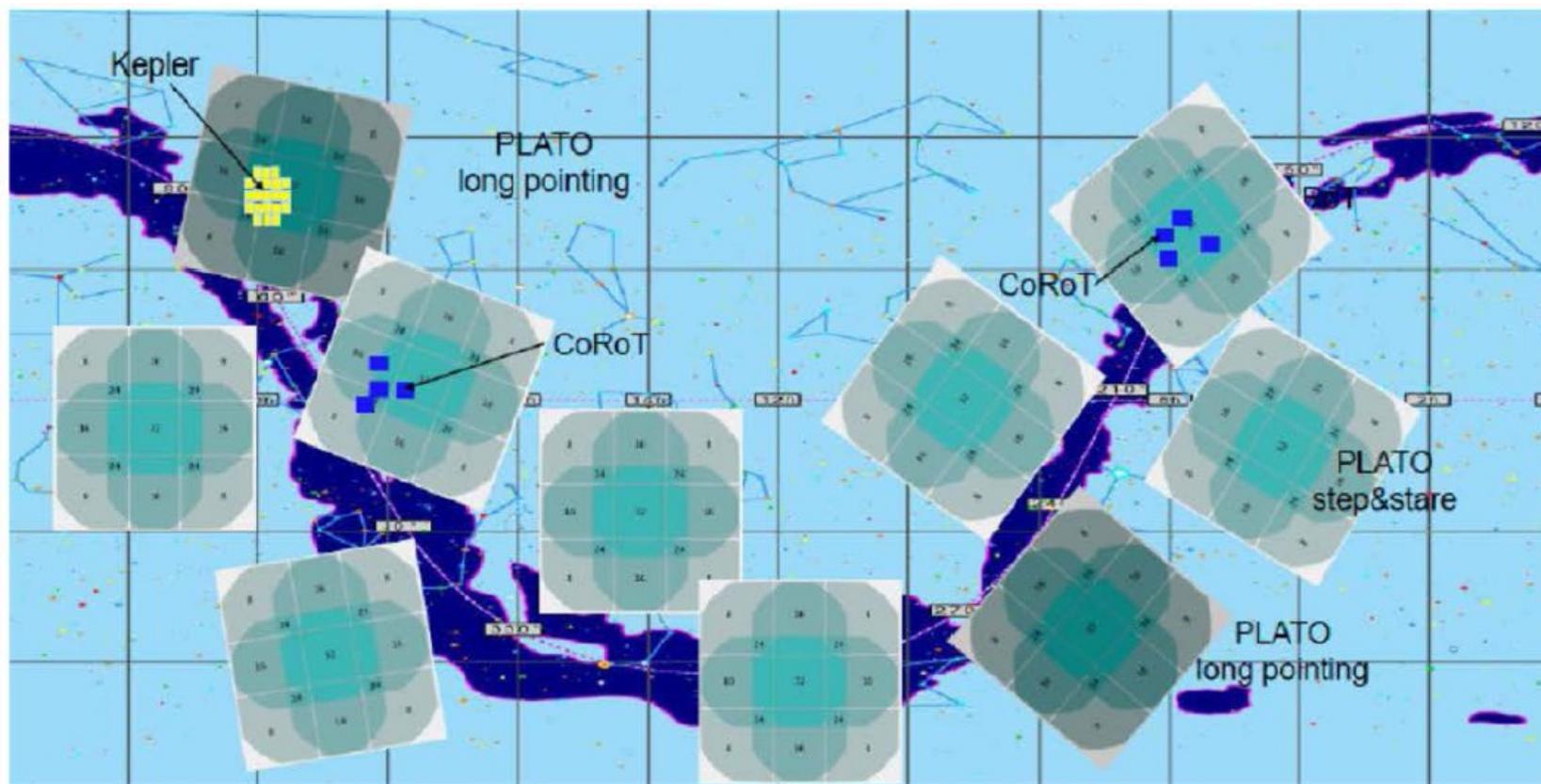




PLATO



- Orbite L2, durée nominale de 6 ans
- 2 runs longs de 2 - 3 ans
- Phase de « step & stare », de 1 à 2 ans, run de 2 à 5 mois
- Une couverture de $\sim 50\%$ de la voûte céleste
- Duty cycle : $> 90\%$

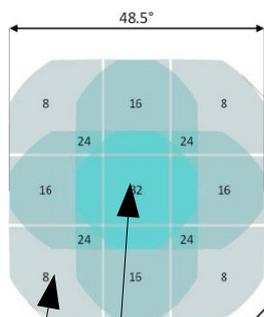




PLATO



Fonction du niveau de bruit



	PLATO (4300 deg ²)		20,000 deg ²	KEPLER (100 deg ²)	
noise level (ppm/√hr)	nb of cool dwarfs & subgiants long monitoring	m _v	nb of cool dwarfs & subgiants incl. step&stare	nb of cool dwarfs & subgiants	m _v
27	15,000	9.3 - 10.8	60,000	1,300	11.2
34	21,300 20,000	9.8 - 11.3	85,000	1,900	11.7
80	267,000 245,000	11.6 - 12.9	1,000,000	25,000	13.6
	1,250 1,000	8	3,100 3,000	30	8
	36,000	11	145,000	1,100	11



PLATO



Les cibles

- Etoiles brillantes et proches !
 - Follow-up efficace au sol
 - Caractérisation complète et précise des atmosphères (Teff, abundance)
- Une grande variété de pulsateurs : principalement F-M dwarfs mais aussi Géantes, étoiles chaudes
- Observation de nombreux amas ouverts : > 10 MS et > 100 RGB
- Plus de 85 000 étoiles naines avec indices sismiques
- Plus de 500 000 RG
- **astrosismologie d'ensemble**
- Synergies avec les résultats GAIA (parallax, cinématique)





PLATO



PLATO - FRANCE

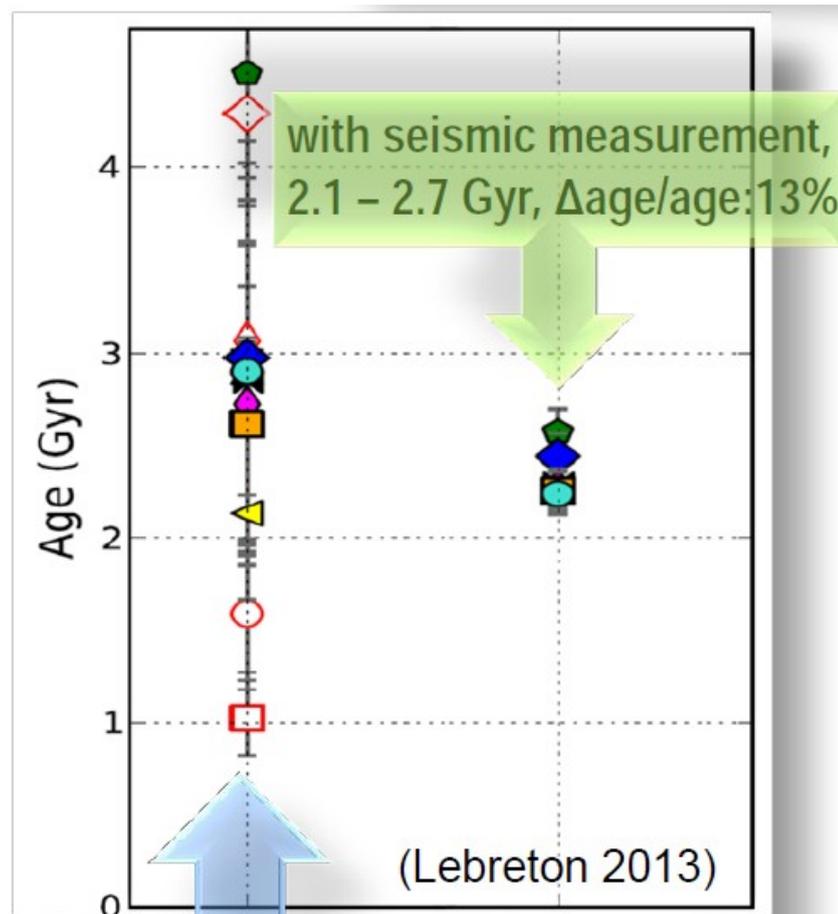
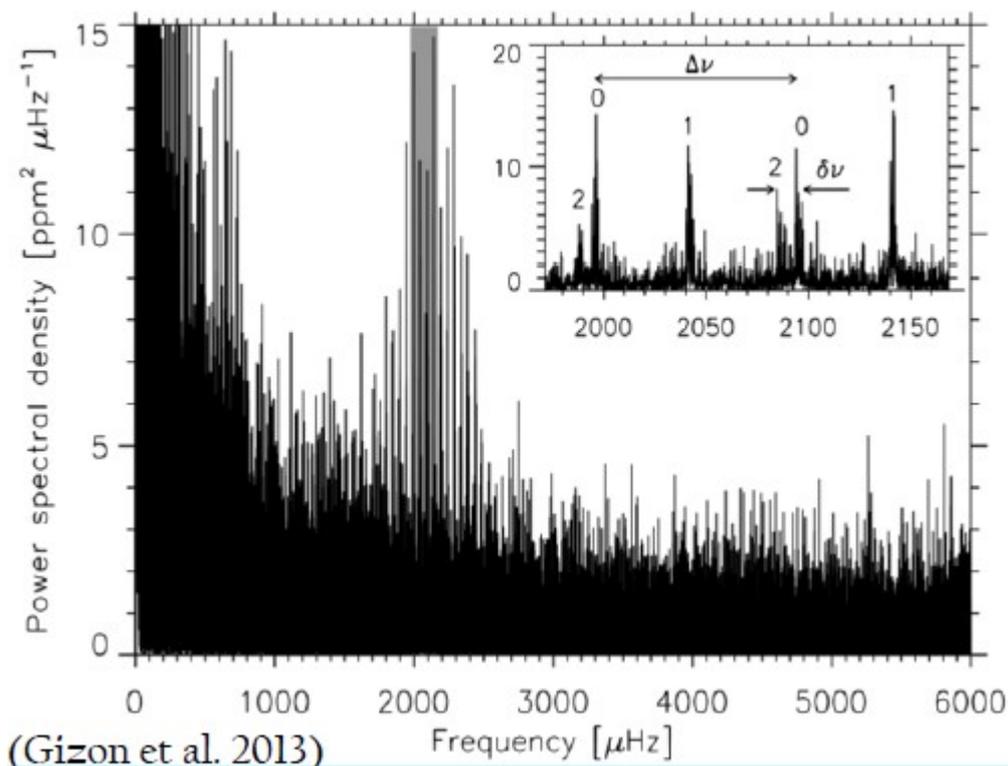
- ➔ Très fortes implications des labos français et plus généralement de la communauté française
- ➔ Physique stellaire : coordonnée par M.-J . Goupil
- ➔ Vous voulez participer à la préparation scientifique ?
 - ➔ mariejo.goupil@obspm.fr
- ➔ Kickoff meeting prévu en automne 2014



PLATO



Caractérisation des étoiles (avec planètes ... ou pas) avec l'apport de la sismologie. Cas illustratif de l'étoile CoRoT HD 52265, obs. ~ 5 mois



$M/M_{\text{sol}} = 1.25 \pm 0.02 \sim 4\%$
 $R/R_{\text{sol}} = 1.32 \pm 0.008 \sim 2\%$
 $\text{Age} = 2.37 \pm 0.3 \text{ Gyr} \sim 13\%$

no seismic measurement,
 0.8 - 5.9 Gyr, $\Delta\text{age}/\text{age}: 75\%$