

Introduction
Objectifs scientifiques de PLATO
Atteindre les objectifs scientifiques
Data product
Les étoiles cibles
Préparation scientifique
Consortium
Comment participer?

Le projet spatial ESA : PLATO

M.J. Goupil

LESIA, Observatoire de Paris, France

AFE, 24 Novembre 2016

l'Observatoire
de Paris | LESIA

Laboratoire d'Études Spatiales et d'Instrumentation en Astrophysique



UPMC
SORBONNE UNIVERSITÉS

PARIS
DIDEROT
UNIVERSITÉ

PSL
RESEARCH
UNIVERSITY

Le projet spatial ESA : PLATO

Outline

- Introduction
- Objectifs scientifiques
- Atteindre les objectifs scientifiques
- Les 'data products'
- Les étoiles cibles
- Préparation scientifique
- Le consortium
- Comment participer?

Introduction

PLATO : PLANetary Transits and Oscillations of stars

- Mission M3 sélectionnée par l'ESA en février 2015
- PI Heike Rauer (DLR Allemagne)
- PLATO sera lancée en 2025 (Soyouz ou Ariane 6 ?), sur une orbite L2
- Actuellement en phase B2 ('consolidated definition phase'):
préparation pour 'adoption' par l'ESA prévu en février 2017

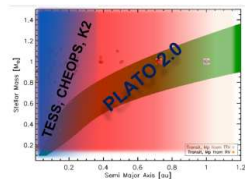
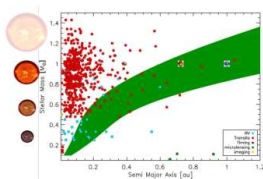
Objectifs scientifiques de PLATO

L'objectif scientifique général de la mission PLATO est de répondre aux questions suivantes:

- 01 How do planets and planetary systems form and evolve?
- 02 Is our Solar System special or are there other systems like ours?
- 03 Are there potentially habitable planets?

- Détecter et caractériser les planètes de type Terre
caractériser : déterminer les paramètres (masse, rayon, densité moyenne) des planètes, en particulier celles se situant dans la zone habitable des étoiles de type solaire.

- (Super)Terres : $M_p \leq 1M_T$;
 $R_p \leq 2R_T$
- zone habitable en vert
- K2, Tess: M_p ou R_p ; orbite
 ≤ 80 jours : Mercure



attendu : $> 100(400)$ exoplanètes caractérisées avec précision incluant $> 5(30)$
(super-)Terres dans la zone habitable des étoiles de type solaire : les 'pierres de Rosette' de PLATO

- Explorer la diversité des planètes et des systèmes planétaires

Pour déterminer avec précision la masse et le rayon de la planète, il faut connaître avec précision la masse et le rayon de l'étoile hôte

- Evolution temporelle des planètes et des systèmes planétaires.

L'âge de la planète est donnée par celle de l'étoile hôte.

- Etude de la structure interne des étoiles et de son évolution temporelle.

La précision sur la masse, le rayon et particulièrement l'âge de l'étoile hôte dépend de la qualité des modèles stellaires utilisés (précision numérique, degré de réalisme de la physique des modèles stellaires)

(for details, see Rauer et al., 2014, PLATO Red Book 2016)

Science complémentaire

n'influe pas sur les spécifications de la mission et son design

- Sismologie des étoiles massives
- Amas
- Etude de populations galactiques

et toute science basée sur de la photométrie de haute précision sur un intervalle long ininterrompu et un survey d'étoiles brillantes ($V < 13$)

Atteindre les objectifs scientifiques

Combinaison de trois techniques

- Détection d'exoplanètes par transits photométriques : paramètres orbitaux et R_p/R_*
- Confirmation par un suivi sol (vitesses radiales) : $M_p \sin i/M_*$
- Caractérisation sismique des étoiles: M_* , R_* , et age. Aussi: luminosité, rotation, angle d'inclinaison , activité de surface ...

Spécifications PLATO pour les exoplanètes

Pour une étoile hôte de type G0V de magnitude apparente $V = 10$, les spécifications pour l'exoplanète de référence* sont

- 3% pour l'incertitude sur le rayon R_p
- 10% pour l'incertitude sur la masse M_p
- 10% pour l'incertitude sur l'âge pour l'étoile hôte de référence* à $V = 10$

(* exoplanète de référence : $1M_T, 1R_T$)

Ceci se traduit par la spécification PLATO:

observation de $\geq 15,000$ (20 000) naines et sous-géantes, type spectral F5-K7

NSR= 80 – 34ppm/h à $V = 11$; 2-3 ans observation

Spécifications PLATO pour les étoiles hôtes

- 2% pour l'incertitude sur le rayon R_*
- 10 % pour l'incertitude sur la masse M_*
- 10% pour l'incertitude sur l'âge pour l'étoile de référence* à $V = 10$

(* étoile de référence : $1M_{\odot}, 1R_{\odot}, 6000 K$)

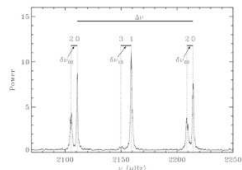
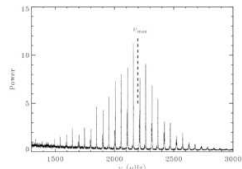
Ceci se traduit par la spécification sismique:

$\leq 0.2 \mu\text{Hz}$ incertainties for frequencies around ν_{max}

Ceci se traduit par la spécification PLATO:

NSR= $34\text{ppm}/h$ à $V = 11$; 2 ans observation ininterrompue

Spectre de puissance de l'étoile 16 Cyg A pour 35 mois d'observation Kepler. crédit Christensen-Dalsgaard, 2016.

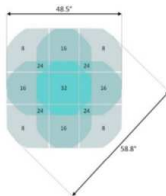
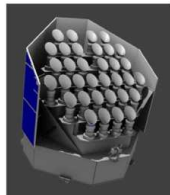


Introduction
Objectifs scientifiques de PLATO
Atteindre les objectifs scientifiques
Data product
Les étoiles cibles
Préparation scientifique
Consortium
Comment participer?

Combinaison de trois techniques
Spécifications PLATO pour les exoplanètes
Spécifications PLATO pour les étoiles hôtes
Charge utile
Stratégie d'observation

Charge utile

- 24 «normal» 12cm cameras, cadence 25 s, white light (500-1050 nm) ,
 $8 < V < 16$, 1100 deg^2 (tot)
- 2 «fast» 12cm cameras, cadence 2.5 s, 2 colours, $4 \leq V \leq 8$, 550 deg^2 (tot)
- Field-of-View: $48.5^\circ \times 48.5^\circ$ (2250 deg^2)
- 600 kg; 820 W
- Télémétrie : 405.4 Gb (nominal) + 29.9 Gb Guest Ob.



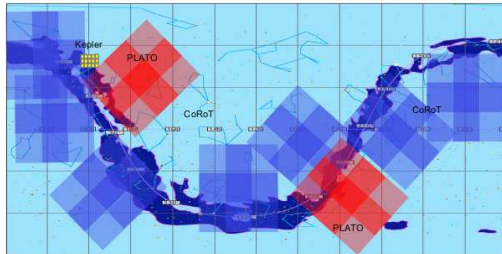
Plusieurs ensembles d'étoiles seront observés avec un nombre différents de télescopes correspondant alors à différents niveaux d bruit pour une même magnitude apparente.

Introduction
Objectifs scientifiques de PLATO
Atteindre les objectifs scientifiques
Data product
Les étoiles cibles
Préparation scientifique
Consortium
Comment participer?

Combinaison de trois techniques
Spécifications PLATO pour les exoplanètes
Spécifications PLATO pour les étoiles hôtes
Charge utile
Stratégie d'observation

Stratégie d'observation

- 4 ans après commissioning+ possibilité d'une extension de 3 ans
- 3+1 ou 2+2 long runs puis une couverture du ciel dans un mode 'step-and-stare' (2 to 5 mois)
- rotation 90° autour de la ligne de visée chaque 3 mois
- duty cycle environ 95%



Data product

- L0 : Courbes de lumière de grande précision photométrique sur un intervalle de temps ininterrompu pour un grand nombre d'étoiles, issues des 24 télescopes; centroides, imagerie
- L1 : courbes de lumière calibrées, centroides et imagerie calibrés
- L2 : résultats scientifiques

Planetary candidate transits & their parameters	DP2	L2
Asteroseismic mode parameters	DP3	L2
Stellar rotation and activity	DP4	L2
Stellar radii, masses and ages	DP5	L2

- Lg : données du programme d'observation sol (GOP)

Les étoiles cibles

On divise les étoiles cibles en 4 groupes:

- **P1** incluant les 'pierres de Rosette' de PLATO et comprenant $\geq 15,000$ (20 000) naines et sous-géantes brillantes ($V \leq 11$), type spectral F5-K7, bruit ≤ 34 ppm/h, LOP, 25s.
- **P2** : planètes autour d'environ 1 000 naines et sous-géantes très brillantes ($V \leq 8.2$) de spectral type F5-K7, noise ≤ 34 ppm/h, LOP (300 étoiles avec 2 couleurs), 2.5s.
 - possibilité de caractériser les atmosphères avec E-ELT ou JWST
 - possibilité de caractérisation sismique pour un grand ensemble d'étoiles, pour mieux calibrer les modèles stellaires

- **P4:** ≥ 5000 naines M ($V \leq 16$), LOP, 25s, 800 ppm/h
- **P5:** $\geq 245,000$ naines et sous-géantes ($V \leq 13$) de spectral type F5-K7 avec un SNR plus faible, 25s.
 - P5-brillantes ($V \leq 11$), mesure de la masse au sol possible
 - P5-faibles ($11 < V \leq 13$) SNR suffisante pour études statistiques

Introduction
Objectifs scientifiques de PLATO
Atteindre les objectifs scientifiques
Data product
Les étoiles cibles
Préparation scientifique
Consortium
Comment participer?

Input catalogue
Nombre de candidates planètes
Ressources suivi sol
Les étoiles cibles et la sismologie
Population des étoiles P1
Niveau de bruit
Performances sismiques
Caractérisation stellaire sismique

Préparation scientifique

Input catalogue et sélection des étoiles cibles

Construction du catalogue d'entrée PLATO à partir des catalogues d'étoiles existant et Gaia.

A partir de ce catalogue et pour le scénario d'observation de référence, on estime le nombre d'étoiles pour les ensembles P1-P5

Table 6-16-1: Estimated P1-P5 stellar counts from the UCAC4-RPM catalogue.

nominal EOL 24t, current design, updated FOV

	P1	P5	P5 V<11, 34<s<80	P5 V<13, s<80	P1+5 V<11 s<80
SPF	6,896	173,543	14,622	40,283	21,518
NPF	6,191	148,908	14,152	39,039	20,343
STEP1	6,242	178,112	14,651	39,447	20,893
STEP2	6,446	127,063	12,913	35,719	19,359
STEP3	5,769	153,505	13,220	35,969	18,989
STEP4	5,908	146,181	12,743	35,248	18,651
STEP5	6,219	160,394	13,699	38,564	19,918
STEP6	6,339	153,900	12,961	35,923	19,300

Estimation du nombre de candidates planètes pour suivi sol

Table 7-2. Expected planet yield for detection with PLATO. It includes planets around bright ($V < 11$) P1 stars which can potentially be fully characterized (asteroseismology and mass from ground) and fainter ($V < 13$) P5 stars, where the characterization is limited. We show the planet yield for different instrument (number of N-cameras) and observing scenarios.

	stellar sample	24 N-cam (2+2)	24 N-cam (3+1)	24 N-cam (3+2+1)
all planets, all orbital periods, $V < 13$	P1+P5	~4 600	~11 000	~13 000
all planets, all orbital periods, $V < 11$	P1+P5 bright	~1 200	~2 700	~3 300
small planets ($R < 2R_E$), all orbital periods, $V < 11$	P1+P5 bright	~770	~1 800	~2 200
small planets ($R < 2R_E$), in HZ, $V < 11$	P1+P5 bright	6 - 280	3 - 140	6 - 280

Ressources nécessaires pour suivi sol

Table 6.26.26.2: Estimates of ground-based telescope resources needed for follow up of planet candidates discovered during the PLATO long-duration phase observations.

Telescope Class	Candidate Confirmation		Radial Velocity Measurements		Total Nights
	(nights/year)	(Total nights in 7 years)	(nights/year)	(Total nights in 9 years)	
1-2m low-resolution spectroscopy	~35	~245	-	-	~245
1-2m high-resolution imaging	~15	~105	-	-	~105
1-2m on-off photometry	~10	~70	-	-	~70
1-2m high-resolution spectroscopy			~3	~30	~30
4m high-resolution spectroscopy	~20	~140	~100	~900	~1040
8m high-resolution spectroscopy	~5	~35	~80	~720	~755

Deux étapes successives :

- 1) Elimination des 'false-positive': estimation ~ 5000 candidates à ~ 700 confirmées
- 2) Caractérisation des ~ 700 confirmées

Le nombre total d'étoiles P1 estimé avec ≤ 34 ppm/h est ~ 15000

Pour les performances, les études se sont concentrées sur l'ensemble P1 et le cas 34 ppm/h

Le potentiel sismique total de Plato n'a pas encore été quantifié!

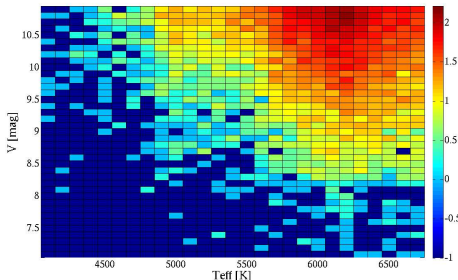
En effet

- Un grand nombre d'étoiles avec $\ll 34$ ppm/h
- > 5000 étoiles with $\Delta A/A \sim 10\%$, $\Delta R/R \sim 2\%$, $\Delta M/M < 10\%$
- De nombreuses étoiles avec $34 \text{ ppm/h} < \text{NSR} \leq 36 \text{ ppm/h}$ auront une caractérisation sismique seulement faiblement dégradée par rapport au cas 34 ppm/h

Distribution des étoiles P1 en fonction de T_{eff} et V

Nombre d'étoiles calculé à partir d'une population d'étoiles simulée avec le modèle de Besançon (A. Robin 2014) adapté pour un long run PLATO
i.e. population restreinte au domaine K7- F5 (4000 - 6800 K) et aux naines et sous-géantes

- l'étoile de référence \in partie orange-rouge
- Dans le champ Kepler, > 2063 étoiles $\in V = [8 - 11]$



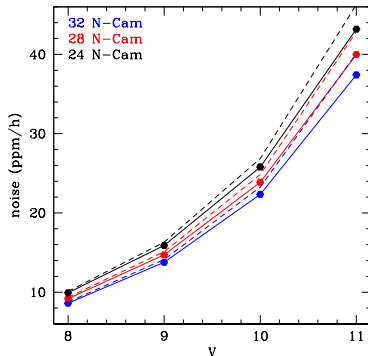
(log unit; -1 signifie 0 étoile dans le bin)

(Crédit T. Morel, 2014, PLATO-WP122)

Niveau de bruit en fonction de la magnitude pour 32, 28 and 24 caméras

La spécification $\leq 0.2 \mu\text{Hz}$ d'incertitude sur les fréquences d'oscillation se traduit par un niveau de bruit (random noise) $\leq 34 \text{ ppm/h}$ pour $V = 11$

- 2 ans d'observation
- étoile de référence
- bruit de photon de l'étoile + bruit aléatoire de l'instrument + bruit systématique résiduel après correction (somme quadratique en ASD)



Performances sismiques

Deux étapes successives de spécifications à vérifier:

- $0.2 \mu\text{Hz}$ pour les fréquences
- 10% masse, 10% age pour un 'soleil'

Estimations au moyen d'exercices en aveugle 'end-to-end' (WP120):

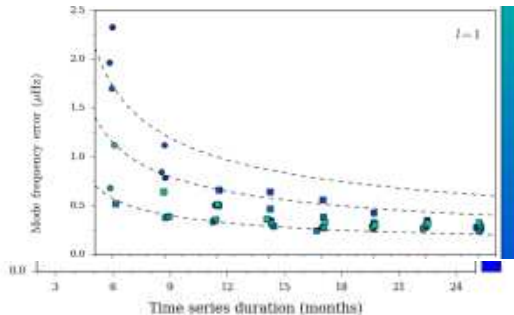
- Input model: $1.12M_{\odot}$, $1.20R_{\odot}$, $T_{eff} = 6130K$, $age = 3.44 \text{ Gyr}$ ($X_c = 0.30$)
- courbes de lumière simulées : $V = 8$ à 11 incluant signal oscillant + granulation stellaire + bruit, 2 years, 32 cameras (*R. Samadi*)

Résultat étape 1: Erreur d'exactitude estimée de l'ordre de $\leq 0.1\mu\text{Hz}$ autour de ν_{max} par comparaison entre les fréquences mesurées en aveugle et les vraies valeurs des fréquences. L'incertitude estimée est du même ordre.

Atteindre une précision de $0.2\mu\text{Hz}$ avec le temps

Courbes de lumière simulées pour $V = 10.5$ pour des temps d'observation multiples de 3 mois

- Décroissance de l'incertitude sur les fréquences en $1/\sqrt{\text{temps}}$
- Après 2 ans, l'incertitude a diminué jusqu'à atteindre la spécification PLATO pour plusieurs fréquences autour de ν_{max}
- En mode 'Step-and-stare': 2 à 5 mois



credit: M. Lund and Birm's group

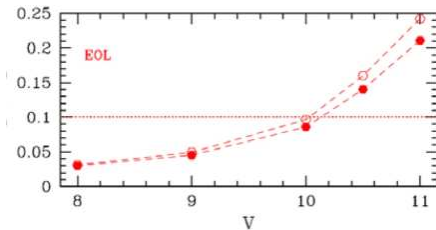
Incertitude sur les âges sismiques

Hypothèses:

- diagnostic sismique $r_{02}(\nu_{max})$ varie linéairement avec l'âge (à partir de modèles stellaires)
- Incertitude sur l'âge δage varie linéairement avec $\delta r_{02}(\nu_{max})$
- δr_{02} à partir de $\delta \nu_{l=0,1,2}$ à (ν_{max})
- observations 2 ans
- **Spécification PLATO à $V = 10$ satisfaite**

Note: les entrées T_{eff} , masse et rayon et la physique du modèle stellaire d'entrée sont supposées exactes donc seulement erreur statistique due à $\delta \nu$ prise en compte.

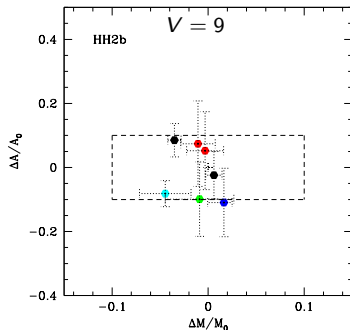
Etoile de référence



Incertainitude relative (1σ) sur l'âge en fonction de sa magnitude apparente pour 28-24 télescopes pour 2 ans d'observation. L'incertainitude est due à la propagation de $0.2 \mu\text{Hz}$ d'erreur sur les fréquences.

Prise en compte des erreurs systématiques: étape 2 des exercices en aveugle

- Incertitudes relatives ($V = 10, 10.5$) pour $1.12M_{\odot}$, $1.20R_{\odot}$, $T_{eff} = 6130K$, 3.44 Gyr
 - pour la masse : 0.8 – 2.5%
 - pour l'âge : 25 – 27%
- Pour l'étoile de référence: (~ 6.3 Gyr), $\Delta A/A \sim [12-15]\%$
- Données Kepler pour les étoiles hôtes (4 ans) : $(\Delta A/A)_{stat} \sim 14\% + \text{several}\%$ (systematics) (Davis et al; 2015 & V. Silva et al. 2015)



modellers: S. Deheuvels, V. Silva Aguirre, J. Christensen-Dalsgaard, O. Creevey, Y. Lebreton, I. Roxburgh, A. Mazumdar, K. Verma,

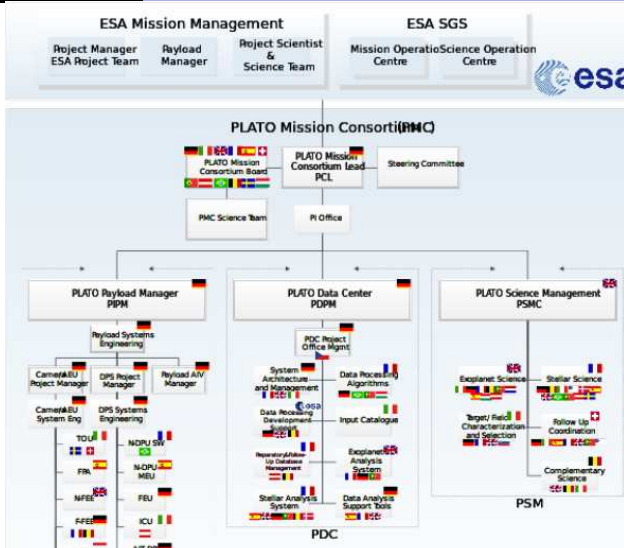
Corrections for systematic errors needed to reach the required 10% age uncertainty for the reference star at mag 10

Introduction
 Objectifs scientifiques de PLATO
 Atteindre les objectifs scientifiques
 Data product
 Les étoiles cibles
 Préparation scientifique
 Consortium
 Comment participer?

Structure du Consortium

Consortium (PMC):
 payload+PDC+PSM
 GOP mis en place par
 ESA pour les
 observations suivi sol

Le PMC inclut
 actuellement environ 500
 chercheurs de 14 états
 membres de l'ESA et and
 7 autres nations en
 Europe, Amériques du
 nord et sud



Le projet spatial ESA : PLATO

Comment participer?

- Pour devenir membre du PMC, il est possible de participer à la préparation scientifique en faisant parti d'un WP du PSM:
 - WP110 Exoplanet science (resp. D. Pollacco, UK)
 - WP120 Stellar science (core programme) (resp. M.J. Goupil, France)
 - WP130 PIC Input catalogue (resp. G. Piotto, Italie)
 - WP140 Follow up (resp. S. Udry, Suisse)
 - WP150 Complementary Science (resp. C. Aerts, Belgique)
- Guest observers : appels à proposition par ESA pour science complémentaire; 1er appel 9 mois avant le lancement
- Legacy: données rendues publiques au plus tard 1 an après leur production sauf le cas particulier des potentielles L3

Pour en savoir plus :

- Plato Science Management (PSM) :
<http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/astro/plato-science>
- Stellar science WP120 webpage :
https://www.ias.u-psud.fr/PLATO_STESCI/PLATO_STESCI_OBJ.html