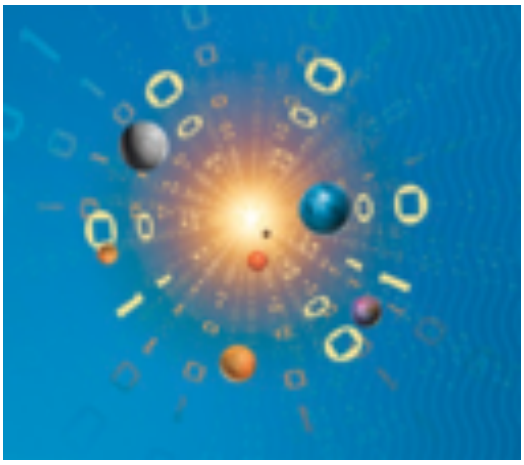


Le Comité scientifique CoRoT au Groupe Astronomie du CNES

Mercredi 25 Avril 2012

Le Comité Scientifique CoRoT remercie le groupe Astronomie de ses remarques, suite au document « Proposition for a 3 year extension » et les présentations qui ont suivi le 6 février 2012.

Extrait de la recommendation :
Le groupe considère que de nombreux objectifs scientifiques propres à CoRoT justifient pleinement une extension de 3 ans.

A- Le groupe demande cependant à ce qu'une proposition détaillée et quantifiée du programme d'observation de l'extension soit présentée, regroupant les thèmes les plus prometteurs de CoRoT.

B- Il recommande que l'astérosismologie soit au coeur de ce programme, et en particulier l'astronomie galactique basée sur les géantes rouges. Il demande notamment à ce que la faisabilité des études proposées soit détaillée, en terme scientifique (dégénérescence des propriétés des géantes rouges, dépendance aux hypothèses, nombre d'étoiles nécessaires pour caractériser la Galaxie,..) et observationnel (précision nécessaire à atteindre, nombre d'étoiles pouvant être observées, temps requis d'observation, contraintes de pointage).

La réponse à A est constituée de la description de la méthodologie employée pour bâtir un plan d'observation pour une période donnée, appelée
« Des priorités scientifiques au plan d'observation », où l'on voit qu'on peut réaliser plusieurs objectifs prioritaires simultanément

La réponse à B donne des indications supplémentaires sur le programme Géantes rouges.

A- Des priorités scientifiques au plan d'observation

Rappel: Ce avec quoi il faut vivre!

* CoRoT observe simultanément, dans deux régions adjacentes du ciel
  - 5 étoiles brillantes (5 <V < 9.5) sur le CCD « sismo »
  - 5680 étoiles faibles (10< R<16) sur le CCD « exo »

* Les régions du ciel accessibles sont deux régions, à peu près circulaires, centrées sur alfa :=99.36 et 279,36 et delta = 0

Le rayon du cercle est étendu jusqu'à 14° suite aux récentes mesures de fond de ciel lors de pointés loin du centre, qui montrent que le niveau de lumière parasite ne dégrade pas la précision photométrique.

1- Les priorités scientifiques

Elles ont été présentées dans la « Proposition d'extension »

On les rappelle ici, en les groupant en fonction de leurs conditions de réalisation technique. Ensuite chaque région du ciel proposée est examinée en fonction de ses qualités à répondre aux priorités.

Observation d'étoiles brillantes dans le champ sismo

S1:Observer longtemps des étoiles chaudes et massives et des amas jeunes

S2: Compléter l'échantillon des analogues solaires

S3: Observer des étoiles à planètes connues dans la voie sismo

S4: Compléter l'échantillon de Géantes Rouges proches pour calibrer les paramètres sismiques

Programmes "statistiques" demandant des pointages adaptés dans le champ exo

E1: Géantes rouges

E2: Exploration des populations de planètes à courte période orbitale

Programme pointé dans le champ exo

E3 Les amas jeunes

Programmes réalisés automatiquement dans les deux champs

D1: Binaires à éclipses

D2 Variabilité, activité et zones d'instabilité dans le diagramme HR

2- La recherche de champs avec cibles brillantes prioritaires : S1, S2, S3, S4

- Trouver des « champs (1.3x 1.3 °) qui contiennent le plus possible de cibles intéressantes.

Ci-dessous quelques exemples :

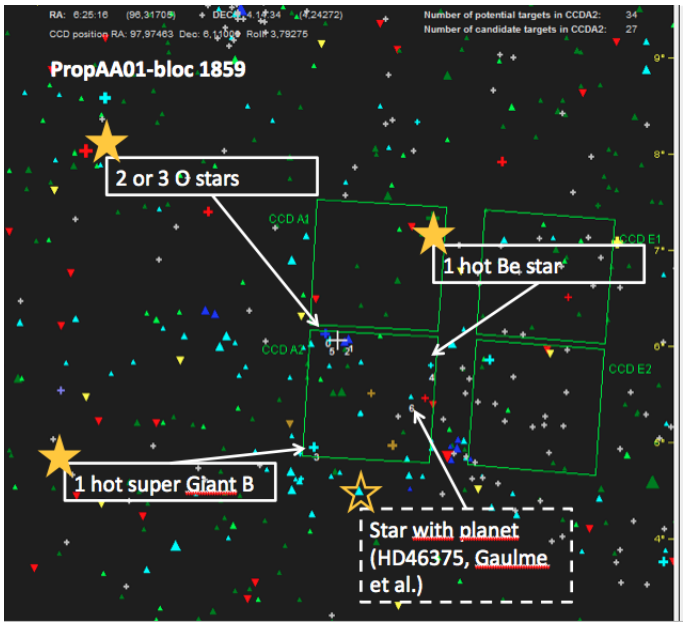
Prop AA01 :

2 ou 3 étoiles O,

1 étoile Be chaude (objets favorables à la détection d'explosions comme déjà observé pour la première fois par CoRoT)

1 supergéante B (objet rare)

1 étoile à planète connue (déjà observée 24 jours)



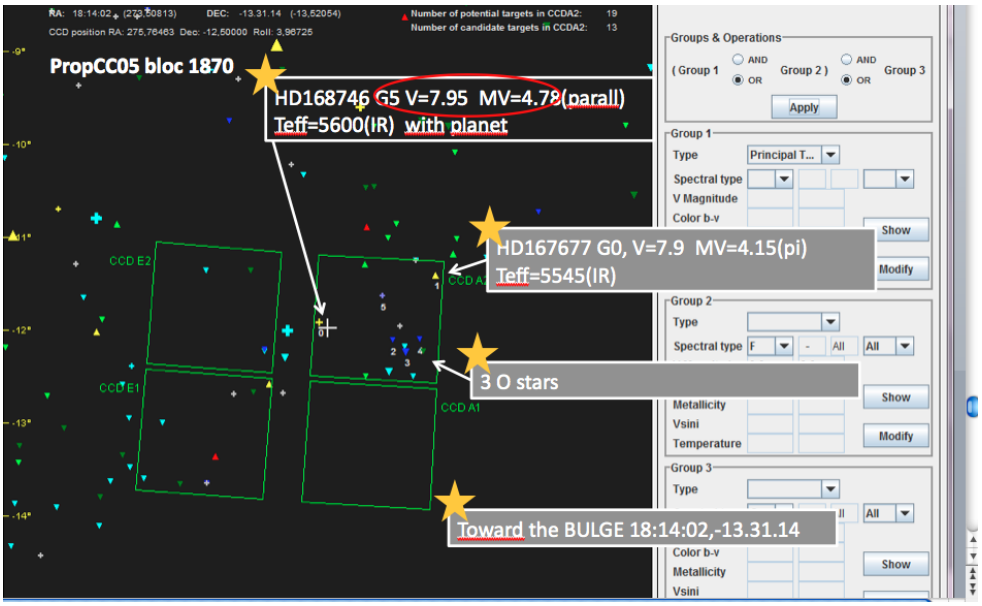
Prop CC05 :

1 analogue solaire

1 étoile à planète (analogue solaire)

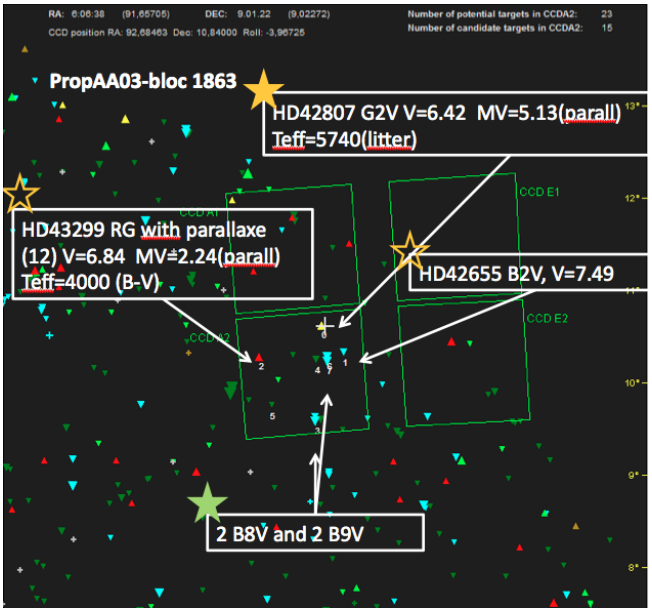
3 étoiles O

Rem : direction intéressante car vers le bulge



Prop AA03

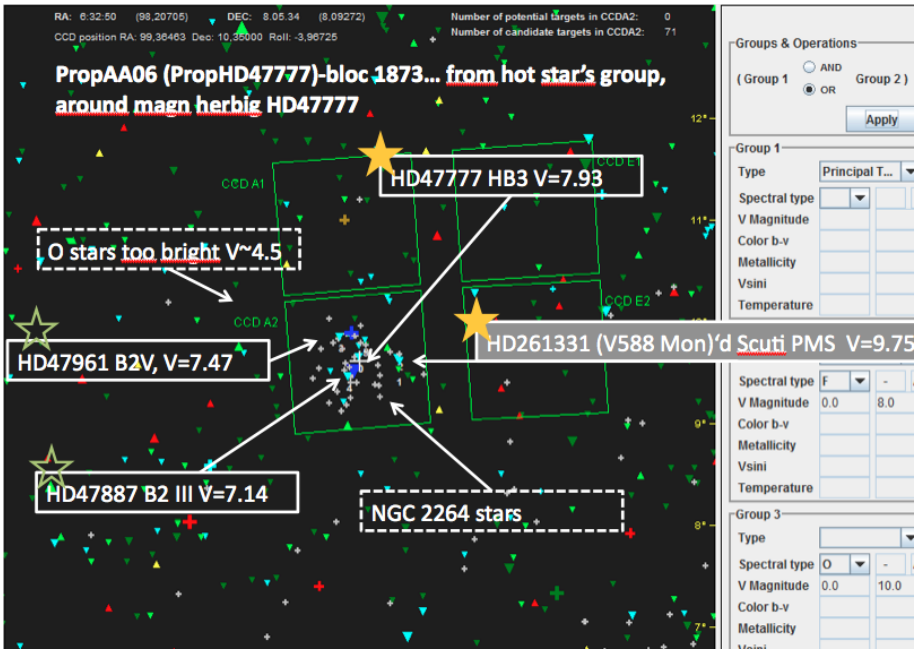
1 géante rouge a parallaxe
1 analogue solaire brillante et proche
1 étoile B chaude
2 étoiles B froides



Prop AA06

NGC 2264 dans le champ sismo
1 étoile de Herbig
1 delta scuti PMS
2 B V chaudes
1 B III

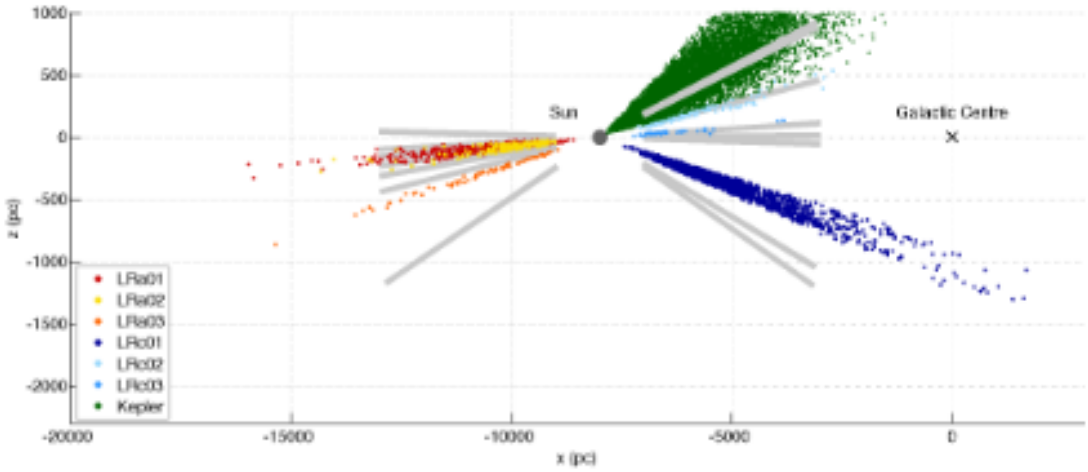
Rem : NGC 2264 a été observé 2 fois dans le champ exo (excluant les étoiles très brillantes), mais les étoiles brillantes de l'amas sont faisables dans le champ sismo.

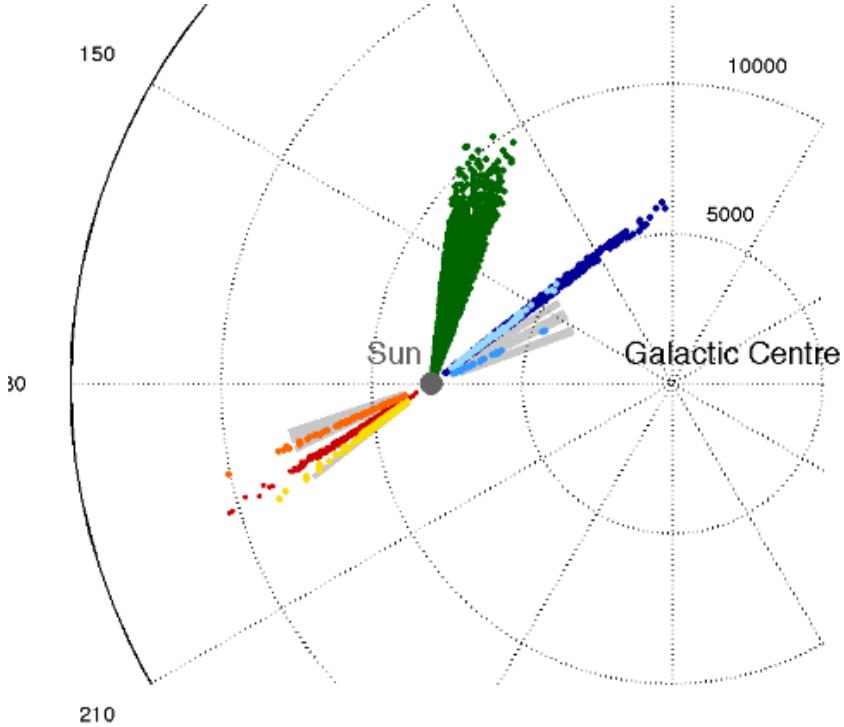


3- Recherche de régions favorables pour les programmes « statistiques »

E1 : Géantes rouges :

Variété de directions pointage de longue durée
Approcher le plus possible du bulge





En rouge et bleu quelques pointés CoRoT, en vert le champ *Kepler*, en gris, les pointés proposés dans la Table du § 4.

Simulations utilisant le modèle de Galaxie Triegal donnant des estimations du nombre total de géantes rouges, de la population du disque mince, du disque épais du halo et du bulge,.

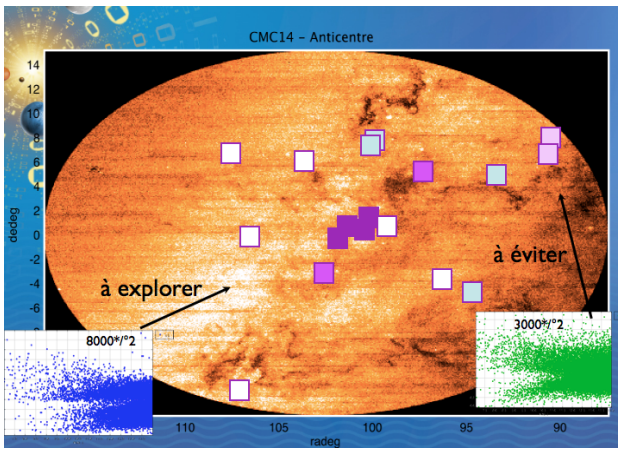
block	NT	Thin D	Thick D	H	B
1859	1431	1400 (98.9%)	14 (1%)	2 (0.14%)	0
1861	1258	1242 (98.7%)	15 (1.2%)	1 (0.08%)	0
1863	1258	997 (97.75%)	22 (2.15%)	1 (0.1%)	0
1864	2807	2788 (99.3%)	17 (0.6%)	2 (0.07%)	0
1865	272	250 (92%)	20 (7.35%)	2 (0.74%)	0
1866	1404	1179 (83.97%)	137 (9.76%)	39 (2.8%)	49 (3.5%)
1867	1226	945 (77%)	131 (10.7%)	48 (3.9%)	102 (8.32%)
1868	789	621 (78.7%)	99 (12.55%)	34 (4.3%)	35 (4.4%)
1869	590	585 (99.15%)	3 (0.5%)	1 (0.17%)	1 (0.17%)
1871	1184	1164 (98.3%)	14 (1.18%)	3 (0.25%)	3 (0.25%)
1872	1231	1197 (97.24%)	24 (1.95%)	6 (0.5%)	4 (0.3%)
1873	3338	3315 (99.3%)	21 (0.63%)	2 (0.06%)	0
1874	974	824 (84.6%)	74 (7.6%)	29 (3%)	47 (4.5%)

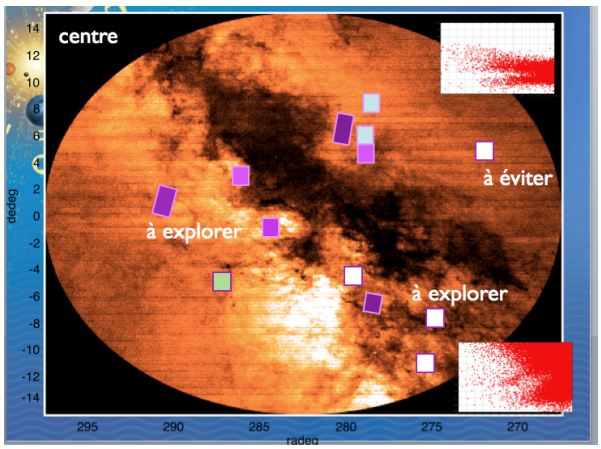
À noter que ce modèle, testé sur des champs déjà observés, donne une bonne évaluation de la population telle qu'elle est observée par CoRoT

Conclusion : Nombre maximum de géantes rouges par CCD, contenant des étoiles du bulge : **1500**

E2 : Recherche de planètes en particulier à courte période orbitale

Optimisation du nombre de naines brillantes
Maximiser le nombre de runs de durée intermédiaire





Nombre maximum de naines (R<15) par CCD : 4000

La somme du nombre de cibles géantes rouges et de naines brillantes par pointage est très inférieure au nombre total de cibles possibles. Les deux programmes ne se font pas d'ombre.

4- Comparaison des pointés permettant d'atteindre plusieurs objectifs à la fois

									Main scientific objective							
Prop	bloc	Core exte	Surf conv	Mass-los	Magnetic	Hot O an	Solar con	Planet he	dwarfs		Bulge	RG scalin	A B surve	cluster, P	reobs	
AA01	1859		2 Ostars	2 O,1Bsg,1B0e		2 O,1 Bsg		reobs 463	2512	1431	0			2244	CoRoT-18	CoRoT II
AA02	1861		5 Ostars	5 O stars		5 Ostars		reobs 463	2214	1258	0			2244		
AA03	1863	Gstar	GV		GV		GV V=6.42		4032	1258	0	?RG with	B2, 2 B8	2264		
AA04	1864	Be2V		Be2V	Be2V	B0.5III		HD45652	1981	2807	0		A9IV	?PMS		
AA05	1865	Be1V		Be1V	Be1V			HD44219	1095	272	0		A2,A5,F0			
AA06	1873				Magn HB	B2V,B2III			1556	3338	0			PMS		
AA07	1875	F2V***,G	F2V***	Be0*,Be0	F2V***,G	Be0*,Be0.5V*,B6I*			2632						CoRoT-7b***	
															CoRoT 2	
															CoRoT 9	
CC01	1866	G0V	G0V,AF2V		G0V		G0V V=6.8		3387	1404	489		F2V,A2,2A0			
CC02	1867	G0V	G0V		G0V		G0V V=6.93		2152	1226	102		A1,A4			
CC03	1868		G0V				G0V V=7.28		?	789	35	?RG with	A3			
CC04	1869		1G5V		G5V			G5V V=6.	3766	590	1		A3,A2,A8			
CC05	1870		3 O stars	3 O stars		3 O stars	1G0 V=7.	G5V V=7.	2715	twd bulge	?			Wrayet ecl. Bina		
CC06	1871	GV*	GV*					G8V V=8.	2457	1184	3		reobs HD175726* GV V=6.7			
CC07	1872	Gamma Dor*						GV V=8.3	3142	1231	4		A2,A5	GammaDor*,M star		
CC08	1874				magn Beta Cep				1120	974	47		2A3	magn Beta Cep V2052 Oph		
* already observed once, ** twice,...																

Reste à

- Compléter quelques colonnes (courant Mai)
- Tenter quelques nouveaux pointés favorables à E1 et E2 non encore examinés

5- Timing

1 – Dernière saison CoRoT II jusqu'en Mai 2013

Le premier pointage souligné en orange sera réalisé le prochain hiver.
Il permet de démarrer le programme d'étoiles chaudes observées sur une longue période, la ré observation d'une étoile à planètes pour laquelle les oscillations ainsi que la lumière réfléchie sont actuellement à la limite de détection (l'observation initiale n'a duré que 24 jours).
Le nombre de Géantes rouges et de naines est très raisonnable.

2- Priorisation des pointages en fonction des programmes accessibles et premier projet global à valider au prochain CS
Il s'agira de confirmer les priorités des pointages (actuellement en vert ou en bleu sur le tableau) et de vérifier qu'aucune zone n'aura été oubliée.

3- Pointage après pointage, rediscussion au Comité Sceintifique, où les priorités pourront être réajustées compte tenu des résultats obtenus dans les runs précédents (et éventuellement de l'état de l'instrument !).

B- Le programme Géantes Rouges

Le programme Géantes Rouges de CoRoT comporte deux parties complémentaires

1- La calibration des paramètres sismiques (S4)
En effet ces relations, qui permettent d'obtenir les paramètres fondamentaux à partir des paramètres sismiques, ont été calibrées sur le Soleil et il est essentiel de les valider pour ce type d'objet.
CoRoT a l'avantage de pourvoir observer des étoiles très brillantes dans le champ sismo, donc d'obtenir une très bonne précision.

$$\nu_{\max} = \frac{M/M_\odot}{(R/R_\odot)^2 \sqrt{T_{\rm eff}/5777\ {\rm K}}}\ 3050\ \mu{\rm Hz}.$$

$$\Delta\nu = \sqrt{\frac{M/M_\odot}{(R/R_\odot)^3}}\ 134.9\ \mu{\rm Hz}.$$

$$R/R_\odot = (\nu_{\max}/\nu_{\max,\odot}) \cdot (\Delta\nu/\Delta\nu_\odot)^{-2} \cdot (T_{\rm eff}/5777\ {\rm K})^{1/2}$$

$$M/M_\odot = (R/R_\odot)^3 \cdot (\Delta\nu/\Delta\nu_\odot)^2.$$

CoRoT a déjà observé quelques géantes rouges dont 4 appartenant à l'amas NGC 6633 et le travail est en cours. Quelques objets supplémentaires sont souhaitables.

2- Le mapping de la Galaxie (E1)
L'idée extrêmement séduisante d'utiliser les paramètres sismo pour caractériser les étoiles leur masse, leur age, et leur distance est évidemment très excitante.
Elle vient juste d'émerger grâce d'abord à CoRoT, qui a pour la première fois détecté des spectres très riches d'oscillations de type solaire, puis des modes de gravité ou mixtes dans ces objets.

La sismologie montre maintenant qu'elle est capable de lever les dégénérescences du stade géantes parce que les indices sismiques ne sont pas dégénérés, puisqu'ils reflètent l'état interne **et ne confondent pas deux objets de même température effective et de même luminosité mais de structure interne différentes**.
Ainsi, Delta_nu et nu_max permettent de déterminer les masses avec une précision de 10%.
Et la masse d'une Géante Rouge est un bon indicateur d'âge.
DE plus les spectres d'oscillation des dipôles permettent d'identifier si l'étoile est dans la phase de combustion de l'Hydrogène en couche, ou de la combustion de l'Hélium dans le centre. (Bedding et al 2011 -for Kepler-, Mosser et al.2011-for CoRoT).
Pour une étoile du champ, seule la sismologie peut faire cette distinction

Si la composition chimique est connue (Projet au sol, collaboration Liege-Birmingham-Postdam), la sismologie peut donner des âges à 15 % près, alors que les méthodes classiques comme les isochrones peuvent être incertaines d'un facteur 2

Bien qu'il ne soit pas complètement indépendant des ingrédients du modèle stellaire l'âge dépend beaucoup moins de la physique et du mélange interne pour ces stades avancés que pour la séquence principale,. Ainsi les processus de mélange affectent les estimations d'âge des géantes d'à peu près 5%, alors que sur la séquence principale l'incertitude est de 20 à 25%.

Cependant, ni CoRoT , ni *Kepler* n'ont été faits pour cela !
Un programme global de caractérisation sismique de la Galaxie serait évidemment faisable avec une mission dont le pointage ne serait pas contraint et qui pourrait scanner tout le plan galactique et ses environs. C'est ce que PLATO pourra faire.

Dans le cadre des contraintes de pointage imposées par le satellite CoRoT nous pourrons espérer compléter les observations déjà faites en multipliant les pointages dans de nouvelles directions (plus la mission durera, plus il y aura de régions observées).
Une bonne nouvelle récente sur la qualité du enceinte acoustique de CoRoT va nous permettre d'envisager des pointages se rapprochant du bulge et donc d'accéder à des populations nouvelles.

Avec CoRoT, comme montré précédemment on peut observer à peu près 1500 Géantes rouges par champ.
La précision sur les paramètres sismiques est directement liée au temps d'observation.
Avec les runs longs de 180 jours la précision sur delta-nu est de 0.8% et sur nu_max de 3% ; ce qui est suffisant pour contraindre le stade évolutif. Pour les runs dits intermédiaires de 90 jours les précisions sont en gros divisées par sqrt(2) .
Un débat est en cours pour décider s'il est préférable d' augmenter le nombre de pointages ou d'augmenter la durée d'observation.

À noter que l'arrivée des mesures de distance par **Gaïa** permettra d'obtenir une vision spatiale plus cormplète et de séparer la mesure de distance de celle de l'absorption, et de confronter les résultats sismiques aux résultats astrométriques.