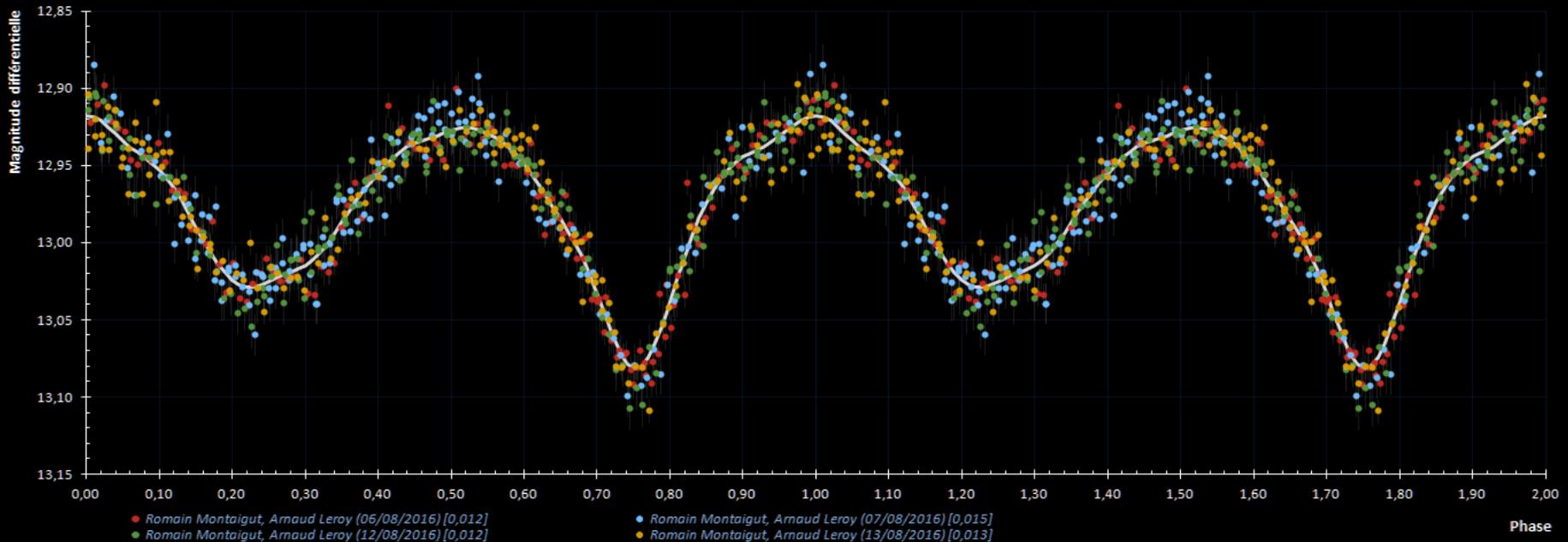


Photométrie différentielle

Principe, techniques et méthodologie

(4775) Hansen

Période : 0,12994 jour (3,1185 h) Époque : 2457606,50891 JD Amplitude : $0,164 \pm 0,014$ Mag



Principe

- > **Photométrie** :

- ⇒ étude de l'intensité lumineuse des objets célestes et de sa variation dans le temps

- > **Comparaison** du **flux** de l'objet étudié avec des **étoiles étalons** supposées stables

Principe

- > **Photométrie différentielle** :
 - Plusieurs **dizaines** à quelques **centaines** d'images du **même champ** tout au long de la nuit
 - **Temps de pose** à **adapter** en **fonction** de la **cible** :
 - **Suffisant** ... pour limiter les effets de scintillation et obtenir un bon rapport signal/bruit (généralement > 60s)
 - **Mais pas trop** ... pour éviter la saturation et atteindre une résolution temporelle suffisante (généralement < 300s)
 - **Cible** et **étalons** sont dans la **même image**
 - Permet de s'affranchir d'un certain nombre d'effets atmosphériques : **masse d'air identique** !

Principe

- > **Photométrie différentielle** :
 - Avec ou sans **filtres** (selon les besoins...)
 - Les mesures filtrées peuvent être **raccordées** en justesse à un **système photométrique standard** mais il s'agit généralement **d'étalons dérivés**
 - Pour certaines cibles (exoplanètes, objets à courtes périodes...) il est possible de **s'affranchir de la justesse** et travailler en **différentiel pur** (en fonction des objectifs visés)

Principe

> Photométrie différentielle :

⇒ Très bonne fidélité !

↳ i.e. : capacité à restituer des variations relatives

⇒ Mais la justesse, qui n'est pas toujours recherchée, dépend de la qualité du catalogue utilisé (étalons dérivés)

↳ i.e. : raccordement en "absolu" des mesures

Quelques techniques...

Techniques

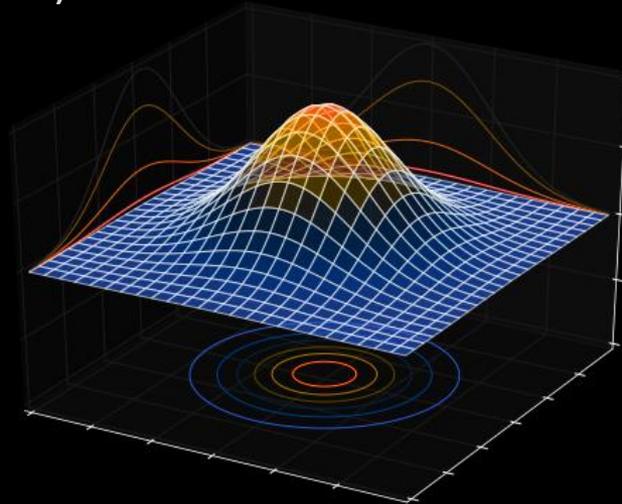
- > 2 techniques de mesure :
 - Photométrie par **modélisation de PSF**
 - Photométrie **d'ouverture**

- > **Avantages** et **inconvénients** à évaluer en fonction du domaine d'application et de la qualité des images

Techniques

Photométrie par modélisation de PSF

- > Mesure du **flux de l'objet** par intégrale d'un **modèle de forme** supposé de la **fonction d'étalement** du point (Point Spread Function)



Techniques

Photométrie par modélisation de PSF

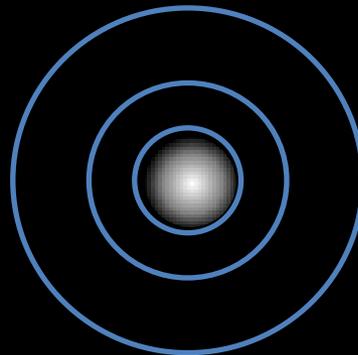
- > Différents modèles de PSF :
 - > Gauss / Moffat ...
 - > Forme circulaire / elliptique
 - > Inconvénient : très modèle dépendant et peu adapté aux formes atypiques de PSF

- > Tolère de fortes densité d'étoiles

Techniques

Photométrie d'ouverture

- > Mesure du **flux de l'objet** dans un **disque** et mesure du **fond de ciel** (soustrait) dans un **anneau externe**



Techniques

Photométrie d'ouverture

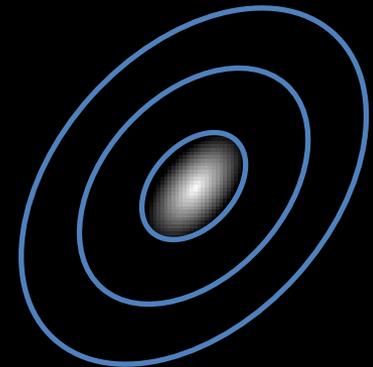
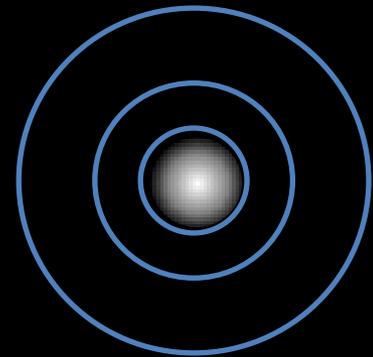
- > Très **performant** et **facile** à mettre en oeuvre
- > Tolère des PSF atypiques (forte défocalisation)

Techniques

Photométrie d'ouverture

- > Ouverture **circulaire**
 - exprimé en **pixels** ou en **FWHM**

- > Ouverture **elliptique**
 - exprimé en **FWHM**



Techniques

Photométrie d'ouverture

- > Mesure du flux de l'objet :
 - division en **sous-pixels** pour améliorer le contour de l'ouverture du disque interne

- > Mesure du fond de ciel :
 - valeur **moyenne / médiane** avec **facteur de réjection** des pixels déviants (3σ) pour éliminer les étoiles, cosmiques ou pixels chauds

Les méthodes recommandées...

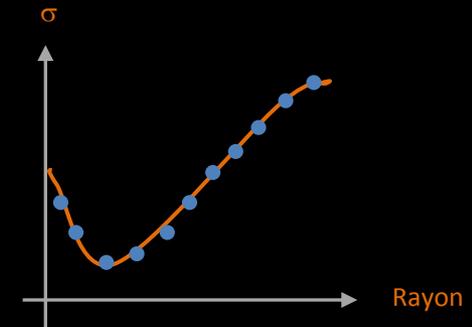
Méthodes

- > **Synchroniser** l'horloge du PC (Dimension 4)
- > Soigner la **correction** Offset/Dark et surtout du **Flat**
- > Utiliser un **maximum** d'étoiles étalons (>5)
- > **Critiquer** les étoiles étalons **retenues**
(critères statistiques et visualisation graphique pour chaque étalon) :
 - signal/bruit suffisant (magnitude limite)
 - pas de saturation ($\text{MAX ADU} < \text{seuil de linéarité du CCD}$)
 - bonne stabilité (faible écart type)
 - indice de couleur proche de la cible (pente de la courbe)

Méthodes

> En photométrie d'ouverture :

- **Optimiser** les rayons d'ouverture :
 - pour le disque interne, un rayon proche de 1,7 à 2 x FWHM de l'objet est bien adapté en première approche,
 - déterminer le rayon idéal par itération sur les étoiles étalons (écart type le plus faible)
- Vérifier l'**absence** d'étoiles parasites au voisinage



Photométrie différentielle

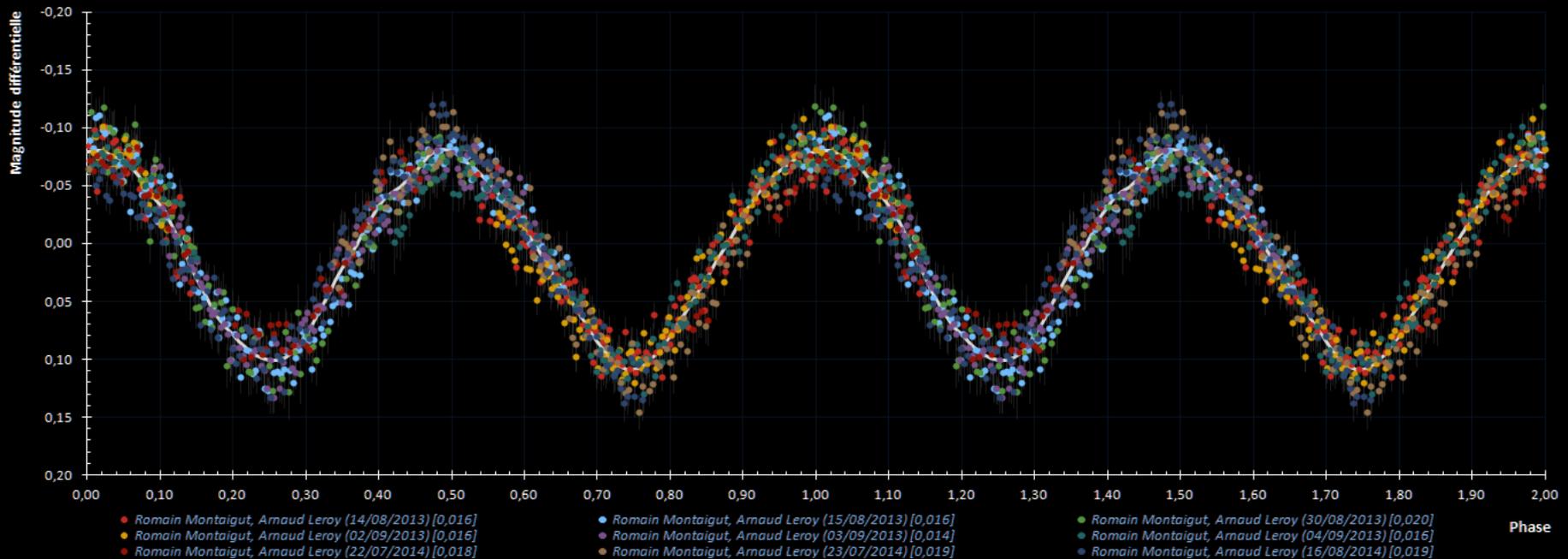
Applications et interprétations des mesures

USNO-A2.0 1275-18547645

Période : 0,3952 jour (9,4849 h)

Époque : 2456518,42117 JD

Amplitude : $0,191 \pm 0,017$ Mag



Les Exoplanètes

Exoplanètes

- > Contraintes **techniques** : recherche de la meilleure fidélité
 - ⇒ Algorithme **dédié** permettant d'optimiser l'analyse (AstroImageJ, Muniwin, Calaphot...)
 - ⇒ **Adapter** la **défocalisation** en fonction de la cible et de son environnement
 - ⇒ Utilisation d'un **filtre** pour limiter les **effets de couleur**
 - ⇒ Choix **déterminant** des étoiles de référence sur le résultat

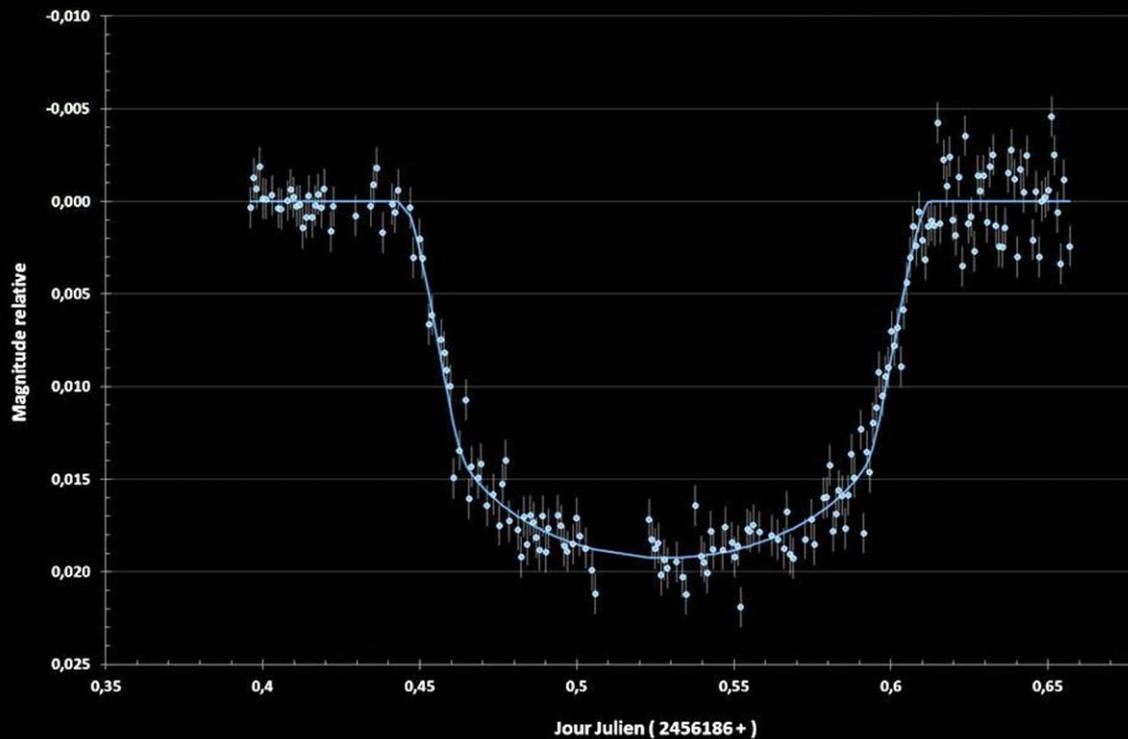
- > **Objectifs** scientifiques :
 - Déterminer la **durée**, la **profondeur** et les **éphémérides** des transits
 - Caractériser la **géométrie** de la planète et du système
 - Détecter d'autres planètes dans le système (**TTV**)
 - ...

Exoplanètes

Courbe de Transit

HAT-P-17 b

Romain Montaigut, Christophe Gillier, Serge Golovanow [09/2012]



Les Astéroïdes

Astéroïdes

> Contraintes **techniques** : des cibles **mobiles**

- ⇒ Algorithme **dédié** permettant de « **suivre** » l'objet (Prism, Calaphot...)
- ⇒ Temps de pose à **limiter** selon la **vitesse apparante**
- ⇒ Les cibles peuvent être de faible magnitude et/ou de faible amplitude
- ⇒ Les étoiles de référence **changent** de nuit en nuit
- ⇒ **Pollution** de la mesure par les **étoiles** qui se trouvent sur la **trajectoire**



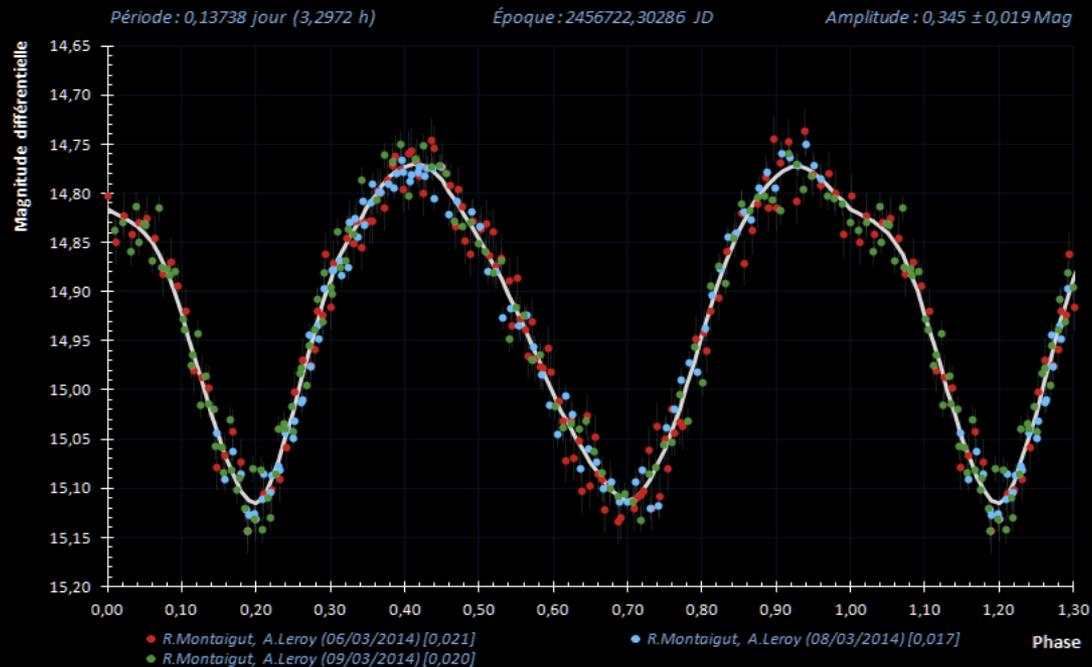
> **Objectifs** scientifiques :

- Déterminer la **période** et l'**amplitude** de la courbe de rotation
- Caractériser la **morphologie** de l'objet (nécessite plusieurs oppositions)
- Détecter un éventuel objet multiple (**binaire**)
- ...

Astéroïdes

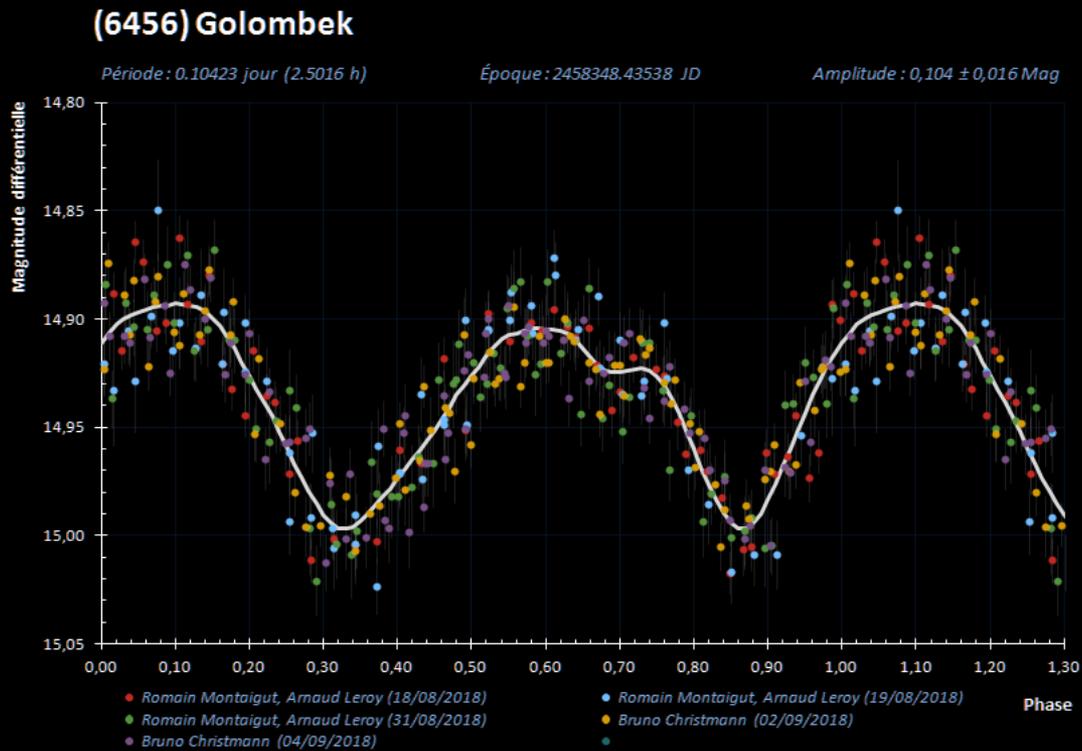
Courbe de Rotation

(4132) Bartok



Astéroïdes

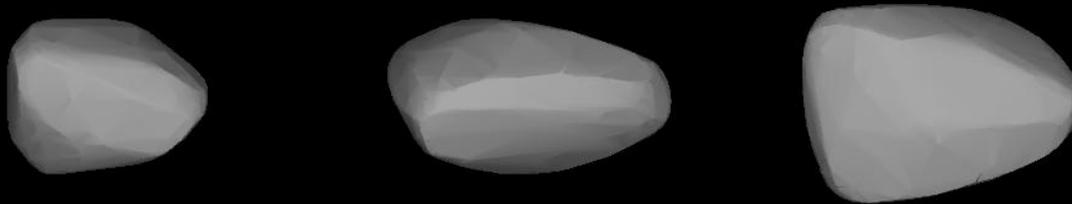
Courbe de Rotation



Astéroïdes

Courbe de Rotation

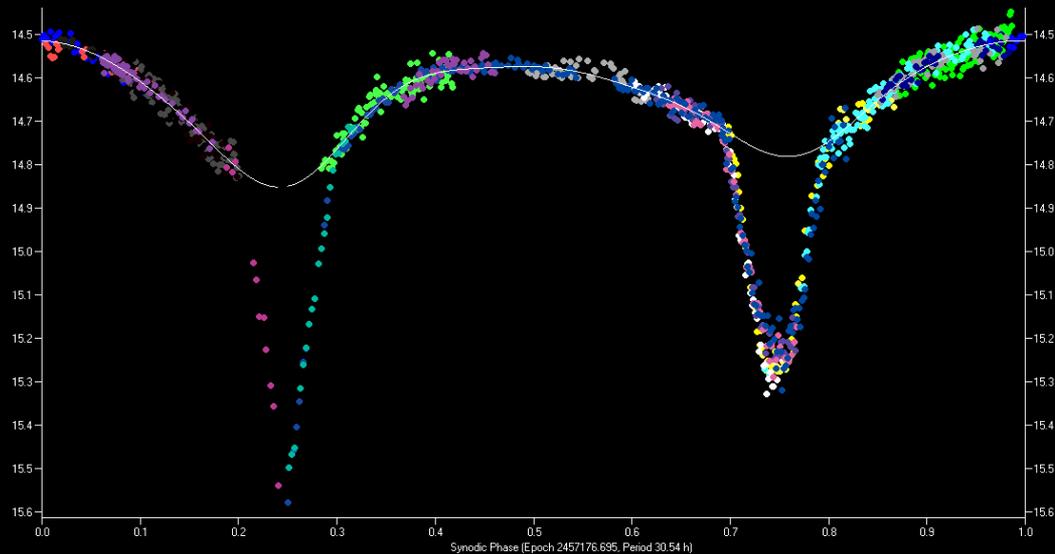
- > **Modélisation 3D** possible après **plusieurs oppositions**
(méthode d'inversion des données, détermination de l'orientation du pôle de rotation...)



Astéroïdes

Binaire Sychrone

- > Recherche d'un objet multiple : **binaire sychrone**
 - **Rupture** dans le **minimum** de la **courbe** de rotation



Astéroïdes

Binaire Asynchrone

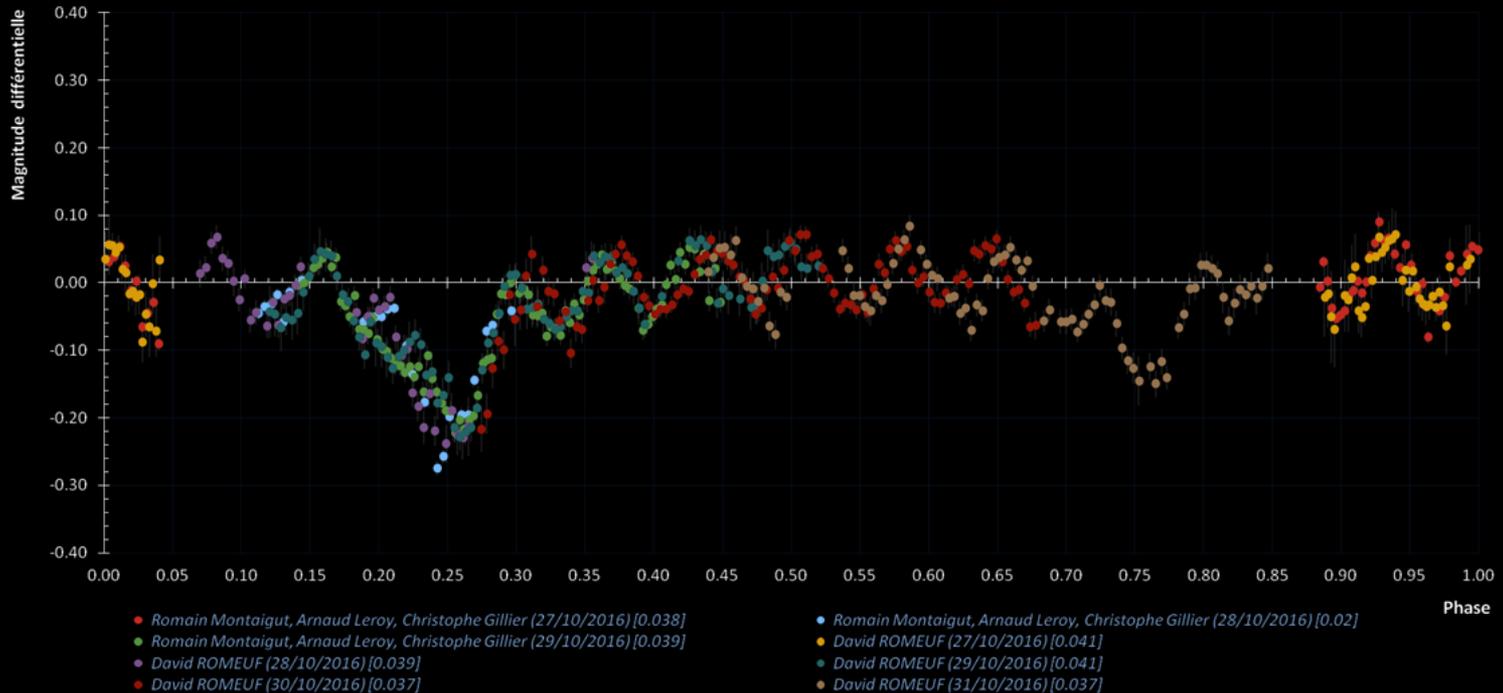
- > Recherche d'un objet multiple : **binaire asynchrone**
 - **Soustraction** de la **forme** de la **courbe** de rotation **principale** pour identifier un **deuxième** signal (éclipses/occultations) **périodique** caractéristique d'un **système binaire** (période orbitale du système)
 - Nécessite des **mesures** de **qualité** (très bonne fidélité requise)
 - **Eclipses/occultations** évoluent rapidement avec la phase solaire

Astéroïdes

Binaire Asynchrone - Période orbitale : mesures brutes

(5112) Kusaji

Période orbitale : 0.86417 jour (20.74008 h) Époque : 2457688.60657 JD



Astéroïdes

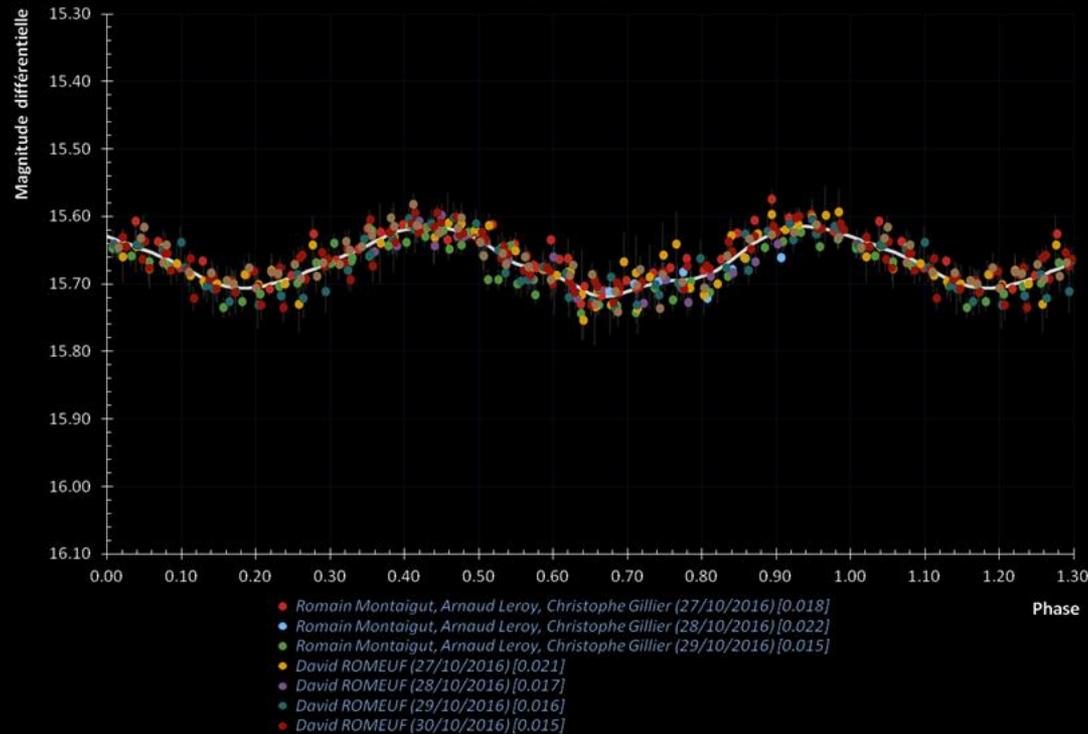
Binaire Asynchrone - Période principale de rotation : P_1

(5112) Kusaji

Période : 0.11664 jour (2.7992 h)

Époque : 2457688.37057 JD

Amplitude : 0.104 ± 0.019 Mag

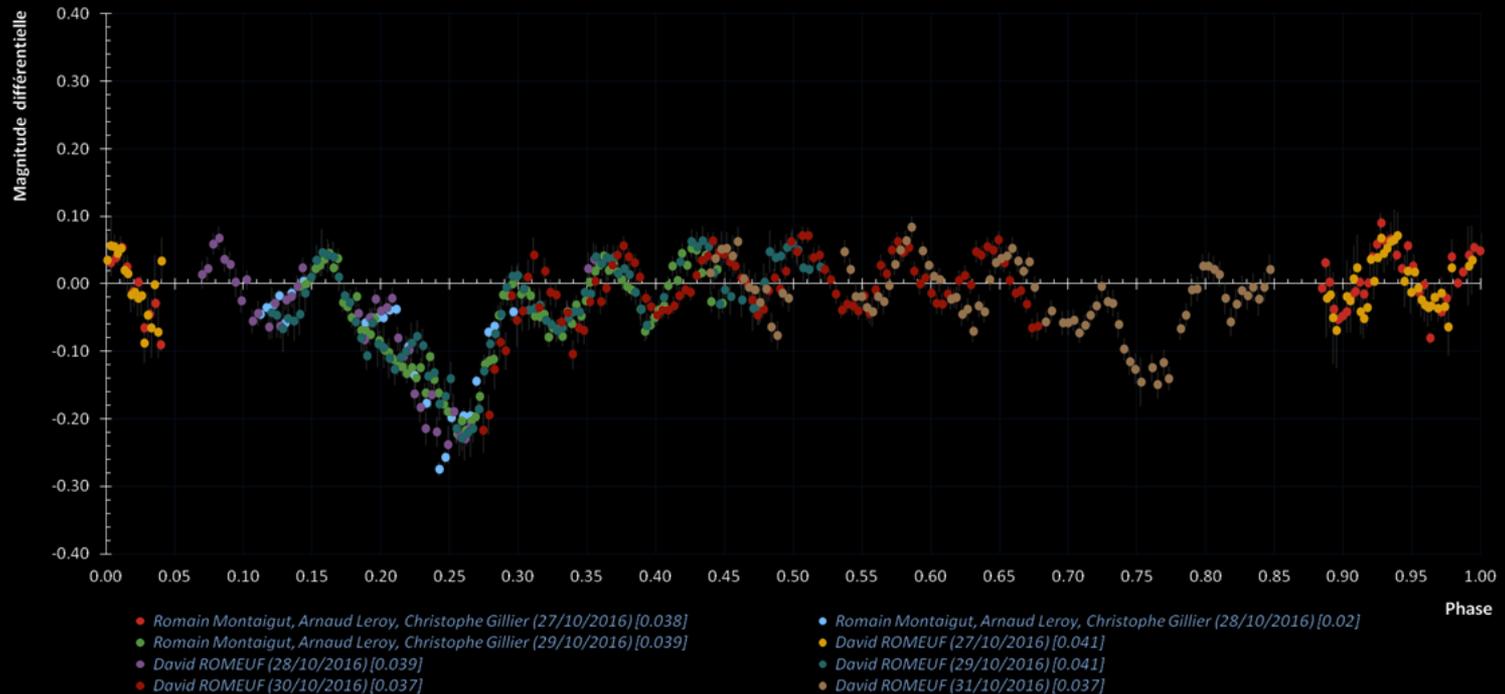


Astéroïdes

Binaire Asynchrone - Période orbitale : mesures brutes

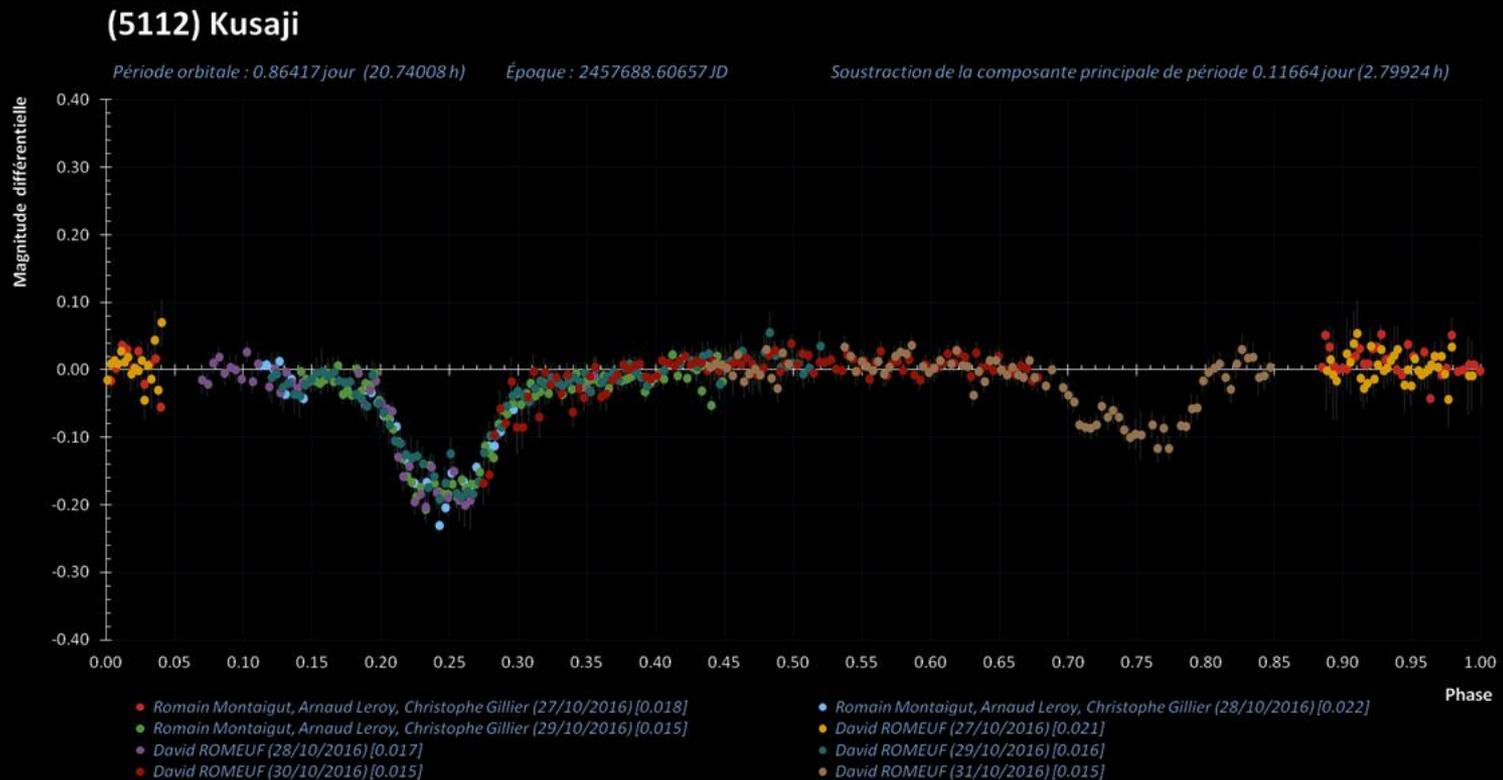
(5112) Kusaji

Période orbitale : 0.86417 jour (20.74008 h) Époque : 2457688.60657 JD



Astéroïdes

Binaire Asynchrone - Période orbitale : soustraction de la contribution de P_1



Les Etoiles variables

(à courtes périodes)

Etoiles variables

> Contraintes **techniques** :

- ⇒ Tous les logiciels sont adaptés (Prism, Calaphot, Muniwin, AstrolmageJ, MaximDL...)
- ⇒ Large choix en **magnitude** et en **amplitude** de variation
- ⇒ Pour les pulsantes, l'indice de couleur change en fonction de la phase
- ⇒ Il est facilement possible d'en **découvrir** de nouvelles !

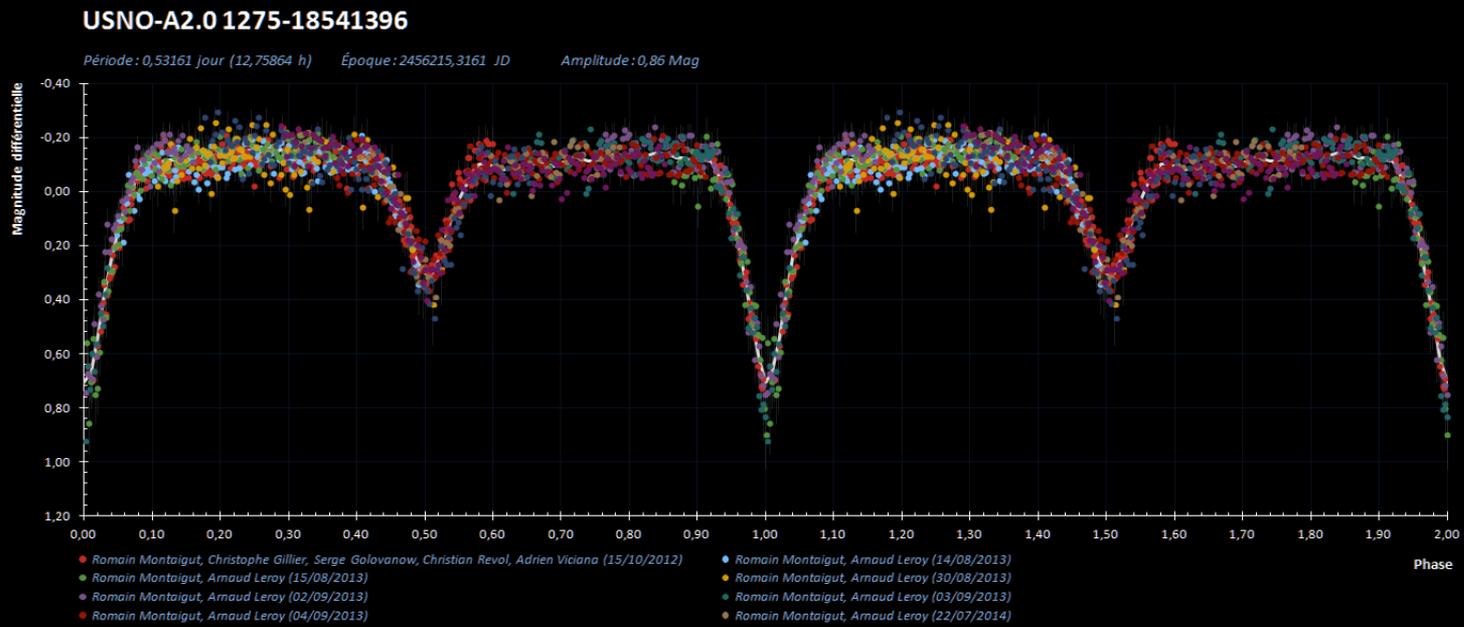
> **Objectifs** scientifiques :

- Déterminer la **période** et l'**amplitude** de la courbe de lumière
- **Caractériser** le type d'objet (classification)
- Détecter des **singularités**
- ...

Etoiles variables

Etoiles binaires à éclipses

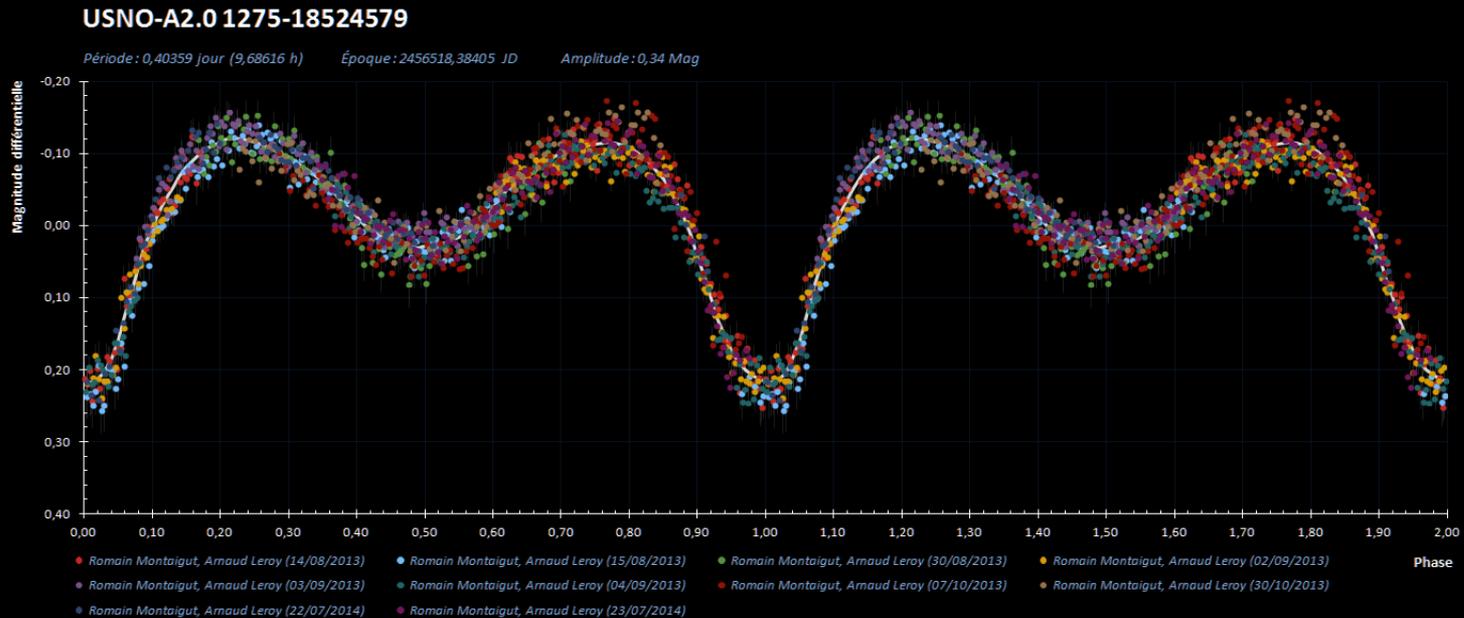
> EA (Algoïde)



Etoiles variables

Etoiles binaires à éclipses

> EB (Beta Lyrae)



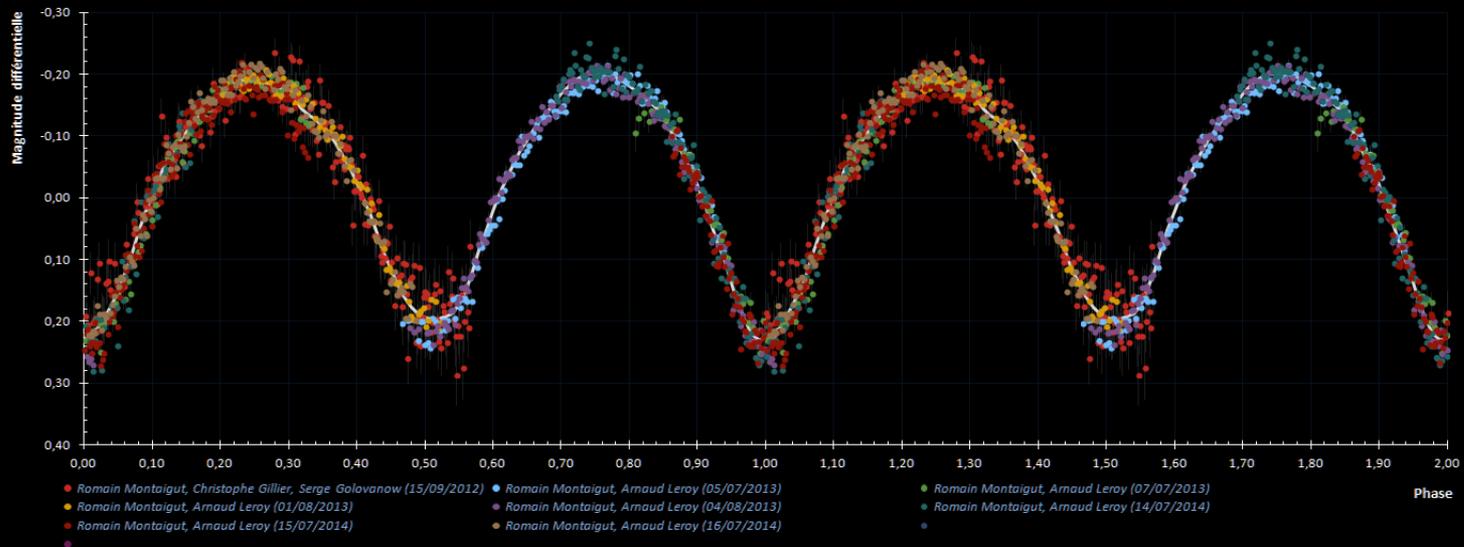
Etoiles variables

Etoiles binaires à éclipses

> EW (W Ursae Majoris)

USNO-A2.0 1200-18289562=RM20=CG9=SG7

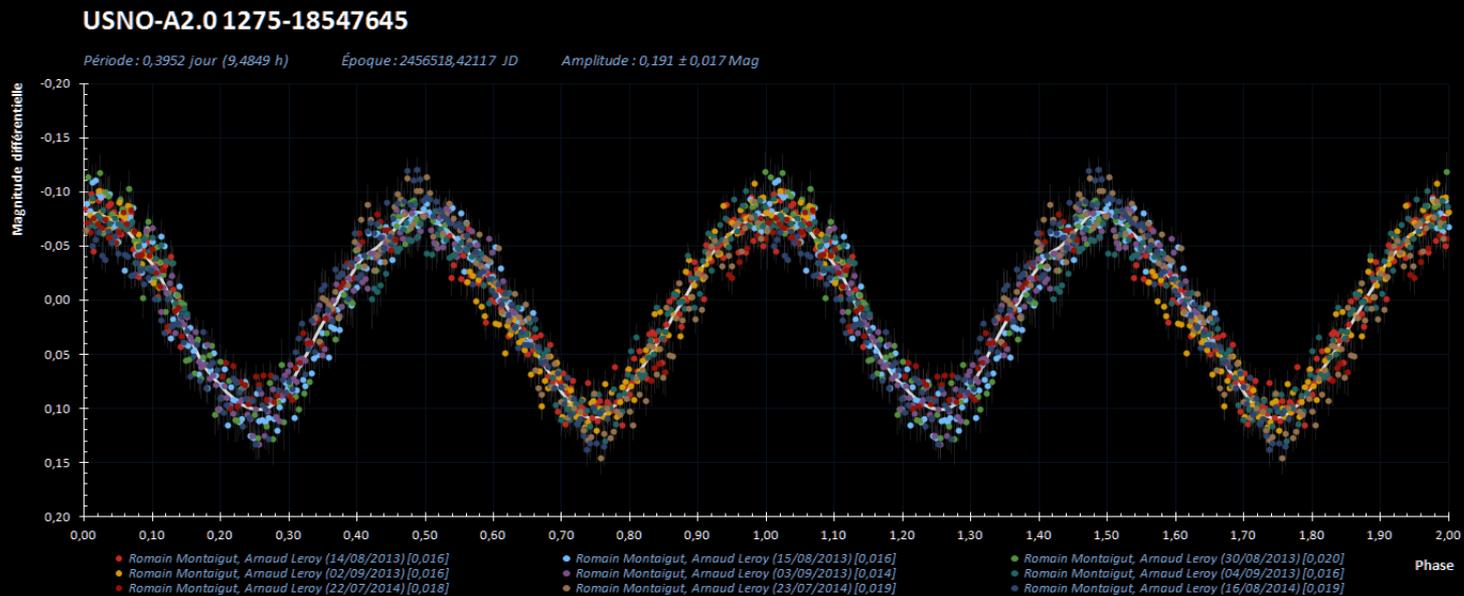
Période : 0,46107 jour (11,06568 h) Époque : 2456185,47409 JD Amplitude : 0,43 Mag



Etoiles variables

Etoiles binaires sans éclipses

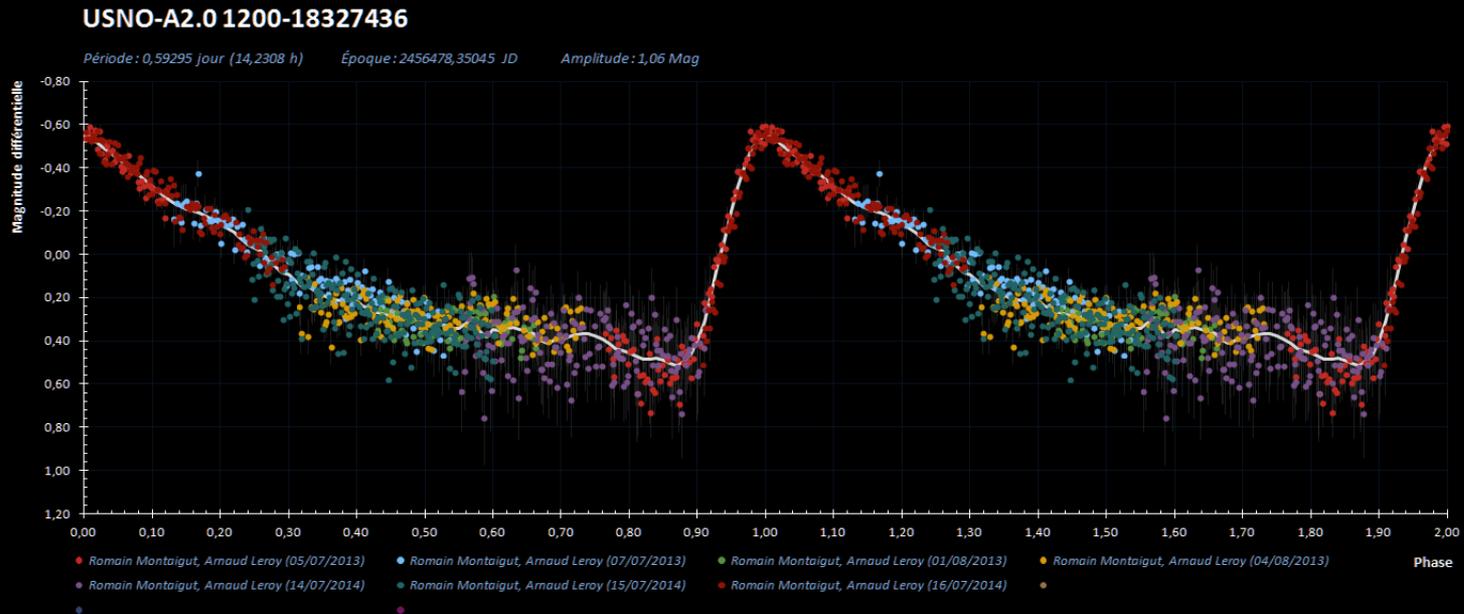
> ELL (Ellipsoïde)



Etoiles variables

Etoiles pulsantes

> RR Lyrae (AB)



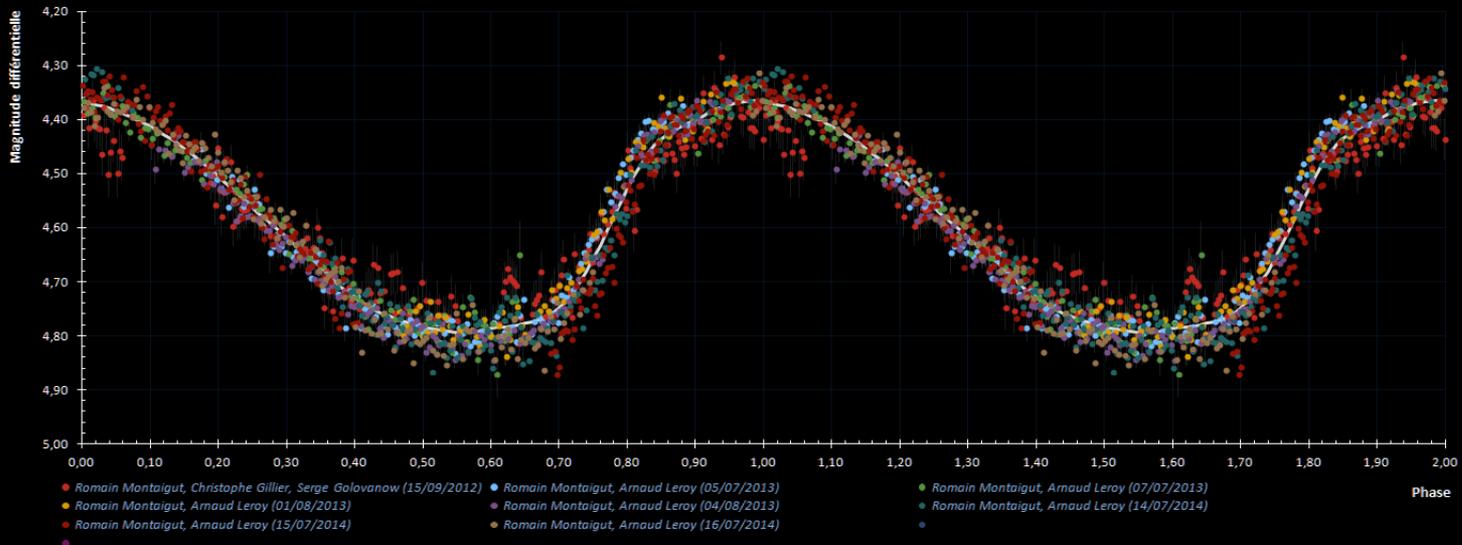
Etoiles variables

Etoiles pulsantes

> RR Lyrae (c)

USNO-A2.0 1200-18296589=RM21=CG10=SG8

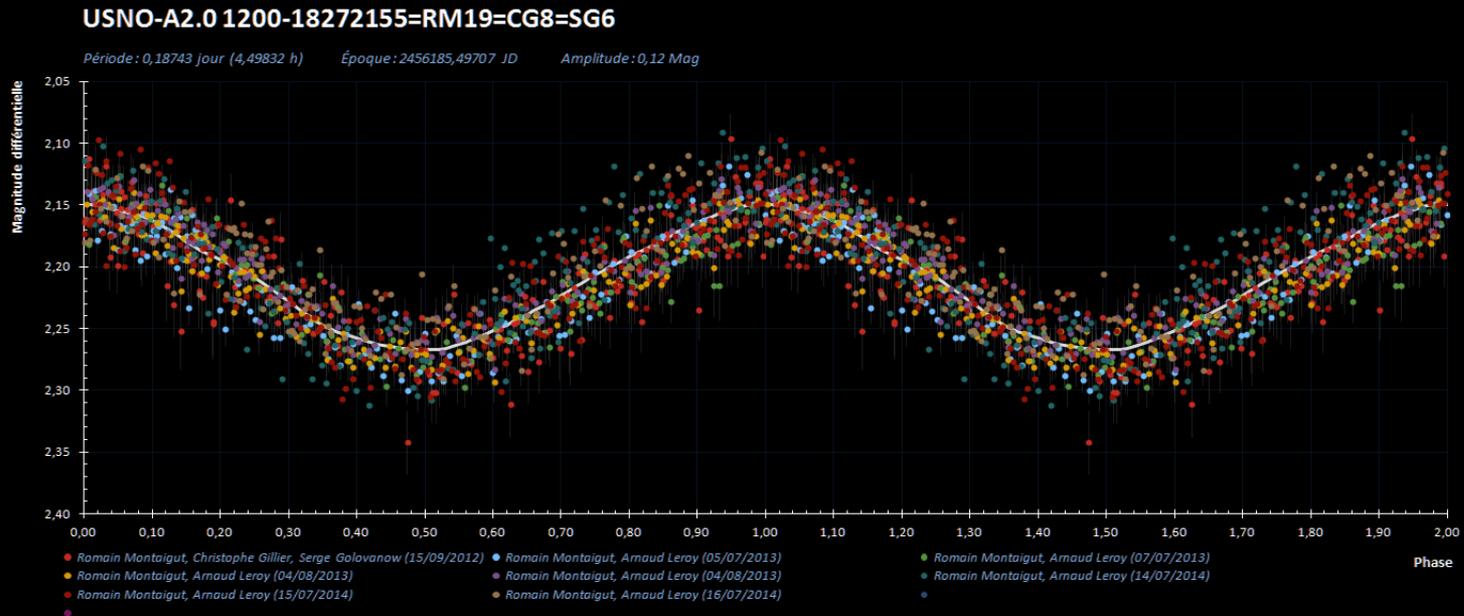
Période : 0,2999 jour (7,1976 h) Époque : 2456185,44009 JD Amplitude : 0,43 Mag



Etoiles variables

Etoiles pulsantes

> Delta Scuti



Photométrie différentielle

MERCI

