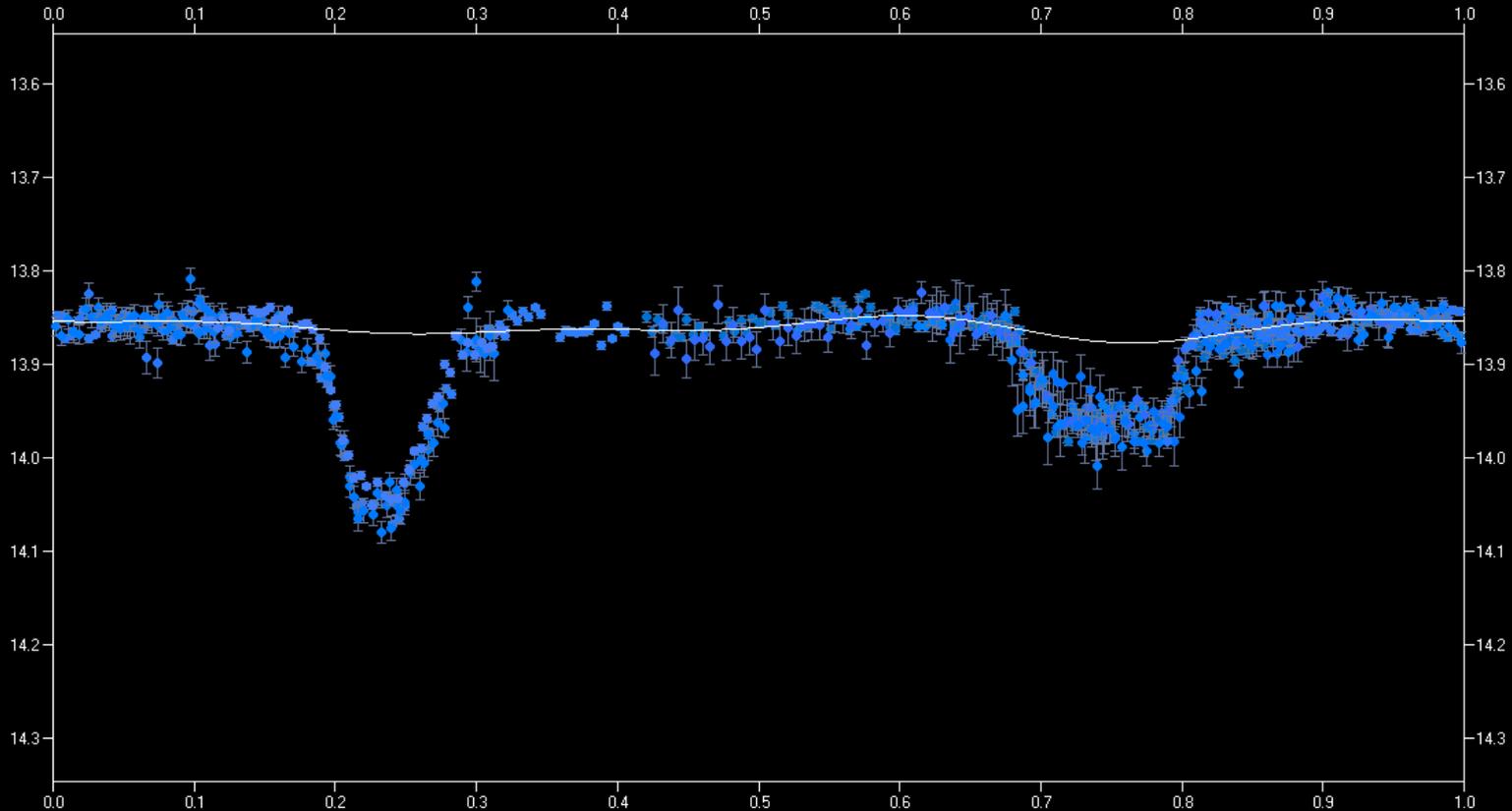


Photométrie

Principes et méthodologie



Avant tout, un peu de métrologie...

Métrologie

- > La **métrologie** est la science de la **mesure**
 - ⇒ elle définit les principes et les méthodes permettant de garantir la confiance envers les mesures résultant des processus de mesure

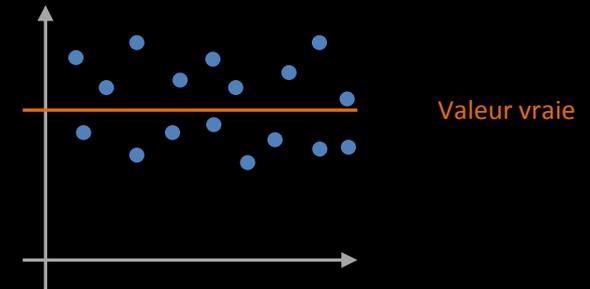
- > Nécessité d'appliquer les concepts de la **métrologie** à la **photométrie** pour une plus grande rigueur :
 - vocabulaire
 - traçabilité des mesures
 - estimation des incertitudes
 - ...

Métrologie

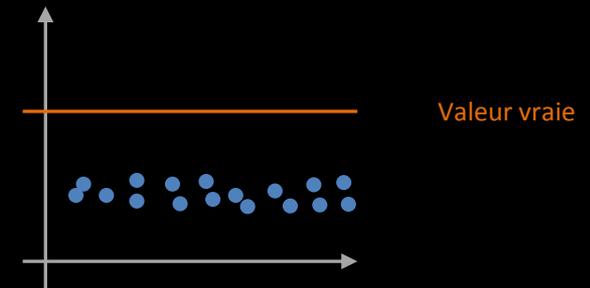
- > **VIM** : Vocabulaire International de Métrologie
 - NF ISO/CEI GUIDE 99:2011
- > **Norme** bilingue **anglais-français** qui donne des orientations sur les **concepts** et **termes** utilisés dans **diverses** approches de la **mesure**
- > Avant de pouvoir **communiquer**, il faut **connaître** et **comprendre** les mots que l'on souhaite utiliser !

Métrologie

> **Justesse** : étroitesse de l'accord entre la moyenne d'un nombre infini de valeurs mesurées répétées et une valeur de référence

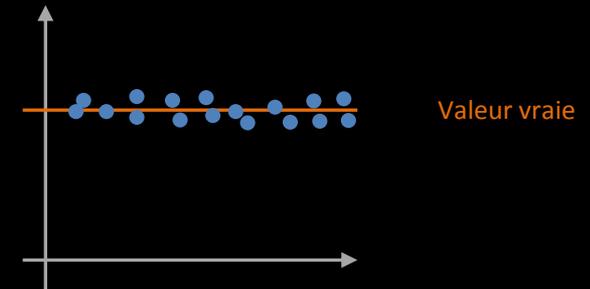


> **Fidélité** : étroitesse de l'accord entre [...] les valeurs mesurées obtenues par des mesurages répétés du même objet [...]



Métrologie

- > **Exactitude** : étroitesse de l'accord entre une valeur mesurée et une valeur vraie [...]



- > **Exactitude = Justesse + Fidélité**

- > ~~Précision~~ : terme à bannir, trop ambigu

Métrologie

- > **GUM** : Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure
 - [NF ISO/CEI GUIDE 98-3](#)

- > **Norme** permettant de définir les méthodes pour **évaluer l'incertitude d'un résultat de mesure**
 - Analyse du processus de mesure (lister les grandeurs d'influence)
 - Quantification des sources d'incertitude (Type A ou B)
 - Propagation de l'incertitude
 - Expression finale du résultat (incertitude élargie et expression du résultat arrondi)

Les principes de mesures...

Principes

> **Photométrie :**

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

> **Comparaison du flux de l'objets étudié avec des étoiles étalons**

> **3 principes de mesures :**

- Photométrie **relative**
- Photométrie **différentielle**
- Photométrie **absolue**

> **Références :**

- [The Acquisition of Photometric Data](#) (Arlo U. Landolt)
- [An Introduction to Astronomical Photometry Using CCDs](#) (W. Romanishin)

Principes

> **Photométrie relative :**

- **Cible et étalon(s)** sont dans des **champs différents**
 - Nécessite de prendre en compte les coefficients d'extinction atmosphérique pour corriger les mesures (**masse d'air différente**)
 - Les résultats sont exprimés en **magnitude**, dans une **large bande** spectrale et une **transmission** relative à un **système photométrique standard**
 - Les mesures sont **raccordées** en utilisant des **étalons standards** (Landolt par exemple)
- ⇒ Bonne **justesse** des mesures si la méthode est maîtrisée (complexe à mettre en oeuvre)

Principes

- > **Photométrie différentielle** :
 - **Cible et étalon(s)** sont dans la **même image**
 - Permet de s'affranchir d'un certain nombre d'effets atmosphériques (**masse d'air identique**)
 - Les mesures peuvent être **raccordées** à un **système photométrique** mais il s'agit généralement **d'étalons dérivés**
- ⇒ Très bonne **fidélité** mais la justesse dépend de la qualité du catalogue utilisé (étalons dérivés)

Principes

> Photométrie absolue : Spectrophotométrie

- **Distribution spectrale d'énergie** hors atmosphère
- Les résultats sont exprimés en **unités physiques** :
 - $\text{W.m}^{-2}.\text{Hz}^{-1}$ ou $\text{erg.s}^{-1}.\text{cm}^{-2}.\text{Å}^{-1}$
 - Indépendamment d'un système photométrique standard
- ⇒ Très riche d'information mais extrêmement complexe à mettre en oeuvre et limité aux objets lumineux

– Exemple : [Spectrophotométrie](#) (C. Buil)

Plus loin dans la technique...

Techniques

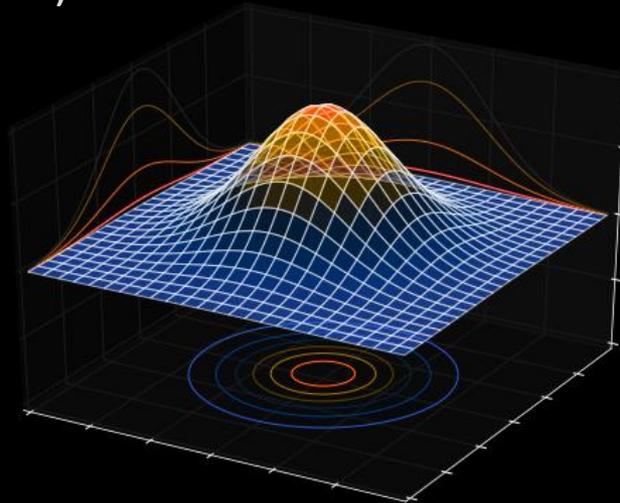
- > 2 techniques de mesure :
 - Photométrie par **modélisation de PSF**
 - Photométrie **d'ouverture**

- > **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

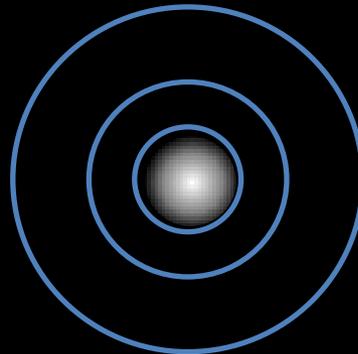
- > Différents modèles de PSF :
 - > Gauss / Moffat ...
 - > Forme circulaire / elliptique
 - > Inconvénient : très modèle dépendant

- > 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

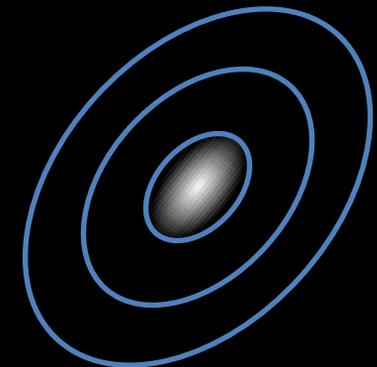
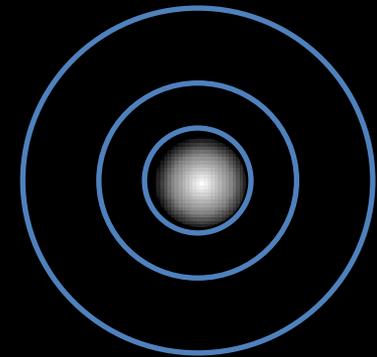
- > Très **performant** et **facile** à mettre en oeuvre
- > Tolère des PSF atypiques (forte défocalisation)

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)

Les méthodes recommandées en photométrie différentielle...

Méthodes

- > Soigner la **correction** Offset/Dark et surtout du **Flat**
- > Utiliser un **maximum** d'étoiles étalons
- > **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 $2 \times \text{FWHM}$ 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

