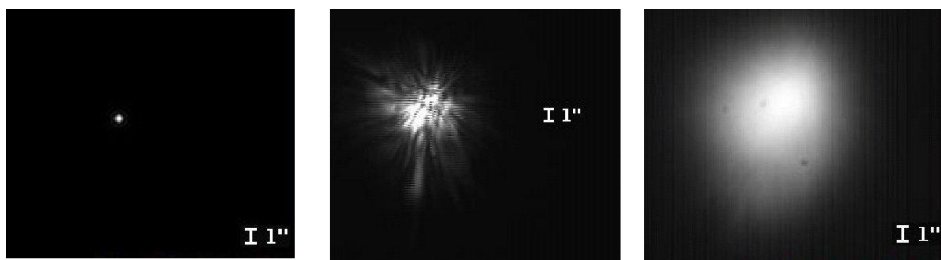


Interférométrie des tavelures

Principe

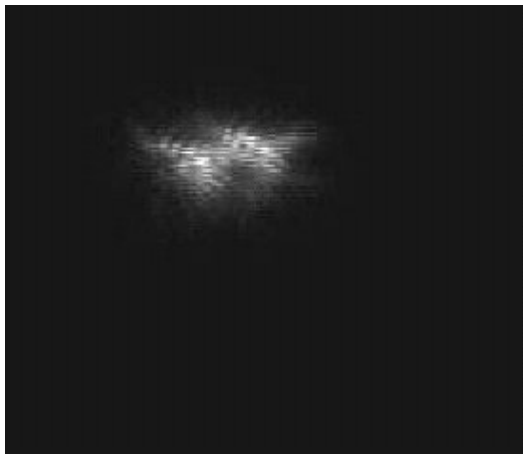
Ce TP est fortement inspiré du rapport de la mission de Martine Castets et Bernard Tregon disponible sur http://www.astrosurf.com/t60/missions/compte_rendu_mission_Speckles_pic_I_MCA.pdf. Les images distribuées pour ce TP proviennent de cette mission et ont été obtenues sur le télescope de 60 cm du pic du midi en 2008.

L'interférométrie des tavelure est une méthode qui permet d'observer précisément des étoiles doubles lorsque la turbulence atmosphérique limite la résolution de la mesure. En l'absence de turbulence le télescope va focaliser la lumière en une tache dont la taille, limitée par la diffraction, dépend de la largeur du télescope (Image de gauche). Le télescope de 60cm possède une résolution théorique de 0.2 seconde d'arc (on rappelle qu'il y a 3600 seconde d'arc dans un degré).



Dans le cas où il y a de la turbulence, le front d'onde est modifié par la traversée dans l'atmosphère. Au lieu d'être cohérent sur toute la largeur du télescope, le front d'onde est cohérent sur certaines zones plus petites (appelée zone de Fried). La résolution des images est alors plus faible. Il faut cependant distinguer deux cas, celui d'une image prise pendant un temps très court (image du centre) de celui d'une image prise pendant un temps long. Pendant un temps inférieur à 100 ms, on peut considérer que l'atmosphère est figée : le front, certes déformé, reste le même pendant toute la durée de la prise de l'image. On peut observer alors des tavelures (speckle), analogue, par exemple, au speckle d'un laser qui diffuse sur une surface. La situation est différente dans le cas où on moyenne l'image sur plusieurs secondes : dans ce cas, l'atmosphère a bougé au cours de la prise de vue, et on observe une moyenne de tous les speckle. Dans ce cas, la résolution que l'on a est celle d'un télescope dont le diamètre est celui de la taille d'une zone de Fried.

L'image ci-dessous représente une étoile double, avec une turbulence assez importante. On se rend compte visuellement, que l'on observe la superposition de deux figures de speckle identiques. Dans le cas où on aurait moyenné beaucoup d'images, on aurait une double tache floue, et il aurait été difficile de mesurer précisément l'écart entre les deux étoiles. Ici, nous avons deux images décalées, certes avec un bruit aléatoire, mais, avec une bonne résolution.



L'objectif de ce TP est de développer l'algorithme permettant de traiter ces images et de mesurer précisément la séparation entre les deux étoiles.

Algorithme

Les équations sont écrites à 1D, mais se généralisent immédiatement à 2D.

On définit l'intercorrélation de f et g par :

$$R_{f,g}(x) = \int f(y)g(y+x)dy$$

L'autocorrélation de f est l'intercorrélation de f par lui-même.

Si f est la somme de deux signaux décalés de Δx , alors l'autocorrélation présente un pic pour $x = \pm\Delta x$.

Dans le cas d'une étoile double dont l'intensité n'est pas la même pour les deux étoiles, l'autocorrélation sera toujours symétrique. Une astuce consiste à calculer l'intercorrélation de f par f^2 . On peut alors facilement voir que ce sera asymétrique et que les valeurs relatives en $x = 0$ et $x = \pm\Delta x$ permettent de déduire l'intensité relative des deux étoiles.

On va faire le produit de convolution dans l'espace de Fourier. Dans l'espace de Fourier, la distance entre les deux étoiles se retrouve dans la phase. On normalisera donc chaque point de la TF à 1. Cette méthode est une manière d'effectuer la déconvolution par la tache de speckle (pour des Dirac, le module est proche de 1)

Donc, on pose $g = f^2$. On calcule $a = \tilde{f} \times \bar{\tilde{g}}$. Et on calcule b tel que $\tilde{b} = a/|a|$.

Programme Python

Pour lire un fichier png on peut utiliser `matplotlib.image.imread`. Pour afficher une image on peut utiliser `matplotlib.pyplot.imshow`. Pour effectuer des TF à 2D, il faut utiliser `numpy.fft.fft2`.

On va créer une classe `ImageTavelures`. Cette classe va s'initialiser avec un tableau 2D :

```
class ImageTavelures(object):
    def __init__(self, data):
        self.data = data

    @classmethod
    def from_file(cls, file_name):
        pass # lire le fichier
        return cls(data)

    def plot_data(self, new_fig=False):
        "Affiche d'image data"

    def get_autocorrelation(self):
        "Calcule l'autocorrelation"

    def plot_autocorrelation(self):
        "Affiche l'autocorrelation"
```

On va ensuite créer une classe permettant de gérer une liste d'image

```
class ListeImagesTavelures(object):
    def __init__(self, liste_image_tavelures):
        self.liste_image_tavelures = liste_image_tavelures

    @classmethod
    def from_file_list(cls, file_name_list):
        " lit depuis une liste de fichier "

    @classmethod
    def from_directory(cls, directory, ext='.png'):
        " lit depuis un repertoire "
        # Utiliser os.path.listdir et os.path.splitext

    def get_average_autocorrelation(self):
        #

    def plot_average_autocorrelation(self):
        #
```

Dans `get_autocorrelation` et `get_average_autocorrelation`, on pourra mettre en cache le résultat. Par exemple

```
class Test(object):
    _value = None

    def calculate_value(self):
        # Calcul qui dure longtemps
        return 1

    def get_value(self):
        if self._value is None:
            self._value = self.calculate_value()
        return self._value
```

Les images sont entrelacées (interleaved), c'est à dire qu'il y a deux images superposées une ligne sur deux. Rajouter un argument supplémentaire à `ImageTavelures.from_file` pour choisir de prendre toute l'image, on une ligne sur deux en partant de la ligne 0 ou 1. Rajouter un argument supplémentaire à `ListeImagesTavelures.from_file_list` et `ListeImagesTavelures.from_directory` pour renvoyer une liste dédoublée lorsque les images sont entrelacées.

Création d'un script

On va utiliser la librairie `argparse` de python. Créer un script permettant d'analyser un ensemble de fichier d'images :

```
usage: speckle_imaging [-h] [--outfile OUTFILE]
                        [--file_dir FILE_DIR]
                        [--file_ext FILE_EXT]
                        [--interleaved]
                        [file [file ...]]
```

Anlyse a set of pictures using speckle imaging

positional arguments:

file	List of files to analyse
------	--------------------------

optional arguments:

-h, --help	show this help message and exit
--outfile OUTFILE	Name of the output file (default output.png)
--file_dir FILE_DIR	Optional file directory to search for files
--file_ext FILE_EXT	Optional extension of the files
--interleaved	Flag to set if pictures are interleaved