

## Du centre-ville à la banlieue extragalactique ou voyage avec « Aladin »

Pierre Le Fur, Toulon

*Que peut-on faire quand le « bruit » de la pollution lumineuse du centre-ville atteint presque le signal lumineux d'une galaxie ? La solution viendra en voyageant avec « Aladin ».*

Les soirées de printemps voient le ciel se dépeupler d'étoiles très lumineuses : finies les brillantes constellations de la Voie lactée comme Orion ou le Taureau. Les discrets astérismes « Chiens de chasse » ou « Chevelure de Bérénice » trônent alors vers le méridien lorsque 23 h sonnent sous le ciel de mai. Notre regard plonge ainsi vers la direction du pôle nord galactique qui est perpendiculaire au plan moyen de notre Voie lactée. Notre champ de vision traverse donc des zones pauvres en étoiles comme en poussières, laissant une fenêtre ouverte sur l'espace intergalactique proche et les richesses de cette banlieue de notre Galaxie. Le pôle nord galactique est situé dans la Chevelure de Bérénice (de coordonnées équatoriales célestes : ascension droite  $\alpha = 12$  h 49 min et déclinaison  $\delta = 27,4^\circ$ ).

Pour l'observateur citadin cette période ne permet pas d'observations visuelles intéressantes pour les nébuleuses du ciel profond : les faibles étoiles et autres galaxies sont quasi indétectables. Le « bruit » de la pollution lumineuse du centre-ville atteint des niveaux presque aussi élevés que le « signal » de lumière d'une galaxie. L'œil rivé au télescope permet à peine de distinguer le noyau des plus lumineuses.

Faut-il pour autant abandonner l'idée d'explorer cette banlieue extragalactique ?

### Observations photographiques et logiciel « IRIS »

Bien que ces douces nuits toulonnaises de mai soient gâchées entre autres par un réverbère flambant neuf éclairant plus le jardin – site d'observation – que la rue, j'ai décidé malgré tout d'essayer de fixer les photons extragalactiques sur le capteur CCD de mon appareil photo numérique (APN) Nikon D330. Je place ce dernier au foyer d'un télescope Schmidt Cassegrain Meade (SCM) de 300 mm de diamètre placé sur une monture équatoriale mobile Célestron CGX.

Je choisis de réaliser des séries de plusieurs dizaines de poses courtes, entre 15 et 30 secondes chacune, avec un triple objectif : ne pas saturer le capteur par la pollution lumineuse intense, ne pas subir les défauts d'alignement polaire de la monture (réalisé à 20' près) et ne pas avoir à effectuer un autoguidage, ne disposant pas du matériel adéquat. Au final, un traitement par empilement des images devrait permettre d'augmenter le rapport signal/bruit de l'image résultante et faire ressortir ainsi la galaxie visée. Pour cela je dispose du logiciel « IRIS » [1].

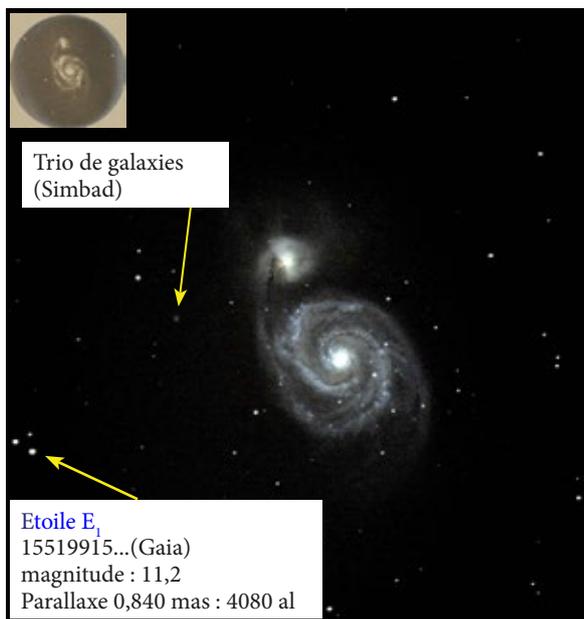
Le logiciel « diGiCam Control » [2] pilotant l'APN renvoie chaque image brute (mode RAW) sur l'ordinateur et à leur affichage sur l'écran, je doute du résultat final. Chaque vue est catastrophique car le fond jaune orangé du ciel de ville cache presque entièrement la galaxie qu'on distingue à peine sous la forme d'une pâle tache bleutée (figure 1). Cela reflète parfaitement l'impression initiale de l'observation visuelle préalable.



**Fig.1.** Image brute de M51 au SCM 300 mm pour une pose de 30 secondes à 1600 ISO. Réducteur de focale  $F/D \approx 5$ . Ici, les contrastes initiaux ont été augmentés deux fois afin de distinguer la galaxie. Le champ du télescope et le vignettage sont bien visibles. La pollution lumineuse pour trente secondes de pose est déjà intense. En visuel, seuls les deux noyaux de galaxies sont visibles. Le champ fait environ 30' de diamètre (~pleine Lune). La granulation est importante car 1600 ISO est un choix d'amplification APN un peu trop fort.

Le lendemain, je m'attèle au traitement numérique de la série d'images obtenues, en apprenant à effectuer la procédure classique décrite dans de nombreux ouvrages [3], [4] : création de dark, offset, flat puis prétraitement, registration et enfin empilement des images pour obtenir l'image finale. Il faudra la corriger par choix de balance de couleurs, rehaussement dynamique, ajustement de contraste.

La puissance de ce type de calculs se révèle alors. À ma grande surprise, elle permet d'éliminer quasi-totalement cette pollution lumineuse et révèle la galaxie visée malgré le temps de pose réduit (figure 2). Le logiciel gratuit IRIS, de Christian BUIL, tient toutes ses promesses, il est accompagné d'un tutoriel très complet.



**Fig.2.** Image compositée de M51 au SCM 300 mm F/D=5, pour 40 poses de 30 secondes (20 min) à 1 600 ISO. Traitée par IRIS avec rehaussement dynamique et ajustement de contraste. Magnitude limite environ 18,2.

Les régions HII (hydrogène ionisé par les étoiles géantes bleues) sont repérables comme des taches lumineuses bleutées dans les bras spiraux. Les poussières absorbantes des bras sont très visibles.

La galaxie mineure NGC 5195 aurait interagi gravitationnellement depuis plusieurs millions d'années. Diamètre 100 000 années-lumière.

En arrière-plan lointain 3 galaxies sont signalées par Aladin, catalogue Simbad.

En médaillon, photographie de I. Roberts en 1889, il y a plus de 130 ans !

Distance 24,3 Mal, longitude galactique  $l = 104,9^\circ$ , latitude galactique  $b = 68,6^\circ$ .

## Interprétation des résultats et logiciel « ALADIN »

On pourrait se contenter de regarder cette photographie de la galaxie du tourbillon M51 en

pensant à Lord Rosse et son télescope, le Léviathan de Parsonstown, de 1,80 m de diamètre avec lequel il parvint dès 1845 à distinguer les bras spiraux de cet « univers île » lointain. Comparer ce « cliché » avec celui déjà réalisé par I. Roberts en 1889 (avec un télescope de 50 cm à miroir d'argent installé près de Liverpool et une pose de 4 h) montre que le résultat obtenu n'a rien de nouveau. Mais la possibilité d'explorer la banlieue extragalactique à partir du centre-ville malgré le ciel diffusant la lumière d'une agglomération moyenne est ainsi clairement illustrée.

Il reste à quantifier la « performance » de cette réalisation, c'est-à-dire quelle magnitude limite peut-on atteindre dans ces conditions de prises de vue (temps de pose, pollution...)?

Pour cela nous allons utiliser le site de l'université de Strasbourg [5] et la version téléchargeable du logiciel « ALADIN », [6], véritable fenêtre quantitative sur l'Univers, riche des données astronomiques professionnelles les plus récentes.

Une bonne liaison internet est nécessaire pour son utilisation afin de télécharger les catalogues de données

## « Aladin » et les magnitudes

Dans le bandeau supérieur apparaît « command » sur la page d'entrée du logiciel. On y inscrit M51 (voir étape 1- figure 3). Une image apparaît provenant du « Digital Sky Survey », collaboration internationale. Pour comparaison, on affiche en parallèle l'image réalisée avec « Photos » de Windows ® par exemple.

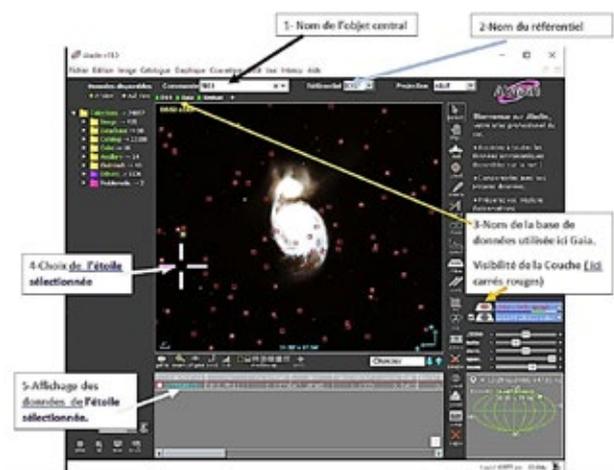
On sélectionne une étoile la plus faible possible de l'image télescopique et on la repère sur la page DSS d'Aladin (voir étape 4- figure 3). On relève la magnitude sur l'écran « Aladin ». En réalité, 3 types de magnitudes sont mesurées par le satellite Gaia.

On ne retient que les seules correspondant à la bande passante de l'APN, peu sensible, dans le rouge dans le cas usuel où le filtre de série n'est pas enlevé.

On prend donc les magnitudes photométriques dans le vert et le bleu (15<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> colonnes ; ne pas confondre avec les flux photométriques). On peut calculer la moyenne, indicateur de la magnitude atteinte avec la « photo » (Voir étape 5- figure 3)

Magnitude photographique estimée :

$$\approx [ \_(\text{phot\_g\_m}) + \_(\text{phot\_b\_m}) ] / 2.$$



**Fig.3.** Sélection d'une étoile du champ photographié autour de M51 avec « Aladin ».

1. Dans commande on indique le nom de l'objet central, ici M51. L'image s'affiche par défaut issue du catalogue Digital Sloan Survey (DSS).
2. On choisit le référentiel, par exemple J2000 donne les coordonnées célestes équatoriales de M51 ; « galactique » donne l et b.
3. On choisit un catalogue d'étoiles du champ : ici celui du satellite européen Gaia 2<sup>e</sup> version d'avril 2018. S'affichent alors les carrés rouges sur chaque étoile du champ mesurée par Gaia.
4. On sélectionne une étoile du champ.
5. Une fenêtre s'ouvre alors indiquant les caractéristiques de l'étoile mesurées par Gaia, satellite astrométrique successeur d'Hipparcos : 1<sup>re</sup> colonne le nom, 2<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> déclinaison, ascension droite ; 6<sup>e</sup> colonne la parallaxe de l'étoile en milliseconde d'arc (indicateur de distance) ; 15<sup>e</sup> colonne : la magnitude photométrique moyenne dans le vert (phot\_green\_mean\_mag) ; 18<sup>e</sup> colonne : la magnitude photométrique moyenne dans le bleu (phot\_blue\_mean\_mag).
6. En double cliquant sur le nom on accède à la base de données « Simbad » et les valeurs complètes relatives à l'étoile s'affichent (pour la base Gaia release 2, avril 2018).

Pour l'image de la figure 2 obtenue par compositage de 40 poses de 30 s (équivalent à 20 minutes de pose continue), on obtient une magnitude limite d'environ 18,2. D'autres images montrent des étoiles très faibles qui correspondent à une limite à 18,5 pour 20 minutes de pose 1600 ISO et pour un fond de ciel lumineux, mais bien dégagé de toutes brumes ou nuages élevés, sous l'effet du mistral. La formule de Pogson reliant éclairement et magnitude permet de calculer le rapport des éclaircissements de la plus faible étoile visible ce soir-là à l'œil nu (mag = 4, éclat  $E_{cl_1}$ ) et celle en limite de détection sur l'image (mag = 18, éclat  $E_{cl_2}$ ) :

$$\Delta mag = -2,5 \log_{10} \frac{E_{cl_2}}{E_{cl_1}}$$

$$\frac{E_{cl_2}}{E_{cl_1}} = 10^{-\frac{18-4}{2,5}} \approx \frac{1}{400\,000} !$$

### « Aladin » et les distances

En utilisant « Aladin », on détermine également la parallaxe de cette étoile numérotée 15519915... sur le catalogue Gaia (étoile  $E_1$  de la figure 2). La lecture de la 6<sup>e</sup> colonne donne :  $P = 0,840$  milli arc seconde (mas)... (voir étape 5- figure 3). Mais, il faut laisser le temps de la lecture de la base par le biais du réseau.

La distance au Système solaire (en années-lumière) est donnée par la formule :

$$D = \frac{3,26 \cdot 10^3}{P(\text{milli arc seconde})} \text{ a.l.}$$

Soit  $D = 3\,880$  al pour cette étoile  $E_1$ .

Sélectionnons de nouveau M51 dans « commande », puis avec l'outil « zoom » d'Aladin (en bas à droite), agrandissons fortement de manière à ne plus voir que la croix centrée sur M51. On clique : il apparaît une étiquette de la bibliothèque « SIMBAD ».

En double cliquant sur M51 de cette étiquette, on est renvoyé sur le site de l'université de Strasbourg. Là, sur « Simbad » (voir A - figure 4) toutes les données techniques sur M51 sont disponibles.



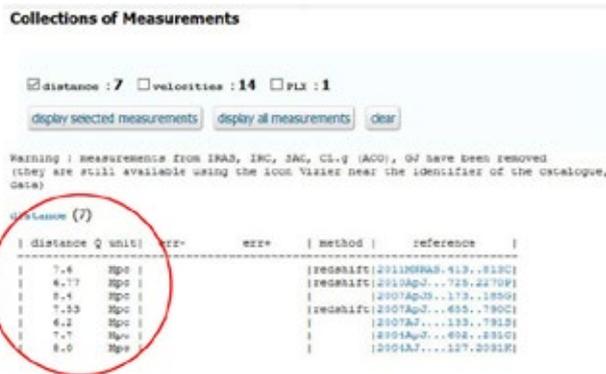
**Fig.4 A.** Pages de données sur M51 par Simbad.



**Fig.4 B.** Choix des mesures de distance.

Sur cette page on choisit « measurements » (voir B - figure 4), sur la nouvelle page qui surgit, on peut lire les résultats des mesures de distance. (voir C - figure 4). On remarque une incertitude importante.

La moyenne  $D = 24,3$  Mal , pour M51.

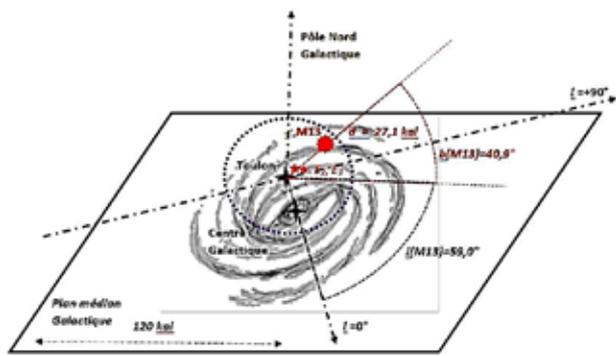


**Fig.4 C.** Résultats des mesures de distance en mégaparsec (1 Mpc = 3,26 millions d'années lumière) - suivant la méthode employée -.

Cela reflète un choix par défaut : favoriser une valeur plutôt qu'une autre relève de connaissances astrophysiques spécialisées sur les qualités comparées des différentes méthodes de mesures.

### « Aladin » et les coordonnées galactiques

On peut repérer la direction de l'astre observé en choisissant « galactique » dans le nom du référentiel choisi (voir 2- figure 3). S'affichent alors la longitude galactique  $l$  et la latitude galactique  $b$  de l'objet. La base de ce repérage est le plan de notre Galaxie, la Voie lactée. Dans ce plan on mesure la longitude galactique  $l$  (voir figures 5 et 6) puis la latitude galactique  $b$ .

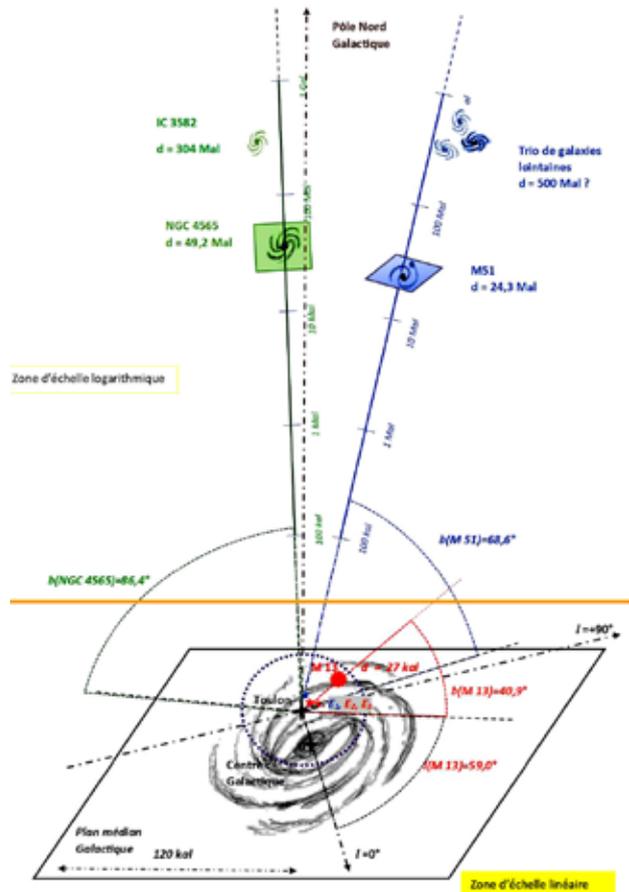


**Fig.5.** Positionnement de l'amas d'Hercule M13 et  $E_2$  par rapport à la Voie lactée.

Pour rappel la distance Terre /centre galactique est de 27 kal. Cette direction est la référence des longitudes galactiques  $l$ .

Le cercle en pointillés violet représente le domaine exploré par le satellite astrométrique Gaia correspondant à une précision de mieux que 10 % sur les distances, pour des étoiles de luminosité suffisante.

Pour les galaxies, Gaia ne peut donc déterminer avec précision que les directions (au mieux 20  $\mu$ as).



**Fig.6.** Vue récapitulative, en perspective.

La partie supérieure est en échelle logarithmique.

En réalité les diamètres des galaxies sont du même ordre de grandeur, y compris la Voie lactée.

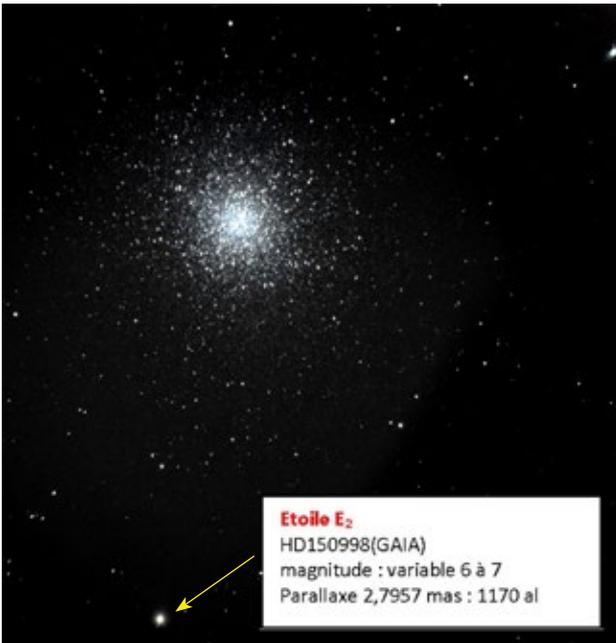
Pour M51, son plan galactique est perpendiculaire à la direction d'observation.

Pour NGC 4565, la plan de la galaxie contient l'axe de visée.

### Reconstitution partielle en trois dimensions de la banlieue extragalactique

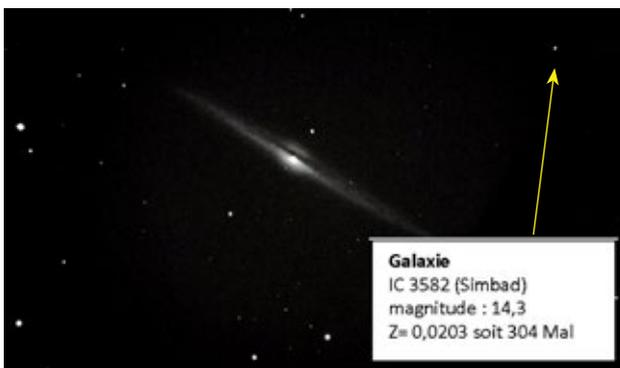
Rajoutons à nos observations deux objets célestes typiques : l'amas globulaire M13 situé dans Hercule (voir figure 7) et la galaxie de « l'aiguille » NGC 4565, visible au télescope dans la constellation de la Chevelure de Bérénice (voir figure 8). La dernière ligne de chaque figure indique le résultat des recherches sur « Aladin » des coordonnées et distances. Ainsi pour NGC 4565, la valeur de  $b = 86,4^\circ$  indique qu'elle est presque dans la direction du pôle nord galactique ( $b = 90^\circ$ ).

Si NGC 4565 est l'objet le plus lointain des trois avec 49,2 Mal (millions d'années-lumière), « Aladin » et la couche du catalogue « Simbad » permettent d'identifier des objets extragalactiques quasi ponctuels qui sont en arrière-plan.



**Fig.7.** Image compositée de M13 au SCM 300 mm F/D=5 pour 37 poses de 15 secondes (9 min 15 s) à 1 600 ISO. Magnitude limite environ 18.

Un des 160 amas globulaires autour de notre Galaxie.  
Deux étoiles de magnitudes 6 à 7 encadrent M13 (notées E<sub>2</sub> et E<sub>3</sub>).  
Distance 27 kal, longitude galactique  $l = 59,0^\circ$ , latitude galactique  $b = 40,9^\circ$



**Fig.8.** Image compositée de NGC 4565 au SCM 300 mm F/D=5 pour 19 poses de 30 secondes (9 min 30 s) à 1 600 ISO. Magnitude limite environ 18,7.

Une galaxie vue par la tranche où une bande de poussières se découpe sur le fond des centaines de milliards d'étoiles (galaxie « aiguille »). De nombreux points lumineux sont des galaxies lointaines. Proche de cette région du ciel, on trouve l'amas de galaxies Coma à 320 Mal.  
Distance 49,2 Mal, longitude galactique  $l = 230,8^\circ$ , latitude galactique  $b = 86,4^\circ$ .

Leur distance peut être estimée si un des catalogues donne la valeur du paramètre  $z$  du décalage vers le rouge (« redshift ») ou par une approche géométrique très approximative ; le rapport des tailles étant supposé de l'ordre de grandeur du rapport inverse des distances.

Dans le premier cas on rappelle la relation entre  $z$  et la distance, la constante de Hubble  $H$  étant supposée de l'ordre de 75 km/s/mégaparsec, pour un  $z$  petit on a :

$$z = H \frac{D}{c} \approx \frac{V_{radiale}}{c}$$

Soit :  $D \approx 13,0 \cdot 10^3 z$  (en Mal)

En bilan, on regroupe nos résultats sur les figures 5 et 6 afin d'obtenir une image en 3D de la banlieue de la Voie lactée, notre Galaxie. Remarquons que M51 et NGC 4565 ont à peu près le même diamètre que notre univers-île.

Le très large intervalle des valeurs de distance nous oblige à utiliser une échelle de type logarithmique pour les distances supérieures à 100 kal.

Nous constatons la relative proximité de l'amas globulaire M13, car il est un satellite de notre galaxie. Un rapide calcul par la formule de Pogson et l'évolution de l'éclat en  $1/D^2$  montre que les amas globulaires des autres galaxies sont inobservables dans les conditions de prise de vue, car leur magnitude dépasserait 20. Même pour un amas aussi important que M13.

En ces belles soirées de printemps, notre « regard » photographique s'est perdu jusqu'à près d'un demi-milliard d'années-lumière vers le pôle nord galactique, malgré des conditions d'observation très défavorables. C'est un beau voyage immobile, dans l'espace et dans le temps, pour un habitant du centre-ville.

Cependant, il nous faut constater que Toulon n'est pas le centre de l'Univers... ■

Remerciements à l'équipe de développement d'« Aladin » du Centre de Données astronomiques de Strasbourg. <http://cdsweb.u-strasbg.fr/>

### Netto/biblio graphies

1. IRIS version à télécharger (<http://www.astrosurf.com/buil/iris-software.html>).
2. Digicam control à télécharger (<http://digicamcontrol.com/>)
3. Article complet Ciel et Espace/Thierry Legault à télécharger (<https://www.cieletespace.fr/actualites/traitez-vos-images-du-ciel-profond-avec-iris>).
4. «Photographier le ciel en numérique», Patrick Lécureuil, Vuibert p213.
5. Centre de données astronomique de Strasbourg (<https://cdsweb.u-strasbg.fr/>).
6. Aladin version en ligne ou à télécharger (<https://aladin.u-strasbg.fr/aladin.gml>).
7. Aladin version Desktop à télécharger (<https://aladin.u-strasbg.fr/java/nph-aladin.pl?frame=downloading>)