

Rayonnements dans l'Univers

Niveau

Tale S

Objectif

Utiliser le logiciel Aladin créé par l'Observatoire de Strasbourg pour visualiser des objets astronomiques à partir d'observations terrestres et spatiales afin de comprendre l'effet de l'atmosphère sur les rayonnements, puis de connaître quelques sources de rayonnements dans les domaines radio, infrarouge et ultraviolets.

Compétences

Extraire et exploiter des informations sur l'absorption de rayonnements par l'atmosphère terrestre et ses conséquences sur l'observation des sources de rayonnements dans l'Univers.

Connaître des sources de rayonnements radio, infrarouge et ultraviolet.

Pré requis

Savoir que la longueur d'onde caractérise dans l'air ou dans le vide une radiation monochromatique.

Connaître les limites en longueur d'onde dans le vide du domaine visible et situer les rayonnements infrarouges et ultraviolets.

Durée

Travail préparatoire : lecture des textes puis répondre aux questions posées

Activité 1 : effets de l'atmosphère sur la résolution d'un télescope (15 minutes)

Activité 2 : sources de rayonnement en astronomie (15 minutes)

Déroulement

L'objectif est de comparer des images d'un même objet astronomique, prises avec des télescopes équivalents, un terrestre et l'autre spatial, en utilisant l'interface Aladin. On calculera la résolution maximale théorique de l'instrument et on la comparera avec celle obtenue réellement. Ensuite nous chercherons des images de différentes sources de rayonnement dans les domaines de longueur d'onde ultraviolet, infrarouge et radiométrique.

Du visible aux ondes radio

Depuis la découverte du premier instrument d'observation astronomique vers 1610, de nombreux scientifiques ont développé des télescopes de plus en plus puissants et capables de suivre avec précision les mouvements des astres. De Kepler à Huygens en passant par Newton ou Cassegrain, ils ont développé des systèmes optiques pour améliorer la netteté et la qualité des images observées, mais toutes ces observations, aussi impressionnantes soient-elles n'étaient faites que dans un seul domaine du spectre électromagnétique, le spectre visible. Or celui-ci ne représente qu'une infime partie de l'ensemble du spectre de la lumière, et il a fallu attendre le début des années 1930 pour voir l'avènement de la radioastronomie.

L'observation dans le domaine visible présente un énorme avantage, l'atmosphère terrestre à cette fréquence d'observation est presque transparente, ce qui n'est pas toujours le cas dans les autres domaines de fréquence.

Les qualités d'un site exceptionnel



Pour savoir si un ciel présente un potentiel intéressant en terme de transparence atmosphérique, les astronomes définissent le « seeing » c'est à dire la résolution maximale que l'on puisse atteindre. Cette résolution dépend fortement des turbulences atmosphériques, c'est pourquoi il faut privilégier les sites d'observation où l'atmosphère est particulièrement stable. La différence de température entre le jour et la nuit doit être minimale.

Autre paramètre important : la pollution de l'air. Pour s'en affranchir les astronomes choisissent des sites en altitude, au-delà de 2000 m.

L'altitude présente deux autres avantages importants, il y a peu de pollution lumineuse car la plupart du temps ce sont des régions peu habitées, de plus, le temps y est plus sec. La quantité de vapeur d'eau dans l'air pose problème, en

particulier dans les domaines infrarouge et submillimétrique. Ainsi, à très haute altitude, les nuits sont souvent sans nuage, ceux-ci étant plus bas, ils sont souvent arrêtés par les barrières montagneuses. Le parfait exemple est le Mauna Kea, situé sur l'île d'Hawaï, en plein milieu de l'océan pacifique. Cette montagne, dont la base se situe à 6000 m sous l'océan, s'élève à plus de 4200 m d'altitude. Beaucoup de nuages passent au-dessus de l'île, mais peu s'élèvent au-dessus des 4000 m, ainsi au sommet la plupart des nuits sont claires et les conditions d'observations sont excellentes. C'est un des meilleurs sites d'observation au monde, en tout cas le plus important de l'hémisphère Nord.

Les régions désertiques sont aussi intéressantes car, là aussi, l'atmosphère est sèche et peu turbulente. Le meilleur site d'observation trouvé, à l'heure actuelle, se trouve au Chili, dans le désert de l'Atacama. Ce lieu est extrêmement sec, le pourcentage d'eau dans l'air est souvent inférieur à 10%, et la pluie est très rare. Une légende locale raconte que la dernière fois qu'il a plu dans ce désert c'était lors de l'arrivée des conquistadors, au XVI^{ème} siècle.

Les fenêtres d'observation

L'atmosphère terrestre possède ce que l'on appelle des fenêtres d'observation. A certaines fréquences, la lumière traverse l'atmosphère sans être absorbée ou réfléchi, on dit qu'elle est « transparente ». C'est le cas dans le domaine visible et le domaine des ondes radiométriques.

Le domaine visible est de loin le plus observé, il nous permet de voir de nombreux astres, comme les planètes, les comètes, les astéroïdes, les étoiles ou encore les nébuleuses, c'est souvent un plaisir visuel de voir une image astronomique de galaxie, d'amas stellaire ou de nébuleuse planétaire, d'où la grande popularité des images transmises par le V.L.T. (Very Large Telescope) situé au Chili ou par le télescope spatial Hubble.

Les ondes radio présentent, elles aussi, un grand intérêt scientifique, notamment pour les astrophysiciens qui étudient les galaxies. En effet, il existe une raie d'émission de l'atome d'Hydrogène à la longueur d'onde de 21 cm, cette raie permet de tracer le gaz atomique qui représente une part importante du gaz dans une galaxie. C'est aux Etats-Unis que l'on trouve le V.L.A. (Very Large Array) le plus grand réseau de télescopes capable d'observer cette raie, au Nouveau Mexique.

Les rayonnements énergétiques (γ , X, U.V.) sont absorbés par la haute atmosphère, notamment par la couche d'ozone, il est très difficile de les observer directement. L'observation des rayonnements infrarouge, submillimétrique et micrométrique est très sensible à la présence d'eau et de dioxyde de carbone. Ces deux gaz absorbent une grande partie de ces rayonnements. Enfin, dans le domaine des très basses fréquences, les rayonnements sont réfléchis par les électrons libérés par l'ionisation des gaz dans la haute atmosphère.

Le Chili est donc devenu en vingt ans une référence dans le domaine de l'observation astronomique puisque la plupart des grands télescopes de

l'hémisphère Sud s'y trouvent. La grande majorité est européenne, et appartient à l'ESO (European Southern Observatory).

Questions

- 1) Pourquoi a-t-il fallu attendre le début des années 1930 pour que l'on fasse des observations dans un domaine autre que le visible ?
- 2) Quelles sont les conséquences des turbulences de l'atmosphère sur les observations ?
- 3) Quels sont les endroits sur Terre les plus défavorables pour l'observation astronomique ? Donner quelques exemples.
- 4) Proposer une expérience facilement réalisable montrant les inconvénients de la vapeur d'eau pour la détection de signaux.
- 5) Pourquoi est-il important d'avoir de grands télescopes dans les deux hémisphères et pas uniquement dans l'hémisphère Sud ?
- 6) Comment observe-t-on les rayonnements énergétiques émis par certains astres ?

Effets de l'atmosphère sur la résolution d'un télescope

Si l'atmosphère joue un rôle essentiel pour les êtres vivants sur Terre, elle pose néanmoins des problèmes lorsqu'il s'agit d'observer depuis le sol des astres lointains avec des télescopes. Les mouvements de l'atmosphère, les turbulences, diminuent fortement la résolution des images que l'on obtient par l'observation instrumentale. Il a fallu attendre l'invention de l'optique adaptative pour s'affranchir en partie de ce problème. Nous allons comparer deux images, d'un même objet astronomique, prise par un télescope terrestre (Mont Palomar en Californie) et un télescope spatial (Hubble Space Telescope).



Comparaison de deux images d'un même objet avec un télescope terrestre (à gauche) et un télescope spatial (à droite).

Dans un premier temps calculons le pouvoir de résolution maximal théorique pour chaque instrument.

Pouvoir de résolution maximal théorique d'un instrument θ en radians :

$$\theta = 1.22 \times \lambda / D$$

Où λ est la longueur d'onde du rayonnement observé en mètre, D est le diamètre du miroir du télescope en mètre.

Instrument	Schmidt (Palomar)	HST
Diamètre	1,5 m	2,4 m
Longueur d'onde	450 nm	439 nm
Résolution		

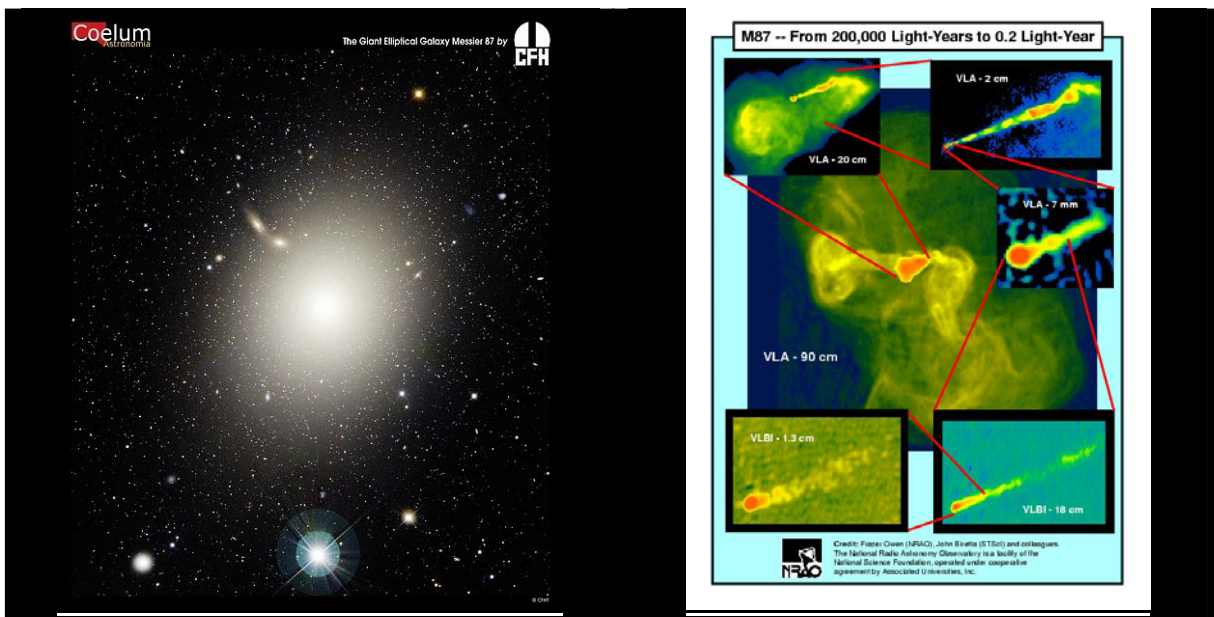
Avec Aladin on pourra *charger une image astronomique* → *archives* → *Hubble Legacy Archive* (HLA), en pointant NGC 4414 et en choisissant l'image dans le filtre F439W. Dans une autre fenêtre on pourra afficher l'image couleur (*Ciel complet* → *image* → *Optical* → *DSScolored*). Comparer les deux images.

Sources de rayonnements en Astronomie

Les étoiles que nous pouvons observer la nuit dans le ciel rayonnent dans tout le spectre électromagnétique. Suivant leur âge, leur taille, elles ne vont pas émettre la même quantité de rayonnement dans toutes les longueurs d'onde. Certaines émettront plus dans le rouge, d'autres dans le bleu, d'autres dans l'infrarouge. De la même façon, beaucoup d'objets célestes émettent une part importante de leurs rayonnements dans un domaine de longueur d'onde.

Sources de rayonnements radio

Dans le domaine des ondes radio, on peut, par exemple, observer certaines galaxies, appelées radiogalaxies. M87 est un exemple de radiogalaxie, elle émet une grande quantité de rayonnements dans le domaine des micro-ondes. C'est une galaxie elliptique (donc essentiellement constituée d'étoiles vieilles) supergéante. On



La galaxie elliptique supergéante M87

La même galaxie observée en radio

pense que ce type de galaxie est le résultat de fusion de plusieurs galaxies. Avec Aladin on pourra *charger une image astronomique* → *VLA* → *FIRST Image Cutouts*, en pointant M87. Dans une autre fenêtre on pourra afficher l'image couleur (*Ciel complet* → *image* → *Optical* → *DSScolored*). Comparer les deux images.

Sources de rayonnements infrarouges

Dans le domaine infrarouge, on peut, par exemple, observer de grandes nébuleuses, comme celle d'Orion. Cette nébuleuse est très facilement observable avec une paire de jumelles ou un petit télescope. Dans l'infrarouge, l'absorption de la lumière par la poussière est beaucoup moins importante que dans le visible. Par conséquent,



La nébuleuse d'Orion M42 dans le visible

La même nébuleuse dans l'infrarouge (observations satellitaires)

certaines étoiles, invisibles jusqu'alors, « se dévoilent » dans l'infrarouge.

Avec Aladin on pourra afficher l'image en infrarouge de la nébuleuse d'Orion M42 (*Ciel complet* → *image* → *Infrared* → *2MASS* → *2MASScolored*). Dans une autre fenêtre on pourra afficher l'image couleur dans le visible (*Ciel complet* → *image* → *Optical* → *DSScolored*). Comparer les deux images.

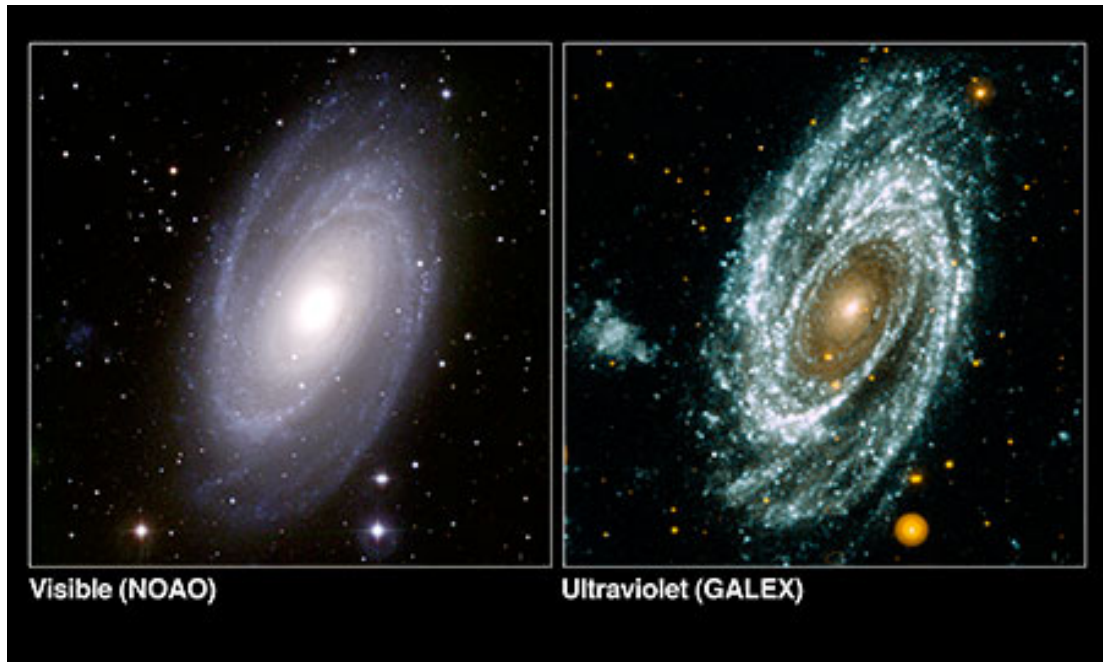
Sources de rayonnements ultraviolets

Beaucoup de galaxies spirales sont des sources de rayonnements ultraviolets. Dans ce type de galaxie, la formation d'étoiles est intense et concentrée dans les bras spiraux. Il existe plusieurs moyens de tracer la formation des étoiles, l'un d'entre eux est d'observer le rayonnement des jeunes étoiles. Ces étoiles vont rayonner une grande partie de leur lumière dans l'ultraviolet, contrairement aux étoiles vieilles qui rayonnent principalement dans l'infrarouge.

Nous allons comparer deux images de la galaxie spirale M81.

Avec Aladin on pourra afficher l'image en ultraviolet de la galaxie M81 (*Ciel complet* → *image* → *UV* → *Galex* → *Galexcolored*).

Dans une autre fenêtre on pourra afficher l'image couleur dans le visible (*Ciel complet* → *image* → *Optical* → *DSScolored*). Comparer les deux images.



La galaxie M81