

M1 option Astrophysique: Astrophysique expérimentale: Analyse d'image en astrophysique

Hervé Dole, avec Morgan Cousin et Joachim Audouard

Institut d'Astrophysique Spatiale, bât 121 – Université Paris Sud, 91405 Orsay Cedex

Web: <http://www.ias.u-psud.fr/dole/m1.php>

version 13 Sep 2013

1 Aspects Pratiques des TP d'astrophysique du 1er semestre

1.1 Lieu et horaire

Les TP du 1er semestre ont lieu dans la salle informatique "Physique et Applications", au 2ème étage du bâtiment 470, aile D, salles D229 et D230, le vendredi de 14h00 à 18h00.

Chaque étudiant assiste à 4 séances de TP, plus la séance de soutenance.

1.2 Calendrier 2013-2014

2 groupes d'environ 10 étudiants

- gr1: trou noir: encadrant: M. Cousin (sujet 1)

- gr2: Mars: encadrant: J. Audouard (sujet 2).

- ven 13 sep: matin: introduction rapide à toute la promotion et choix des sujets et groupes

- ven 20 sep: **14h30 à 16h30: cours d'introduction à l'Institut d'Astrophysique Spatiale, bât 121, salle 1 (au 1er étage) .**

- ven 27 sep: groupes 1 et 2: **séance 1**

- ven 04 oct: groupes 1 et 2: **séance 2**

- ven 11 oct: groupes 1 et 2: **séance 3**

- ven 18 oct: groupes 1 et 2: **séance 4**

- **ven 25 oct à 14h00: soutenances orale des projets** (salle 1 de l'IAS au 1er étage)

2 Les TP d'analyse d'image en astrophysique (1er semestre)

2.1 Buts

Le but principal de ces séances de TP peut se résumer à: **mener un petit projet scientifique original en astrophysique, basé sur l'analyse et l'interprétation de données récentes.** Il s'agit donc d'analyser dans un but scientifique des données.

En menant ces projets, les étudiants vont également:

- Expérimenter la démarche de recherche en astrophysique observationnelle: but scientifique, puis construction d'un échantillon, puis observations, puis réduction et analyse (mesures), puis interprétation, et enfin confrontation des résultats avec les buts initiaux et la littérature scientifique.
- Se familiariser avec l'analyse de données astrophysiques provenant d'une archive publique.
- Se sensibiliser à et tester l'approche multi-longueur d'onde pour une meilleure caractérisation physique de l'objet étudié.

- Aborder la méthodologie des observations en astrophysique: détection; rapport signal sur bruit; technologies de détection, d'imagerie, de spectroscopie; télescopes au sol ou dans l'espace ou in situ;
- Approfondir un domaine de l'astrophysique en effectuant un travail original.

2.2 Support

Un document de cours (encore en chantier) existe et contient tous les aspects concernant le corps noir, l'observation en astrophysique (incluant la coupole d'Orsay), l'analyse d'image et de spectres, et bien plus. Il est téléchargeable sur: <http://www.ias.u-psud.fr/dole/m1.php>

2.3 Evaluation

L'évaluation se fait en deux parties. La première concerne le déroulement des séances et les progrès des étudiants au cours de ces séances.

La seconde concerne la présentation orale finale, pendant laquelle les étudiants exposent une synthèse de leur travail devant les autres groupes. Il conviendra de mettre une emphase sur les aspects scientifiques et d'interprétation, au détriment des aspects informatiques.

Chaque binôme disposera de 10 minutes (à confirmer avec les enseignants).

Le jour de la présentation: venir avec une clef USB comportant un fichier **pdf** de la présentation et le fichier original (powerpoint ou OpenOffice).

2.4 Déroulement

Les étudiants travaillent en binôme, ou en groupes de binômes, et choisissent en avance un sujet parmi la liste proposée (cf pages suivantes).

Avec l'aide des encadrants, ils mènent leur projet scientifique lors des 4 séances de TP: des données aux mesures, jusqu'à analyse et l'interprétation. La dernière demi-séance sera consacrée à la préparation de la présentation orale.

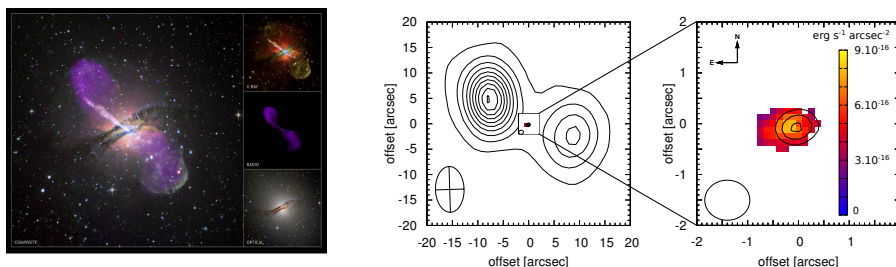
Ils exposent ensuite leurs résultats devant les autres étudiants et tous les enseignants lors d'un mini-colloque (dernière séance).

2.5 Conseils

Ce projet scientifique, mené sur 4 séances, s'apparente au travail de recherche. Dans cet esprit, il est *fortement* conseillé de tenir un "cahier de manip" dans lequel seront notés les détails des opérations et analyses effectuées, ainsi que les paramètres utilisés, tous les résultats obtenus et les problèmes rencontrés.

Il est conseillé de venir avec une **calculatrice scientifique et une clef USB**.

1 Estimation de la masse du trou noir super-massif de la galaxie NVSSJ201943-364542 (sujet 1)



À gauche: Centaurus A, une radio galaxie locale, vue dans trois domaines de longueurs d'onde (rayons X, visible et radio). À droite: NVSSJ2019, la radio galaxie dont vous allez estimer la masse du trou noir, vue en radio (au milieu) et en infrarouge proche avec SINFONI (à droite).

1.1 Contexte scientifique

D'après de nombreuses études récentes, les trous noirs super-massifs que l'on trouve au centre de la plupart des galaxies ont joué un rôle prépondérant dans l'évolution de ces dernières.

Leur action a été la plus forte dans l'Univers lointain, il y a environ 10 milliards d'années, lorsque les galaxies formaient beaucoup d'étoiles et avaient de grandes quantités de gaz à disposition.

Dès lors, il est très intéressant de pouvoir caractériser, à différentes époques, le trou noir super-massif "typique" d'une galaxie afin de voir, par exemple, si leurs évolutions sont couplées.

Or, un trou noir n'est caractérisé que par trois grandeurs : sa masse, son moment cinétique et sa charge. Dans ce TP, nous nous intéresserons à la masse du trou noir de la galaxie NVSSJ201943-364542, que nous déterminerons.

1.2 Buts scientifiques du TP

- Repérer les raies d'émission présentes dans le spectre d'une galaxie.
- Mesurer la distance d'une radio-galaxie à partir de son décalage vers le rouge (redshift).
- Utiliser une relation de la littérature pour pouvoir estimer la masse du trou noir.
- **encadrant:** Morgan Cousin.

1.3 Buts pédagogiques du TP

- S'initier aux données de type "IFU" (données portant à la fois une information spatiale et spectrale).
- Découvrir les difficultés liées aux données terrestres dans l'infrarouge proche.
- Comprendre la méthode des moindres carrés
- Avoir quelques bases sur l'évolution des galaxies et sur les différentes méthodes de l'étudier.

1.4 Données

- Le cube de données de la radio-galaxie NVSSJ201943-364542 qui a déjà été réduit.
- Une table comprenant les longueurs d'onde des raies d'émission typiques d'une galaxie.
- Une table comprenant les longueurs d'onde des principales raies du radical OH, qui est la source de contamination prépondérante dans l'infrarouge proche.

1.5 Déroulement des 4 séances

- Séance 1 :

Présentation du sujet : rôle soupçonné des trous noirs super-massifs dans l'évolution des galaxies.

Présentation de l'instrument SINFONI et prise en main du cube de données grâce au logiciel QFitsView : comprendre les difficultés de travailler dans l'infra-rouge proche depuis la Terre et localisation des deux principales raies d'émission ($H\alpha$ et [OIII]).

Première estimation du redshift "à l'oeil".

- Séance 2 :

Concevoir une méthode d'extraction du spectre sur la partie "intéressante" du cube (galaxie spatialement résolue ? quelle extension spatiale du cube considérer ?)

Ensuite, écriture (ou découverte) du code IDL/GDL qui permettra cela.

Visualisation du spectre complet et nouvelle estimation du redshift.

- Séance 3 :

Présentation de la méthode des moindres carrés.

Ajustement de la raie [OIII] par une gaussienne et estimation précise du redshift.

Ajustement des deux composantes de la raie $H\alpha$. Utilisation de la composante large pour estimer la masse du trou noir central.

- Séance 4 :

Fin du traitement des données si besoin est.

Porter un regard critique sur le travail effectué.

Préparation de la présentation.

1.6 Documentation

Ce TP est basé sur l'article suivant :

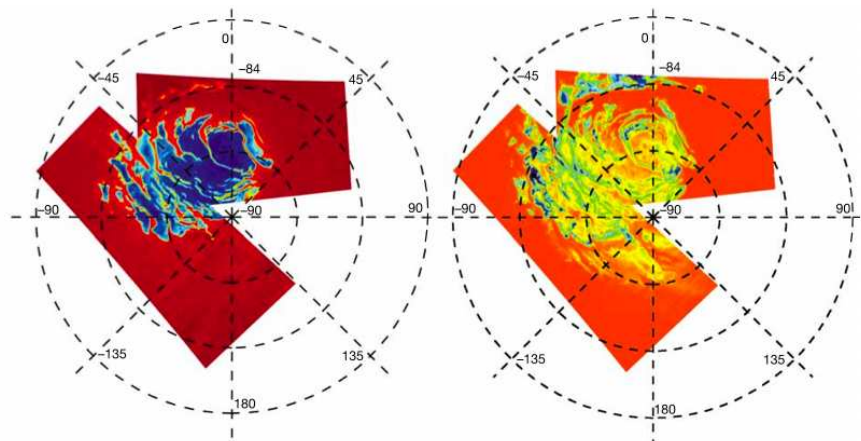
Greene & Ho, *Estimating Black Hole Masses in Active Galaxies Using the $H\alpha$ Emission Line*, 2005, the Astrophysical Journal, 630:122-129 (disponible sur <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0508335>)

Il est relativement court (7 pages), vous pouvez donc essayer de le parcourir pour avoir une idée de l'origine de la relation utilisée dans le TP, sans toutefois avoir besoin de chercher à tout comprendre dans les moindres détails !

Pour les plus curieux, si vous voulez avoir une idée du fonctionnement de SINFONI, vous pouvez consulter l'article suivant : "First Light of SINFONI at the VLT" sur :

<http://www.eso.org/sci/publications/messenger/archive/no.117-sep04/mess-sinfoni.pdf>

2 Glace d'eau et de CO₂ dans la calotte polaire sud de Mars (sujet 2)



Cartographie de la glace de CO₂ (à gauche) et de H₂O (à droite) sur la calotte polaire sud de Mars. Bibring et al., 2004.

2.1 Contexte scientifique

L'instrument OMEGA, à bord de la sonde européenne Mars Express, a observé la calotte polaire sud de Mars en janvier et février 2004 dans le proche infrarouge (0.9 - 2.7 μm). Ces observations, les premières à haute résolution spatiale (2km) dans ce domaine spectral, ont permis de cartographier la répartition des glaces permanentes d'eau et de CO₂ qui affleurent dans les régions polaires sud de Mars pendant l'été. Les résultats de cette étude, dirigée par Jean-Pierre Bibring de l'institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay, ont été publiés en 2004 dans la revue Nature.

La connaissance des réservoirs actuels d'eau et de CO₂ est essentielle pour comprendre l'évolution géologique et climatique de la planète. Les calottes polaires de Mars sont en interaction complexe avec l'atmosphère de la planète : l'eau et le CO₂ s'y condensent et s'y subliment chaque année. Comprendre le climat actuel de la planète et inventorier les différentes espèces présentes aujourd'hui sur Mars permet de retracer son histoire, et de comprendre si Mars a pu posséder par le passé des conditions favorable à l'apparition de la vie.

2.2 Buts scientifiques du TP

- Identifier la glace d'eau et la glace de CO₂ dans les spectres proche infrarouge (0.9 - 2.7 μm) de la calotte permanente sud de Mars obtenue par l'imageur spectrale OMEGA en 2004
- Etablir des critères spectraux permettant de cartographier les 2 glaces afin d'étudier leurs localisations respectives
- Comprendre les implications de la répartition des 2 glaces sur la structure de la calotte et sur les réservoirs actuels d'eau et de CO₂.
- **encadrant:** Joachim Audouard.

2.3 Buts pédagogiques du TP

- Comprendre et illustrer les avantages des observations multi longueurs d'onde : Les glaces d'eau et de CO₂ sont identiques (blanches) dans le visible. On ne peut donc pas identifier quelle est la glace observée avec cette gamme de longueur d'onde. L'infrarouge thermique (5 μm - 50 μm), qui permet de mesurer la température de la glace, apporte plus d'information : au delà d'environ 155 Kelvin, seule la glace d'eau est stable sur Mars. En dessous de cette limite cependant la glace observée peut être du CO₂ ou un mélange de glace d'eau et de CO₂. Le proche infrarouge (0.9 μm - 2.7 μm) permet de distinguer sans ambiguïté les deux glaces, car certaines bandes d'absorption dans l'infrarouge proche sont différentes pour la glace d'eau et la glace de CO₂.

- Se sensibiliser au traitement des données planétaires: notion d'albédo, problème de la traversée de l'atmosphère lorsque l'on observe la surface
- Aborder quelques enjeux de l'exploration martienne: détermination des réservoirs d'eau, mystère de la faible quantité de CO₂ actuellement observé sur Mars, importance des évolutions climatiques pour cette planète, potentielle habitabilité passée de Mars.

2.4 Données

- Les 3 cubes spectraux (2 coordonnées spatiales et une coordonnée spectrale) Omega n 0041.1, 103.1 et 0061.1 qui couvrent chacun une portion suffisante de la calotte pour permettre cette analyse.
- Les tableaux 2D des angles d'incidences solaires correspondants
- Le flux solaire selon la longueur d'onde
- Le spectre des absorptions gazeuses de l'atmosphère martienne à la résolution d'OMEGA.

2.5 Etapes

Les étapes possibles sont les suivantes:

- Effectuer quelques traitements simples sur ces données. Le premier groupe réalisera la conversion des cubes en radiances à des cubes de réflectance (ou albédo, caractéristique intrinsèque de la surface) : division par le spectre solaire et prise en compte de l'angle d'incidence solaire. Le deuxième groupe réalisera une correction simple des absorptions atmosphériques sur un spectre de glace : division de la réflectance par le spectre atmosphérique élevé à la puissance adéquate.
- Analyser les différences entre des spectres de glace d'eau et de CO₂.
- Trouver des critères spectraux permettant de différencier les deux glaces, notamment lorsqu'il y a des mélanges. Le premier groupe travaillera sur la glace d'eau et le second sur la glace de CO₂.
- Cartographier les 2 glaces à l'aide de ces critères. Chaque groupe travaillera sur un des 3 cubes.
- Analyser les cartes obtenues : observer la répartition respective de la glace d'eau et de CO₂.
- Comprendre, à l'aide de l'encadrant, l'impact de ces résultats sur notre compréhension de la calotte sud, et de la planète Mars en général.

2.6 Déroulement des 4 séances

- **séance 1:** partie cours au début (abordant le traitement de données de manière générale et plus spécifiquement celui des données planétaires de type Omega). Premières manipulations des données, prise en main du logiciel.
- **séance 2:** traitement de base des données : conversion radiance - albédo et correction atmosphérique. Echange des méthodes en les deux groupes en milieu/fin de 2ème séance.
- **séance 3:** détermination des critères spectraux glace d'eau / glace de CO₂. Echange des critères au milieu de la 3ème séance, et réalisation des cartes (1 cube différent pour chacun des 2 sous-groupes).
- **séance 4 :** Analyse et compréhension des résultats à l'aide de l'encadrant. Préparation de la présentation (réalisation de transparents ou d'une présentation). Les différents thèmes à aborder seront répartis en 5 binômes. Les thèmes à aborder sont : conversion radiance/albédo, correction atmosphérique, réalisation de critères spectraux, présentation des cartes, analyse des résultats.

2.7 Documentation

- Bibring J-P et al. (2004), Perennial water ice identified in the south polar cap of Mars, Nature, Volume 428, Issue 6983, pp. 627-630.
- <http://www.ias.u-psud.fr/website/modules/news2/article.php?storyid=6>
- http://www.cnrs.fr/publications/imagesdelaphysique/couv-PDF/IdP2006/07_Geologie_martienne.pdf
- Forget F., Costard F., Lognonné P., La planète Mars, Histoire d'un autre monde, Belin (2006).