

“

# Atelier national EChO

”

## Table des matières

From Solar System Planets to the Spectroscopy of Exoplanets with EChO, P. Drossart.....	1
Presentation of the IRIS project: towards a generic 3D radiative transfer code. Future perspectives for the calculation of synthetic spectra of exoplanets., L. Ibgui [et al.] .....	2
De la diversité des planètes telluriques : atmosphères possibles et modélisation climatique pour Echo., F. Francois.....	3
Modélisation atmosphérique des exoplanètes, O. Venot [et al.] .....	4
Que peut-on apprendre des courbes de lumière thermiques des exoplanètes ?, F. Selsis.....	5
EChO et l'étude des exo-climats, V. Parmentier [et al.] .....	6
Détectabilité des jeunes exoplanètes telluriques au stade océan de magma, E. Marcq [et al.] .....	7

# From Solar System Planets to the Spectroscopy of Exoplanets with EChO

Drossart Pierre <sup>1</sup>

1 : Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (LESIA)  
*Université Pierre et Marie Curie [UPMC] - Paris VI* Observatoire de Paris *INSU* CNRS : UMR8109 *Université Paris VII - Paris Diderot* Université Pierre et Marie Curie (UPMC) - Paris VI  
5, place Jules Janssen 92190 MEUDON  
<http://lesia.obspm.fr/>

The diversity of exoplanets has already shown us that Solar System planets cannot be considered as good templates of exoplanets : hot Jupiters, warm Neptune or SuperEarths are unknown in our usual planetary categories. Nevertheless, the lessons learned from 40 years of planetary exploration in the Solar System planets have provided a good frame for future modeling of exoplanets. The mechanisms responsible for the diversity of planets are acting in the same way in various environments, and extrapolating from our present knowledge of the Solar System is possible, as soon as the constraints from the spectroscopy of exoplanets will grow. This talk will present some of these issues, derived from various sources in planetary exploration.

# Presentation of the IRIS project: towards a generic 3D radiative transfer code. Future perspectives for the calculation of synthetic spectra of exoplanets.

Ibgui Laurent <sup>1</sup>, Hubeny Ivan <sup>.2\*</sup>, Lanz Thierry <sup>.3\*</sup>, Stehlé Chantal <sup>1\*</sup>

1 : Laboratoire d'Etude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique (LERMA)  
*École normale supérieure [ENS] - Paris* *INSUCNRS : UMR8112* *Université Pierre et Marie Curie (UPMC) - Paris VI* *Université de Cergy*  
*Pontoise* *Observatoire de Paris* *Université Pierre et Marie Curie [UPMC] - Paris VI*  
61, avenue de l'Observatoire - 75014 PARIS  
<http://lerma.obspm.fr/>

2 : Steward Observatory, University of Arizona  
University of Arizona Tucson AZ 85721 USA  
<http://www.arizona.edu/>

3 : Joseph Louis LAGRANGE (LAGRANGE)  
*CNRS : UMR7293* *Université Nice Sophia Antipolis [UNS]* *Observatoire de la Côte d'Azur*  
Boulevard de l'Observatoire B.P. 4229 06304 Nice Cedex 04 - France  
<https://lagrange.oca.eu/>

\* : Auteur correspondant

We present the IRIS project, an ongoing effort towards developing a fully generic 3D radiative transfer code to predict quantitative spectroscopic diagnostics for 3D (radiation)(magneto) hydrodynamics structures. A first version of this code is operational (Ibgui, Hubeny, Lanz, & Stehlé, 2013). It is based on a short-characteristic solver coupled with an efficient cubic interpolation technique. It can handle periodic boundary conditions. It takes into account velocity effects (no Sobolev approximation). The code is being currently expanded to allow for non-LTE and scattering modeling. Upon completion, the code will be made available to the astrophysical community. IRIS has already been used to characterize radiative properties of magnetospheric accretion shocks around young stellar objects. We present some ways to adapt IRIS for the post-processing of exoplanet atmospheric models.

# De la diversité des planètes telluriques : atmosphères possibles et modélisation climatique pour Echo.

Francois Forget<sup>1</sup>

1 : Laboratoire de Météorologie Dynamique, Institut Pierre Simon Laplace (LMD)

*École normale supérieure [ENS] - ParisPolytechnique - XUniversité Pierre et Marie Curie [UPMC] - Paris VIINSUCNRS : UMR8539*

Université P. et M. Curie, BP99 4 place Jussieu 75005 Paris

<http://www.lmd.jussieu.fr/>

Pour préparer Echo, ou pour aborder certaines questions scientifiques comme l'habitabilité, il est dès à présent utile d'imaginer les atmosphères possibles et les régimes de climats envisageables sur les exoplanètes telluriques, super-Terres comprises. La première question dépend de processus qui restent difficiles à modéliser (accrétion des atmosphères, échappement, photochimie, etc) mais cela n'empêche pas de spéculer et d'explorer l'espace des possibles. En supposant que le type d'atmosphère est connu, le régime de climat (qui dépend aussi de l'étoile, de l'orbite, de la rotation, etc.) peut être examiné grâce à des modèles de climat global analogues à ceux que nous avons développé pour les atmosphères du système solaire, et qu'il est possible de rendre plus ou moins « universels » pour modéliser la diversité des planètes extrasolaires et contribuer à simuler les futures observations d'Echo. De telles études démontrent aussi que, même si Echo ne sera pas capable de caractériser une planète de type terrestre dans la zone habitable, les futures observations d'atmosphères telluriques seront riches d'enseignements sur les processus qui contrôlent l'habitabilité sur les exoplanètes.

# Modélisation atmosphérique des exoplanètes

Venot Olivia <sup>1</sup>, Agundez Marcelino <sup>2</sup>, Selsis Franck <sup>2</sup>, Tessenyi Marcell <sup>3</sup>, Parmentier Vivien <sup>4</sup>, Hersant Franck <sup>5</sup>, Iro Nicolas <sup>6\*</sup>

- 1 : Institute of Astronomy, K.U. Leuven (IvS)
  - 2 : Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux (LAB)  
*CNRS : UMR5804INSUUniversité Sciences et Technologies - Bordeaux I*  
2 rue de l'Observatoire B.P. 89 33270 FLOIRAC  
<http://www.obs.u-bordeaux1.fr>
  - 3 : University College London - London's Global University (UCL)  
Gower Street - London, WC1E 6BT  
<http://www.ucl.ac.uk/>
  - 4 : Université de Nice-Sophia Antipolis, Observatoire de la Cote d'Azur (OCA)  
*CNRS : UMS2202*  
B.P. 4229 06304 Nice Cedex 4  
<http://www.oca.eu/>
  - 5 : LAB  
*CNRS : UMR5804*
  - 6 : Theoretical Meteorology group Klimacampus - University of Hamburg  
Grindelberg 55 D-20144 Hamburg
- \* : Auteur correspondant

Modéliser la composition des atmosphères d'exoplanètes est indispensable pour interpréter leurs observations. Mais leurs conditions physiques s'écartent fortement de celles rencontrées dans le système solaire et de nouveaux modèles sont nécessaires, prenant en compte différentes compositions élémentaires possibles, la température, la dynamique et le rayonnement stellaire. Nous avons développé un modèle adapté à l'étude des exoplanètes chaudes (300-2500K) grâce à un réseau chimique validé à ces hautes températures. Nous avons fait une étude de la composition de l'atmosphère des Neptune Chauds en fonction de leur température et métallicité. Nous avons aussi étudié l'influence du chauffage de marée sur la chimie dans le cas d'une planète excentrique comme GJ436b.

Enfin, nous avons exploré l'effet de la circulation sur la chimie des Jupiters chauds. Il s'agit d'un point important pour EChO car les observations intègrent une information obtenue sur la totalité des limbes de l'atmosphère (ou sur tout l'hémisphère éclairée). Une forte hétérogénéité de composition sur ces régions peut générer un signal impossible à interpréter. Le couplage entre chimie hors-équilibre et circulation génère une forte homogénéisation zonale qui permet dans certains cas une caractérisation des conditions physico-chimiques.

# Que peut-on apprendre des courbes de lumière thermiques des exoplanètes ?

Selsis Franck <sup>1</sup>

1 : Laboratoire d'Astrophysique de Bordeaux (LAB)  
CNRS : UMR5804INSU Université Sciences et Technologies - Bordeaux I  
2 rue de l'Observatoire B.P. 89 33271 FLOIRAC cedex  
<http://www.obs.u-bordeaux1.fr>

Au cours de son mouvement orbital, une exoplanète nous présente différentes phases. Dans l'infrarouge thermique, le flux observé varie selon la carte de température de brillance de la planète qui dépend de nombreux paramètres: présence ou non (et composition) d'une atmosphère, rotation, excentricité de l'orbite, albédo, inertie thermique et homogénéité de la surface, chauffage par les marées. La variabilité de l'émission thermique apparente au cours du mouvement orbital apporte ainsi des informations complémentaires à celles obtenues lors des transits et éclipses, par exemple sur la rotation de la planète lorsque l'orbite est excentrique. La spectro-photométrie orbitale peut aussi permettre de caractériser des planètes telluriques qui ne transitent pas et de déterminer l'inclinaison de l'orbite (et donc la masse, si la planète est détectée en vitesse radiale) ainsi que leur rayon. Nous montrerons quelques applications possible avec EChO pour des planètes avec et sans atmosphère, transitantes et non transitantes.

# EChO et l'étude des exo-climats

Parmentier Vivien<sup>1</sup>, Guillot Tristan<sup>.2</sup>

1 : Université de Nice-Sophia Antipolis, Observatoire de la Cote d'Azur (OCA)

CNRS : UMS2202

B.P. 4229 06304 Nice Cedex 4

<http://www.oca.eu/>

2 : Laboratoire Lagrange

*Université de Nice-Sophia Antipolis, Observatoire de la Cote d'Azur (OCA)*

La mission EChO a pour but de caractériser l'atmosphère des exoplanètes. Avec les planètes déjà découvertes et celles en voie de le devenir, tout le spectre planétaire sera décrit, depuis des mondes chauds et massifs aux Super-Terres tempérées.

Je passerai en revue les différents mécanismes qui influencent la composition atmosphérique. J'étudierai le rôle du refroidissement infrarouge de la haute atmosphère des planètes irradiées à travers un modèle analytique 1D. Contrairement aux modèles déjà existants, ce modèle prend en compte des opacités non-grises non seulement dans la bande visible mais aussi dans la bande thermique.

Puis, je m'intéresserai aux planètes proches de leur étoile, en rotation synchrone, planètes pour lesquelles EChO produira les meilleures données. Grâce à un modèle 3D de la dynamique atmosphérique des Jupiter chauds, je montrerai comment l'irradiation asymétrique, couplée à la circulation atmosphérique influence fortement la composition atmosphérique globale et en particulier la présence et la répartition asymétrique des nuages.

La révolution promise par EChO dans la caractérisation de la structure thermique, de la composition et de la répartition des nuages dans les atmosphères d'exoplanètes permettra d'étendre la climatologie aux planètes hors du système solaire.



# Détectabilité des jeunes exoplanètes telluriques au stade océan de magma

Marcq Emmanuel <sup>1</sup>, Chassefière Eric <sup>2</sup>, Massol Hélène <sup>2</sup>, Jérémy Leconte <sup>3</sup>, Eymet Vincent <sup>4</sup>

1 : Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS)

*INSU* Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines (UVSQ) Université Pierre et Marie Curie (UPMC) - Paris VICNRS : UMR8190  
<http://www.latmos.ipsl.fr>

2 : Interactions et dynamique des environnements de surface (IDES)

CNRS : UMR8148 *INSU* Université Paris XI - Paris Sud  
Dépt. des sciences de la terre Bâtiments 504 & 509 91405 ORSAY CEDEX  
<http://geosciences.geol.u-psud.fr/IDES/IDES.htm>

3 : Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD)

École normale supérieure [ENS] - Paris Polytechnique - X Université Pierre et Marie Curie (UPMC) - Paris VI INSU CNRS : UMR8539  
LMD ENS 24 Rue Lhomond 75231 Paris Cedex 05  
<http://www.lmd.jussieu.fr/>

4 : Centre d'étude spatiale des rayonnements (CESR)

CNRS : UMR5187 Observatoire Midi-Pyrénées *INSU* Université Paul Sabatier [UPS] - Toulouse III  
9 Av du colonel Roche - BP 4346 31028 TOULOUSE CEDEX 4  
<http://www.cesr.fr>

Les premières étapes d'évolution des planètes telluriques conditionnent en grande partie les caractéristiques futures de la planète, et notamment leur habitabilité éventuelle. Le système couplé {intérieur (océan de magma) - atmosphère H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub> - échappement} a donc fait l'objet d'une modélisation interdisciplinaire entre les laboratoires IDES et LATMOS [Marcq, 2012 ; Lebrun et al., 2013]. L'étude du refroidissement séculaire de tels objets conduit naturellement à la modélisation des spectres thermiques émis, et potentiellement observables par EChO.

Les premiers résultats indiquent la présence de deux régimes observationnellement distincts.

\* initialement et jusqu'à environ 100000 ans, la température de surface est suffisamment élevée pour que l'atmosphère ne puisse pas faire écran de façon efficace. Un déséquilibre radiatif s'installe, entraînant un refroidissement séculaire. Le spectre de tels objets est dominé par l'opacité continue de l'eau qui délimite des fenêtres d'émission en IR proche et moyen.

\* ensuite, la température de surface atteint un niveau tel que le flux sortant se stabilise à la limite de Nakajima (effet de serre divergent à H<sub>2</sub>O), les rendant à première vue indistinguables de planètes plus évoluées (telle une Vénus "humide") et plus difficilement observables par EChO.

## Index des auteurs

Agundez, Marcelino .....	4
Chassefière, Eric.....	7
Drossart, Pierre.....	1
Eymet, Vincent.....	7
Francois, Forget.....	3
Guillot, Tristan.....	6
Hersant, Franck.....	4
Hubeny, Ivan.....	2
Ibgui, Laurent.....	2
Iro, Nicolas.....	4
Jérémy, Leconte.....	7
Lanz, Thierry.....	2
Marcq, Emmanuel.....	7
Massol, Hélène.....	7
Parmentier, Vivien.....	4, 6
Selsis, Franck.....	4, 5
Stehlé, Chantal.....	2
Tessenyi, Marcell.....	4
Venot, Olivia.....	4

