

# Master II Internship proposal at CPT, year 2022

Research team: Cosmology

Supervisor: Ch. Marinoni

e-mail: marinoni@cpt.univ-mrs.fr

## Project title: Spherically-symmetric inhomogeneities in general relativity and their effects in cosmology

### Description:

Inhomogeneous spacetimes have acquired a status of relevance in cosmological studies. They are considered as an interesting test case for challenging the cosmological principle, the statement that the universe is uniform on large scales, as well as for non-canonical interpretations of cosmological observations, such as the phenomenon of dark energy or the propagation of gravitational waves. Such unconventional models are also relevant for describing the structure of space and time on local cosmological scales, where there is well-founded empirical evidence that the distribution of matter and energy fluctuates hierarchically and the cosmic web deviates from the ideal conditions prescribed by the cosmological principle.

Among these non-standard metric proposals, the spherically symmetric solutions of Einstein's field equations (Lemaître-Tolman-Bondi (LTB) metric) are of particular interest. Their popularity stems from the fact that they offer an alternative physical explanation for the Hubble diagram measured via Supernovae Ia (SNIa). The weakening of light from distant supernovae would be caused, in this inhomogeneous scenario, by radial spatial gradients in the rate of expansion and density of matter, rather than, as currently preferred, by a dark energy component forcing the second derivative of the cosmic scale factor  $a(t)$  to be positive. Indeed, since we have direct access only to data on our light-cone, it is challenging to disentangle temporal evolution in the scale factor from radial spatial variations. For example, it is possible to mimic the effect of dark energy by postulating that we live in a region of the universe dense with respect to the average, which extends to the point in space where the acceleration/deceleration transition takes place (at redshift  $z \sim 0.6$ ). Typically one invokes the hypothetical existence of a deep void, almost centered around us, with a radius that, depending on models, can be as big as the horizon ( $\sim 3$  Gpc). Interestingly, LTB modelling of smaller size voids ( $\sim 300$  Mpc), which are compatible with tentative evidences about the existence of a local under density in the galaxy distribution, has been recently advocated as a way to lessen the tension between local and early epochs measurements of the present day Hubble parameter  $H_0$ .

Despite their historical and physical importance the study of LTB spaces is still in its infancy. Analyses are primarily limited by an important drawback: linear perturbation theory is substantially more complicated than in FLRW models, mainly because scalar, vector, and tensor perturbations do not decouple on inhomogeneous backgrounds. Although great progress has been made, perturbation theory is still far from being predictive. For example, we are still far from being able to compute statistical properties of the perturbed matter density field on large scales (e.g. correlation functions, power spectra, number counts, etc...) and compare them to the data. Unfortunately, these tests are exactly what we need to help constrain the underlying space-time geometry and thus the viability of the LTB metric.

This project is set up to study the fully-non linear collapse of a spherical metric fluctuation in a LTB space-time. Traditionally, the spherical collapse of cosmic matter overdensities is addressed, within the standard model of cosmology, with a perturbative approach: a spherical perturbation, implanted on a smooth Friedmann-Robertson-Walker background, is evolved implementing a Newtonian approximation scheme. The original task of this study is to describe the

collapse of a spherical fluctuation in a fully relativistic and unperturbative way using the LTB formalism. The student will predict the amplitude of fundamental cosmological observables such as the collapse time and the critical density for collapse of spherical matter fluctuations and will compare them with the results obtained via the usual perturbative approach within the framework of the standard cosmological model. The goal is to understand the differences, both quantitative and interpretive, of the two theoretical descriptions of spherical collapse and to assess the cosmological relevance of the results .

The long-term goal of this project is to better understand the perturbative properties of the LTB metric. For a notoriously difficult mathematical problem the physical repercussions will be rewarding. Indeed, a successful analysis will allow to study how LTB metric spaces deform at the passage of gravitational waves and how they they modify the polarization properties of light and of the gravitational background. This will be relevant for the interpretation of gravitational wave signals emitted by distant inspiraling astrophysical systems , but also for the analysis of the magnetic B-modes of the cosmic microwave background which is an important channel for the detection of primordial (cosmological) gravitational waves. This work will be developed in the framework of a possible PhD program.

## References:

*Redshift drift in radially inhomogeneous Lemaître-Tolman-Bondi spacetimes*, R. Codur and C. Marinoni, Phys. Rev. D 104, 123531 (2021)

**À l'attention de la commission des candidatures  
de stage du Centre de Physique Théorique**

1<sup>er</sup> février 2022

J'ai l'honneur de solliciter par la présente votre attention pour ma candidature à un stage sous la direction de Christian Marinoni au Centre de Physique Théorique

Je suis un étudiant du Master Champ, Cosmologie et Particules (CCP) de la Faculté des Sciences de Montpellier. Je suis également diplômé depuis 2021 de L'École Normale Supérieure de Paris-Saclay et du Master Astrophysique Astronomie et Ingénierie Spatiale (AAIS) de l'Observatoire de Paris parcours Dynamique des Systèmes Gravitationnels.

Je me suis dirigé vers ces formations car je suis très intéressé par l'astrophysique depuis un stage et un cours d'introduction lors de mon Master 1. J'ai également développé lors de cette année un goût pour les parties théoriques de la physique, notamment via un cours sur les symétries et les intégrales de chemin. J'ai assisté lors du M2 AAIS à un cours de relativité générale et à un cours de cosmologie où nous avons traité du modèle standard de l'inflation et de l'univers primordial. J'ai particulièrement apprécié ces cours et j'ai dès lors eu pour projet de faire une thèse et de commencer une carrière scientifique dans le domaine de la cosmologie théorique. Cependant j'ai senti qu'il me manquait des compétences en théorie des champs et en physique des particules si je voulais mener ce projet à bien. J'ai donc décidé de compléter ma formation par le M2 CCP afin de combler ces lacunes.

Le stage en cosmologie proposé par Christian Marinoni est dans la lignée directe de ce parcours. Je suis très intéressé par les modèles cosmologiques non standard. Ce sujet me permettrait d'explorer les conséquences d'une métrique non homogène en élaborant un modèle exact de perturbation sphérique dans une métrique Lemaître-Tolman-Bondi et de comparer son évolution à celle dans un modèle standard en associant une approche à la fois analytique et numérique qui me convient parfaitement.

Mon projet est notamment motivé par plusieurs stages en laboratoire et divers projets de recherche que j'ai suivi au long de ma formation. En M1, j'ai réalisé un stage au laboratoire LASTRO de l'EPFL sur des phénomènes de lentille gravitationnelle pendant quatre mois. L'objectif était d'expliquer le cisaillement particulier - et sans origine physique apparente - présent en périphérie des amas par des distributions de masse exotiques.

Dans le cadre du M2AAIS, j'ai effectué un stage d'une durée de quatre mois à l'Institut d'Astrophysique de Paris où j'ai étudié la manière dont l'environnement cosmique des galaxies module leur croissance et leur morphologie. Ce stage m'a permis de travailler avec une équipe de chercheurs de différentes nationalités et de produire un catalogue que j'ai mis à la disposition de la communauté et a confirmé mon intérêt pour la recherche scientifique.

De plus, lors de ma formation à l'ENS, j'ai consacré une année à la préparation à l'agrégation de Physique. J'ai pu acquérir et développer plusieurs compétences pédagogiques qui seront essentielles dans ma carrière d'enseignant-chercheur.

Pour toutes ces raisons, je souhaite effectuer mon stage de Master 2 au Centre de Physique Théorique. Il conclurait ma formation académique et poserait les fondations d'une thèse en adéquation avec mes centres d'intérêt. Il représenterait ainsi une étape capitale de mon projet professionnel.

Je vous remercie de l'intérêt que vous pourrez porter à ma candidature.

Veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de ma considération la plus haute.

**Lucas Thébault**

# Lucas Thébault

✉ Lucas.Thebault@ens-paris-saclay.fr  
☎ +336 74 92 80 25

## FORMATION

---

### Faculté des Sciences

Master 2 Recherche

Champs, Cosmologie, Particules

Montpellier, France

2021 - Aujourd'hui

### Observatoire de Paris

Master 2 Recherche

Astronomie, Astrophysique et Ingénierie Spatiale

Cachan, France

2020 - 2021

Reçu au concours de l'agrégation externe de physique-chimie option physique

2020

### Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay

Master 2

Formation à l'Enseignement Supérieur (FESUP)

Préparation à l'agrégation de physique-chimie option physique

Cachan, France

2019 - 2020

### Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay

Master 1

Physique, Théorie, Expérience, Modèle (PHYTEM)

Cachan, France

2018 - 2019

### Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay

Third year - 'Licence' degree

Physique, Théorie, Expérience, Modèle (PHYTEM)

Cachan, France

2017 - 2018

### Lycée Marcelin Berthelot

Classe préparatoire aux grandes écoles

MPSI et PSI\*

St-Maur des fossés, France

2014 - 2017

## COMPETENCES

---

- Langages de programmation –Python, Fortran
- MATLAB
- LaTeX

## STAGES

---

### Institut d'Astrophysique de Paris (IAP), Paris

Mars-juin 2021

- Sous la direction de Clotilde Laigle et Henry Jit McCracken
- Étude de l'impact de l'environnement cosmique des galaxies sur leurs orientations et leurs propriétés

### Laboratoire d'astrophysique (LASTRO), EPFL, Sauverny

Mai-Août 2019

- Sous la direction de Benjamin Clément
- Gravitational lenses : reproduction of the shear effect thanks to potential with varying ellipticity and boxiness

### Laboratoire Jean Perrin, Université Pierre Et Marie Curie, Paris

Juin 2018

- Sous la direction de Ellie Wandersman
- Lipid bilayer encapsulation for the modelisation of mechanoreception

## LANGUES

---

- **Anglais** [Bilingue - Cambridge Certificate in Advanced English (CAE) : 201/210 - Niveau C2 CEFR]
- **Espagnol** [basique]

## CENTRES D'INTERETS

---

- **Bureau des élèves** de l'ENS Paris-Saclay (2018-2019)
- **Président de la fanfare de l'ENS** (2018-2019)
- **Trésorier du club d'escalade "club caillou"** (2018-2019)
- **Musique** : Batterie (19 ans), piano (4 ans), trombone (2 ans)
- **Escalade** (6 ans)



**Dr Clotilde Laigle**  
Astronome-adjoint  
Institut d'Astrophysique de Paris  
& Université Pierre et Marie Curie  
98bis boulevard Arago  
75014 Paris, France  
[laigle@iap.fr](mailto:laigle@iap.fr)

Paris, 12 Janvier 2022

Madame, Monsieur,

C'est avec plaisir que j'écris cette lettre de recommandation pour Mr Lucas Thébault. Lucas a effectué un stage sous ma direction (en co-direction avec Henry Joy McCracken) à l'Institut d'Astrophysique de Paris, entre mars et juin 2021, dans le cadre de son année de Master 2 AAIS à l'observatoire de Paris.

Durant ce stage, Lucas a étudié les alignements intrinsèques des galaxies avec les filaments de la toile cosmique à grand redshift, à partir d'un set de données observées de grande qualité (le sondage photométrique COSMOS). L'étude de ce signal est importante, d'une part parce que sa nature et son amplitude peuvent nous permettre de mieux contraindre la physique de formation des galaxies, et d'autre part parce que les alignements intrinsèques sont potentiellement une source de pollution dans les mesures d'astigmatisme cosmique. En revanche le mesurer dans les observations est encore un défi compte tenu de la précision des relevés actuels, et peu de travaux jusque'à présent ont rapporté la détection de ce signal.

Afin de préparer au mieux la mesure observationnelle, Lucas a d'abord travaillé sur un set de données simulées, qu'il a préparé de telle sorte à ce qu'il mime le relevé observationnel (en terme de précision et d'effets systématiques). Il a ensuite calibré le set de paramètres nécessaires à l'extraction des filaments de la toile cosmique en s'appuyant sur cette simulation, puis il a réalisé cette extraction dans les données observées et il a fait une première mesure de l'alignement des formes des galaxies avec les filaments. La situation sanitaire a rendu difficile le déroulement de ce (court) stage dans de bonnes conditions (télétravail), et par conséquent son aboutissement sur une publication, comme nous le prévoyions initialement.

Cependant Lucas a su mettre en oeuvre les compétences variées nécessaires à l'accomplissement des différentes étapes de ce travail et il s'est montré habile avec la manipulation des données observées. Il a également systématiquement montré un intérêt prononcé pour la compréhension de la physique sous-jacente au signal attendu, en explorant par lui-même et avec soin la littérature sur le sujet.

Pour conclure, Lucas est rigoureux et désireux de s'améliorer. Ses études à l'ENS et ses deux années de Master 2, d'abord à l'observatoire de Paris puis à Montpellier lui ont donné une formation intellectuelle très solide. Je pense qu'il a beaucoup de potentiel et c'est pourquoi je le soutiens sur cette candidature.

Je reste à votre entière disposition,  
Bien cordialement,

Clotilde Laigle

From: **Marinoni Christian** [chris.marinoni@gmail.com](mailto:chris.marinoni@gmail.com)   
Subject: Fwd: Recommandation Lucas Thebault  
Date: 1 February 2022 at 10:26  
To:

MC

Begin forwarded message:

From: Cyril Hugonie <[cyril.hugonie@umontpellier.fr](mailto:cyril.hugonie@umontpellier.fr)>  
Subject: Re: Recommandation Lucas Thebault  
Date: 1 February 2022 at 10:20:07 CET  
To: Marinoni Christian <[chris.marinoni@gmail.com](mailto:chris.marinoni@gmail.com)>

Bonjour Christian,

Lucas est en effet un très bon élément de notre M2. Ci-joint une lettre de recommandation que j'avais écrite avant d'avoir des notes et un relevé de notes provisoire pour les épreuves qui ont eu lieu en Novembre. Sa moyenne provisoire est de 12,6 ce qui le classe 3ème sur 13 étudiants. La seule mauvaise note qu'il ait eu est avec moi (Physique des Particules) mais il devrait l'effacer à l'occasion des épreuves terminales qui auront lieu fin Février. En effet j'applique la "règle du max" : si la note à l'examen terminal est meilleure que celle au partiel de Novembre, je ne garde que la note final, sinon je fais la moyenne. Je suis sûr qu'il effacera donc cette mauvaise note de son relevé qui par ailleurs est très bon. De plus Lucas a une formation solide et c'est un étudiant très motivé. Je le recommande donc fortement.

Amicalement,  
Cyril.

-----  
*Dr. Cyril Hugonie, Maître de Conférences*  
*Responsable du Master Physique Fondamentale et Applications*

**Laboratoire Univers & Particules de Montpellier, UMR 5299**

Université Montpellier, Case Courrier 72  
Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier CEDEX 05

Tel : +33 (0)4 67 14 32 02  
-----

**NOTES M2 CCP 2021-2022**  
**RELEVÉ PROVISOIRE**

		Transfert de Rayonnement et Atmosphères Solaires		Milieu Interstellaire		Physique des Particules *		Théorie Quantique des Champs *		Moyenne Provisoire		
THEBAULT	Lucas	17,50	1/13	13,00	4/13	7,25	9/13	14,00	2/13	12,61	3/13	COMPENSÉ
	Moyenne	12,81		11,58		10,21		9,67		10,07		
	Note min	8,25		7,00		2,00		1,00		0,00		
	Note max	17,50		15,50		19,50		17,00		16,91		

Nombre d'admis :	4
compensés :	2
non admis :	7

Fait à Montpellier, le 13/01/2022

C. Hugonie, responsable du Master



\* : note de partiel, examen final en Février



UNIVERSITÉ  
DE MONTPELLIER



Montpellier, 19 Novembre 2021

Cher collègue,

Lucas Thébault souhaite faire son stage de M2 sur le sujet que vous proposez et m'a demandé de lui écrire une lettre de recommandation afin de soutenir sa candidature. Lucas suit le Master *Cosmos, Champs et Particules* de l'Université de Montpellier, dont je suis responsable.

Après un baccalauréat S mention Très Bien obtenu en 2014, Lucas a suivi des Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles en 2014/2017 à l'issue de quoi il a intégré l'ENS Cachan (promotion 2020). Dans le cadre de son cursus à l'ENS il a obtenu un M1 de Physique Théorique en 2019 et un M2 de formation à l'enseignement supérieur en 2020. Il a aussi été reçu à l'agrégation de Physique en 2020. En 2020/2021 il a suivi en outre un M2 Recherche en Astronomie, Astrophysique et Ingénierie Spatiale. Etant attiré par la cosmologie théorique, il a candidaté à notre M2. Etant donné l'excellence de son dossier nous l'avons bien sur accepté.

Lucas est un étudiant avec un dossier très solide. Je pense qu'il fera un bon stagiaire de M2 aussi je vous le recommande.

Cordialement,



Cyril HUGONIE  
Responsable du Master.



**Relevé de notes du semestre S1**

- Grade Master -

2ème SESSION 2019**MASTER DE SCIENCES, TECHNOLOGIES, SANTE MENTION PHYSIQUE FONDAMENTALE ET APPLICATIONS niveau 1****Nom et prénom de l'étudiant : M. THEBAULT, LUCAS****Date et lieu de naissance:** 11/10/1996 à PARIS 14 (PARIS)**N° Dossier :** 3705131**N° INE :** 2407044197N

U.E.	Ses.	Epreuves écrites	Travaux pratiques	Contrôle continu	Epreuves orales	** Progression	Total	ECTS
4P300 Physique quantique et physique statistique	2Ses. F 2019	<b>70</b> / 100					<b>70,00</b> / 100	<b>6</b>
4P301 Physique du solide	1Ses. F 2019	<b>51,5</b> / 100					<b>51,50</b> / 100	<b>6</b>
4P302 Noyaux et particules	2Ses. F 2019	<b>50</b> / 100					<b>50,00</b> / 100	<b>6</b>
4P303 Physique et mécanique des milieux continus	2Ses. F 2019	<b>81</b> / 100					<b>81,00</b> / 100	<b>6</b>
4P308 Symétries et intégrales de chemin	2Ses. F 2019	<b>70</b> / 100					<b>70,00</b> / 100	<b>6</b>

Résultat du semestre **S1 : Validé - 30 ECTS**

Moyenne : 12,9 /20

**Paris le : 27/04/2020**Sorbonne Université  
21 rue de l'École de Médecine  
75006 Paris

Cachet de l'établissement :

\*\* La progression n'intervient que si la note de l'UE sans CC (Contrôle Continu) est supérieure à celle calculée avec CC.  
Elle représente l'écart entre ces deux notes.

**Relevé de notes du semestre S2**

- Grade Master -

SESSION JUIN 2019**MASTER DE SCIENCES, TECHNOLOGIES, SANTE MENTION PHYSIQUE FONDAMENTALE ET APPLICATIONS niveau 1****Nom et prénom de l'étudiant : M. THEBAULT, LUCAS****Date et lieu de naissance:** 11/10/1996 à PARIS 14 (PARIS)**N° Dossier :** 3705131**N° INE :** 2407044197N

U.E.	Ses.	Epreuves écrites	Travaux pratiques	Contrôle continu	Epreuves orales	** Progression	Total	ECTS
4P310 <b>Biologie pour physiciens et biophysique</b>	1Ses. J 2019	<b>57,5</b> / 100					<b>57,50</b> / 100	<b>3</b>
4P311 <b>Formation expérimentale</b>	1Ses. J 2019	<b>77</b> / 100					<b>77,00</b> / 100	<b>6</b>
4P312 <b>Astrophysique et cosmologie</b>	1Ses. J 2019	<b>60</b> / 100					<b>60,00</b> / 100	<b>3</b>
4P314 <b>Langue Phytém</b>	1Ses. J 2019	<b>71</b> / 100					<b>71,00</b> / 100	<b>6</b>
4P315 <b>Stage Phytém en laboratoire de recherche</b>	1Ses. J 2019				<b>62,5</b> / 100		<b>62,50</b> / 100	<b>12</b>

Résultat du semestre **S2 : Validé - 30 ECTS**

Moyenne : 13,27 /20

**Paris le : 27/04/2020**Sorbonne Université  
21 rue de l'École de Médecine  
75006 Paris

Cachet de l'établissement :

\*\* La progression n'intervient que si la note de l'UE sans CC (Contrôle Continu) est supérieure à celle calculée avec CC.  
Elle représente l'écart entre ces deux notes.

n° étudiant : 1700460  
INE : 2407044197N  
date de naissance : 11/10/1996

**M. THEBAULT LUCAS**  
68 Rue du parc de Cachan  
94230 CACHAN

**Master 2 Physique Semestre 4, parcours Formation à l'enseignement supérieur en Physique (site cachan)**

domaine du diplôme : Sciences, Technologies, Santé

	<i>ECTS à acquérir</i>	<i>base</i>	<i>coef</i>	<i>note</i>	<i>session</i>	<i>ECTS acquis</i>	<i>résultat</i>
Semestre 4			30	13,42	1		ADMIS
Physique de Base	6	20	6	13,13	1	6	ADMIS
Physique avancée	6	20	6	16,56	1	6	ADMIS
Chimie	6	20	6	12,10	1	6	ADMIS
Exposés de physique	4	20	4	12,00	1	4	ADMIS
Physique expérimentale	4	20	4	14,00	1	4	ADMIS
Exposé de chimie	4	20	4	12,00	1	4	ADMIS

Moyenne générale du semestre : 13,42 -- ADMIS -- 30 ECTS acquis

Fait à Cachan le 19/04/2020,  
le responsable de la formation

M. ARNAUD LE DIFFON

n° étudiant : 1700460  
INE : 2407044197N  
date de naissance : 11/10/1996

**M. THEBAULT LUCAS**  
68 Rue du parc de Cachan  
94230 CACHAN

**Master 2 Physique Semestre 4, parcours Formation à l'enseignement supérieur en Physique (site cachan)**

domaine du diplôme : Sciences, Technologies, Santé

	<i>ECTS à acquérir</i>	<i>base</i>	<i>coef</i>	<i>note</i>	<i>session</i>	<i>ECTS acquis</i>	<i>résultat</i>
Semestre 4			30	13,42	1		ADMIS
Physique de Base	6	20	6	13,13	1	6	ADMIS
Physique avancée	6	20	6	16,56	1	6	ADMIS
Chimie	6	20	6	12,10	1	6	ADMIS
Exposés de physique	4	20	4	12,00	1	4	ADMIS
Physique expérimentale	4	20	4	14,00	1	4	ADMIS
Exposé de chimie	4	20	4	12,00	1	4	ADMIS

Moyenne générale du semestre : 13,42 -- ADMIS -- 30 ECTS acquis

Fait à Cachan le 19/04/2020,  
le responsable de la formation

M. ARNAUD LE DIFFON

Université Paris-Sud  
 Master de Recherche Sciences, Technologies, Santé  
 Mention : Physique  
**Master 2 Astronomie, Astrophysique et Ingénierie Spatiale**  
**PARCOURS : Dynamique des Systèmes Gravitationnels**

**RELEVÉ DE NOTES 2020-2021 - THEBAULT Lucas**

SEMESTRE 1

<b>UE Fondamentale (5 cours parmi 8)</b>		<b>12 ECTS</b>	<b>15,1 /20</b>
<b>F01</b>	Instruments & Observations		
<b>F02</b>	Gravitation classique & Mécanique Céleste		16,0 /20
<b>F03</b>	Gravitation relativiste		13,0 /20
<b>F04</b>	Astro-Géodésie		
<b>F05</b>	Transfert de rayonnement et interaction matière-rayonnement		
<b>F06</b>	Dynamique des fluides astrophysiques		13,5 /20
<b>F07</b>	Physique stellaire : structure, évolution et oscillations des étoiles		16,8 /20
<b>F08</b>	Introduction à la dynamique des systèmes hamiltoniens		16,0 /20
<b>UE Thématique et Insertion Professionnelle (4 cours parmi 10)</b>		<b>9 ECTS</b>	<b>15,4 /20</b>
<b>T01</b>	Instruments & Observations - radio & hautes énergies		
<b>T02</b>	Planètes et petits corps : surfaces & atmosphères		
<b>T03</b>	Exoplanètes : détection, populations, formation		
<b>T04</b>	Physique solaire, activité éruptive		
<b>T05</b>	Physique des plasmas : les bases fondamentales de l'astrophysique au laboratoire		
<b>T06</b>	Objets compacts & phénomènes associés - Astrophysique des hautes énergies et multi-messagers		14,5 /20
<b>T07</b>	Milieu interstellaire et formation des étoiles		
<b>T08</b>	Galaxies : de la Voie Lactée à $z > 10$		14,5 /20
<b>T09</b>	Cosmologie		18,0 /20
<b>T10</b>	Équations cinétiques pour les systèmes à grand nombre de particules		14,5 /20
<b>UE Méthodologique (2 cours obligatoires)</b>		<b>6 ECTS</b>	<b>15,3 /20</b>
<b>CTP01</b>	Méthodes statistiques et Analyse de données		15,5 /20
<b>CTP02</b>	Méthodes numériques et Calcul scientifique		15,0 /20
<b>UE Projet méthodologique (1 projet parmi 6)</b>		<b>3 ECTS</b>	<b>14,5 /20</b>
<b>M01</b>	Projets observationnels et instrumentaux / Haute Résolution Angulaire		
<b>M02</b>	Projets expérimentaux		
<b>M03</b>	Projets d'analyse de données et d'interprétation : photométrie et relevés profonds		14,5 /20
<b>M04</b>	Projets d'analyse de données et d'interprétation : spectroscopie et diagnostics		
<b>M05</b>	Projets d'analyse de données et d'interprétation : étoiles et petits corps		
<b>M06</b>	Projets de modélisation numérique		

**Premier semestre : nombre d'ECTS acquis et note obtenue**

**30 ECTS 15,1 /20**

Rang premier semestre : 8 sur 38.

Fait le 19/03/2021

Marian Douspis  
co-responsable Master 2 A

