

UNIVERSITÉ PARIS DIDEROT

LABORATOIRE ASTROPARTICULES & COSMOLOGIE

DOCTORAL THESIS

Corrélations entre lentillage
gravitationnel du fonds diffus
cosmologique et traceurs de matière

Author :

Julien TRÉGUER

Supervisor :

Dr. Eric AUBOURG

*A thesis submitted in fulfilment of the requirements
for the degree of Doctor of Philosophy*

in the

Research Group Name

Department or School Name

21 août 2015

Declaration of Authorship

I, Julien TRÉGUER, declare that this thesis titled, 'Corrélations entre lentillage gravitationnel du fonds diffus cosmologique et traceurs de matière' and the work presented in it are my own. I confirm that :

- This work was done wholly or mainly while in candidature for a research degree at this University.
- Where any part of this thesis has previously been submitted for a degree or any other qualification at this University or any other institution, this has been clearly stated.
- Where I have consulted the published work of others, this is always clearly attributed.
- Where I have quoted from the work of others, the source is always given. With the exception of such quotations, this thesis is entirely my own work.
- I have acknowledged all main sources of help.
- Where the thesis is based on work done by myself jointly with others, I have made clear exactly what was done by others and what I have contributed myself.

Signed :

Date :

“Thanks to my solid academic training, today I can write hundreds of words on virtually any topic without possessing a shred of information, which is how I got a good job in journalism.”

Dave Barry

UNIVERSITY NAME (IN BLOCK CAPITALS)

Abstract

Faculty Name

Department or School Name

Doctor of Philosophy

**Corrélations entre lentillage gravitationnel du fonds diffus cosmologique et
traceurs de matière**

by Julien TRÉGUER

The Thesis Abstract is written here (and usually kept to just this page). The page is kept centered vertically so can expand into the blank space above the title too...

Acknowledgements

The acknowledgements and the people to thank go here, don't forget to include your project advisor...

Table des matières

Declaration of Authorship	i
Abstract	iii
Acknowledgements	iv
Contents	v
List of Figures	ix
List of Tables	x
Abbreviations	xi
Physical Constants	xii
Symbols	xiii
Introduction	1
1 Cosmologie moderne	2
1.1 Historique	2
1.1.1 Relativité générale	2
1.1.2 Principe cosmologique	2
1.1.3 Métrique FLRW	2
1.1.4 Hubble et la récession des galaxies	2
1.1.5 L’abondance des éléments	2
1.1.6 Le fond diffus cosmologique	2
1.1.7 Matière noire	3
1.1.8 Energie noire	3
1.2 Théorie du Big Bang et modèle Λ -CDM	3
1.2.1 Chronologie	3
1.2.2 Contenu énergétique de l’univers	3
1.2.2.1 Baryons	3
1.2.2.2 Photons	3

1.2.2.3	Matière noire	3
1.2.2.4	Energie noire	3
1.2.2.5	Neutrinos	3
1.2.3	Limites du modèle Λ -CDM	3
1.2.3.1	Problème de l'horizon	3
1.2.3.2	Problème de la courbure	3
1.2.3.3	Problème des monopôles	3
1.2.4	Paradigme de l'inflation	3
1.2.4.1	Postulats	3
1.2.4.2	Apports au modèle Λ -CDM	3
1.2.4.3	Conséquences observationnelles	4
2	Lentillage gravitationnel du fonds diffus cosmologique	5
2.1	Fond diffus cosmologique	5
2.1.1	Spectre de puissance angulaire	5
2.2	Lentillage gravitationnel	5
2.2.1	Origine physique	5
2.2.2	Théorie	5
2.2.3	Applications	5
2.3	Lentillage du CMB	6
2.3.1	Théorie	6
2.3.2	Effets observationnels	6
3	Traceurs de matière	7
3.1	Formation des structures	7
3.2	Galaxies	7
3.3	Quasars	7
3.4	Amas de galaxies	7
3.5	Nuages d'hydrogène neutre	7
3.5.1	Forêt Lyman- α	7
3.5.2	Raie à 21 cm	7
	Emissions à hautes énergies	7
4	Corrélations en cosmologie	8
4.1	Définition	8
4.1.1	Auto-corrélation	8
4.1.2	Corrélation croisée	8
4.2	Les mesures de corrélations en cosmologie	8
4.2.1	Fonction à deux points	8
4.2.2	Spectre de puissance	8
4.2.3	Fonction de corrélation angulaire	8
4.2.4	Spectre de puissance angulaire	8
4.3	Calcul théorique	8
4.3.1	Approximation de Limber	8
4.3.2	Exemples de noyaux	8
4.4	Avantages de la corrélation croisée	9
4.4.1	Exemple théorique	9

4.4.2	Quelques résultats récents en cosmologie	9
5	Collaborations Planck et SDSS-III	10
5.1	Mission Planck	10
5.1.1	Technologies et déroulement de la mission	10
5.1.2	Objectifs scientifiques	10
5.1.3	Principaux résultats	10
5.2	Collaboration SDSS-III	10
5.2.1	BOSS	10
5.2.2	Autres relevés	10
6	Corrélation avec catalogues de galaxies et de quasars	11
6.1	Données utilisées	12
6.1.1	Lensing du CMB	12
6.1.2	NVSS	12
6.1.3	Lowz et CMASS	12
6.1.4	Quasars de BOSS	12
6.2	Méthodologie	12
6.2.1	Stacking	12
6.2.2	Spectres angulaires	12
6.3	Validation	12
6.3.1	Simulation	12
6.3.2	Null test	12
6.4	Résultats expérimentaux	12
6.4.1	Lensing vs NVSS	12
6.4.2	Lensing vs Lowz et CMASS	12
6.4.3	Lensing vs Quasars de BOSS	12
6.5	Estimation de paramètres	12
6.5.1	Spectres angulaires théoriques	12
6.5.2	Résultats	12
7	Corrélation avec les forêts Lyman-alpha	13
7.1	Données utilisées	13
7.1.1	Lensing du CMB	13
7.1.2	Forêt Lyman-alpha	13
7.2	Méthodologies	13
7.2.1	Scatterplot	13
7.2.2	Rotations de ciel	13
7.2.3	Stacking	14
7.2.3.1	Description	14
7.2.3.2	Validation - Simulations	14
7.2.3.3	Validation - Null test	14
7.2.4	Spectres angulaires	14
7.2.4.1	Description	14
7.2.4.2	Validation - Simulations	14
7.2.4.3	Validation - Null test	14
7.3	Résultats expérimentaux	14

7.3.1	Stacking	14
7.3.2	Spectres angulaires	14
7.4	Estimation de paramètres	14
7.4.1	Fonction de corrélation angulaire théorique	14
7.4.2	Spectres angulaires théoriques	14
7.4.3	Résultats	14
8	Corrélations avec sources X (BONUS !)	15
8.1	Données utilisées	15
8.1.1	Sources X XMM-Chandra	15
8.2	Méthodologies	15
8.2.1	Scatterplot	15
8.2.2	Rotations de ciel	15
8.2.3	Stacking	16
8.2.3.1	Description	16
8.2.3.2	Validation - Simulations	16
8.2.3.3	Validation - Null test	16
8.2.4	Spectres angulaires	16
8.2.4.1	Description	16
8.2.4.2	Validation - Simulations	16
8.2.4.3	Validation - Null test	16
8.3	Résultats expérimentaux	16
8.3.1	Stacking	16
8.3.2	Spectres angulaires	16
8.4	Estimation de paramètres	16
8.4.1	Fonction de corrélation angulaire théorique	16
8.4.2	Spectres angulaires théoriques	16
8.4.3	Résultats	16
9	Conclusions	17
9.1	Récapitulatif	17
9.2	Prospective	17
9.2.1	LSS	17
9.2.2	Euclid	17
9.2.3	SKA	17
9.2.4	WEAVE	17
9.2.5	Statistiques d'ordre supérieur	17
A	Appendix Title Here	18

Table des figures

Liste des tableaux

Abbreviations

LAH List Abbreviations **H**ere

GR General **R**elativity

Physical Constants

$$\text{Speed of Light } c = 2.997\,924\,58 \times 10^8 \text{ ms}^{-\text{s}} \text{ (exact)}$$

Symbols

a	distance	m
P	power	W (Js^{-1})
ω	angular frequency	rads^{-1}

For/Dedicated to/To my...

Introduction

History of religions, myths, works of arts offer countless examples of Humanity interrogations about the origin of the Universe.

Chapitre 1

Cosmologie moderne

"Use the Force, Luke"

— Master Yoda, *Star Wars*

1.1 Historique

1.1.1 Relativité générale

1.1.2 Principe cosmologique

1.1.3 Métrique FLRW

1.1.4 Hubble et la récession des galaxies

1.1.5 L'abondance des éléments

Alpher et Gamow 1948

1.1.6 Le fond diffus cosmologique

Harmoniques sphériques et SdPA

1.1.7 Matière noire

1.1.8 Energie noire

1.2 Théorie du Big Bang et modèle Λ -CDM

1.2.1 Chronologie

Histoire de l'univers depuis le Big Bang, les différentes phases : Inflation Nucléosynthèse Baryosynthèse Ère de la radiation - γ matière Recombinaison Âges sombres Réionisation Expansion

1.2.2 Contenu énergétique de l'univers

1.2.2.1 Baryons

1.2.2.2 Photons

1.2.2.3 Matière noire

1.2.2.4 Energie noire

1.2.2.5 Neutrinos

1.2.3 Limites du modèle Λ -CDM

1.2.3.1 Problème de l'horizon

1.2.3.2 Problème de la courbure

1.2.3.3 Problème des monopôles

1.2.4 Paradigme de l'inflation

1.2.4.1 Postulats

1.2.4.2 Apports au modèle Λ -CDM

Résolution des problèmes Fluctuations qui deviennent des anisotropies

1.2.4.3 Conséquences observationnelles

Chapitre 2

Lentillage gravitationnel du fonds diffus cosmologique

2.1 Fond diffus cosmologique

2.1.1 Spectre de puissance angulaire

2.2 Lentillage gravitationnel

Définition, observations astrophysiques

2.2.1 Origine physique

2.2.2 Théorie

Cisaillement et magnification

2.2.3 Applications

Eddington et relativité générale Détermination de masses Détection de planètes

2.3 Lentillage du CMB

2.3.1 Théorie

Champ de déflexion Convergence κ

2.3.2 Effets observationnels

Effet sur la carte du CMB Effet sur le spectre angulaire de température Effet sur la polarisation du CMB

Chapitre 3

Traceurs de matière

3.1 Formation des structures

3.2 Galaxies

3.3 Quasars

3.4 Amas de galaxies

3.5 Nuages d'hydrogène neutre

3.5.1 Forêt Lyman- α

3.5.2 Raie à 21 cm

Emissions à hautes énergies Gamma, X

Chapitre 4

Corrélations en cosmologie

4.1 Définition

4.1.1 Auto-corrélation

4.1.2 Corrélation croisée

4.2 Les mesures de corrélations en cosmologie

4.2.1 Fonction à deux points

4.2.2 Spectre de puissance

4.2.3 Fonction de corrélation angulaire

4.2.4 Spectre de puissance angulaire

4.3 Calcul théorique

4.3.1 Approximation de Limber

4.3.2 Exemples de noyaux

QSO-kappa QSO-Lyman QSO-kappa

4.4 Avantages de la corrélation croisée

Elimination des bruits non corrélés Amplification du signal

4.4.1 Exemple théorique

4.4.2 Quelques résultats récents en cosmologie

Chapitre 5

Collaborations Planck et SDSS-III

5.1 Mission Planck

5.1.1 Technologies et déroulement de la mission

5.1.2 Objectifs scientifiques

5.1.3 Principaux résultats

5.2 Collaboration SDSS-III

5.2.1 BOSS

5.2.2 Autres relevés

Chapitre 6

Corrélation avec catalogues de galaxies et de quasars

Dans ce chapitre, nous précisons les données utilisées pour les analyses et les éventuels pré-traitements appliqués.

6.1 Données utilisées

6.1.1 Lensing du CMB

6.1.2 NVSS

6.1.3 Lowz et CMASS

6.1.4 Quasars de BOSS

6.2 Méthodologie

6.2.1 Stacking

6.2.2 Spectres angulaires

6.3 Validation

6.3.1 Simulation

6.3.2 Null test

6.4 Résultats expérimentaux

6.4.1 Lensing vs NVSS

6.4.2 Lensing vs Lowz et CMASS

6.4.3 Lensing vs Quasars de BOSS

6.5 Estimation de paramètres

6.5.1 Spectres angulaires théoriques

6.5.2 Résultats

Biais par redshifts

Chapitre 7

Corrélation avec les forêts Lyman-alpha

7.1 Données utilisées

7.1.1 Lensing du CMB

A GARDER SI PROCESSING DIFFERENT

7.1.2 Forêt Lyman-alpha

7.2 Méthodologies

7.2.1 Scatterplot

7.2.2 Rotations de ciel

Fonction à un point

7.2.3 Stacking

7.2.3.1 Description

7.2.3.2 Validation - Simulations

7.2.3.3 Validation - Null test

7.2.4 Spectres angulaires

7.2.4.1 Description

7.2.4.2 Validation - Simulations

7.2.4.3 Validation - Null test

7.3 Résultats expérimentaux

7.3.1 Stacking

7.3.2 Spectres angulaires

7.4 Estimation de paramètres

7.4.1 Fonction de corrélation angulaire théorique

Courbe théorique du stacking

7.4.2 Spectres angulaires théoriques

7.4.3 Résultats

Quels paramètres ? Faire un tableau comparant stacking et méthode harmonique

Chapitre 8

Corrélations avec sources X (BONUS !)

8.1 Données utilisées

8.1.1 Sources X XMM-Chandra

8.2 Méthodologies

8.2.1 Scatterplot

8.2.2 Rotations de ciel

Fonction à un point

8.2.3 Stacking

8.2.3.1 Description

8.2.3.2 Validation - Simulations

8.2.3.3 Validation - Null test

8.2.4 Spectres angulaires

8.2.4.1 Description

8.2.4.2 Validation - Simulations

8.2.4.3 Validation - Null test

8.3 Résultats expérimentaux

8.3.1 Stacking

8.3.2 Spectres angulaires

8.4 Estimation de paramètres

8.4.1 Fonction de corrélation angulaire théorique

Courbe théorique du stacking

8.4.2 Spectres angulaires théoriques

8.4.3 Résultats

Quels paramètres ? Faire un tableau comparant stacking et méthode harmonique

Chapitre 9

Conclusions

9.1 Récapitulatif

9.2 Prospective

9.2.1 LSS

9.2.2 Euclid

9.2.3 SKA

9.2.4 WEAVE

9.2.5 Statistiques d'ordre supérieur

Annexe A

Appendix Title Here

Write your Appendix content here.