



THÈSE

En vue de l'obtention du DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par l'Université Toulouse 3 - Paul Sabatier

Cotutelle internationale : Universidad de Guanajuato

Présentée et soutenue par
Iris SANTIAGO BAUTISTA

Le 25 février 2020

**Étude des propriétés des galaxies dans les structures
filamentaires**

Ecole doctorale : **SDU2E - Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de
l'Espace**

Spécialité : **Astrophysique, Sciences de l'Espace, Planétologie**

Unité de recherche :

IRAP - Institut de Recherche en Astrophysique et Planetologie

Thèse dirigée par

Etienne POINTECOUTEAU et Cesar CARETTA

Jury

M. Gabriel PRATT, Rapporteur

M. Johan VAN HOREBEEK, Rapporteur

M. Laerte SODRE JUNIOR, Rapporteur

Mme Fatima ROBLES, Examinatrice

M. Etienne POINTECOUTEAU, Directeur de thèse

M. Cesar CARETTA, Co-directeur de thèse



Universidad de Guanajuato

Departamento de Astronomía

DCNyE

The environmental effects of the LSS:
characterization of the baryonic components

by

Iris Santiago-Bautista

a dissertation submitted in fulfilment
of the requirements for the degree of

Doctor of Philosophy

with specialization in astronomy

Supervised by:

Cesar Caretta

Etienne Pointecouteau

Hector Bravo-Alfaro

Guanajuato, Mexico

February, 2020

Abstract

The baryonic component of the Large Scale Structure (LSS) of the Universe is composed by concentrations of gas and galaxies forming groups, clusters, elongated filaments and widely spread sheets which probably underline the distribution of dark matter. Nevertheless, according to the current cosmological models, most of the baryonic material in the Universe has not yet been directly observed. Numerical simulations suggest that from one-half to two-thirds of all baryons may be located out of clusters of galaxies, pervading the structures between them.

The most concentrated structures, which we call systems of galaxies (i.e., groups and clusters) usually contain high density hot gas (1–10 keV) that cools radiatively, emits at X-rays wavelengths and interacts with the cosmic microwave background at millimeter wavelengths (Sunyaev Zel'dovich effect, SZ). For the less dense structures, filaments and sheets, the baryons are probably in moderately hot gas phase (0.01–1 keV), commonly named as warm hot intergalactic medium (WHIM). In this PhD Thesis, we study the environmental effects associated to the different components of the LSS. For the galaxy systems, we aim to characterize the intra cluster medium (ICM) through the analysis of the S-Z effect. We employ the ACT and Planck data to analyze the gas pressure profiles of a sample of low mass galaxy clusters. For the least dense structures, we assembled a sample of filament candidates composed by chains of clusters that are located inside superclusters of galaxies. We aim to probe the filament structure skeletons and characterize their components (galaxies, groups/clusters and gas).

Resumen

La componente bariónica de la estructura a gran escala del Universo está compuesta por concentraciones de gas y galaxias formando grupos, cúmulos, filamentos elongados y amplias paredes. Dichas estructuras probablemente reflejan la distribución de materia oscura en el Universo. Sin embargo, de acuerdo al modelo cosmológico actual, la mayor parte de la materia bariónica en el Universo no ha sido observada aún. No obstante, las simulaciones numéricas nos sugieren que entre la mitad y dos tercios de los bariones quizá se encuentran entre cúmulos de galaxias, poblando las estructuras que los conectan. Las estructuras más concentradas, generalizadas por nosotros como sistemas (i.e. grupos y cúmulos), usualmente contienen gas a altas densidades y temperaturas (1–10 keV) que se enfría radiativamente emitiendo fotones observables en rayos X e interactúa con la radiación cósmica de fondo por efecto Sunyaev–Zel’dovich (SZ) observado a longitudes de onda milimétricas. En las estructuras menos densas, los filamentos y paredes, los bariones se encuentran probablemente en un estado menos denso y a una temperatura moderada (0.01–1 keV). Este gas es comúnmente llamado medio intergaláctico templado. En esta Tesis de Doctorado estudiamos los efectos ambientales asociados a las diferentes componentes de la estructura a gran escala. En el caso de los sistemas nuestro objetivo es caracterizar el medio intracumular de cúmulos utilizando el efecto SZ. Para esto hacemos uso de observaciones de satélite Planck y del ACT (Atacama Cosmological Telescope) para analizar el perfil de presión del gas contenido para una muestra de cúmulos de baja masa. Por otro lado, para el estudio de las estructuras de baja densidad, los filamentos, construimos una muestra de candidatos a filamentos que consiste en cadenas de cúmulos dentro de supercúmulos de galaxias. Nuestro objetivo es probar la naturaleza filamentosa de estas estructuras así como caracterizar sus componentes (galaxias, cúmulos y gas).

Résumé

La composante baryonique de la structure à grande échelle de l'Univers est composée de concentration de gaz et de galaxies, donnant lieu à des groupes, à des amas, à des filaments allongés et à des murs étendus. Ces structures peuvent suivre la distribution de matière noire dans l'Univers. Néanmoins, selon le modèle cosmologique actuel, l'ensemble des matières baryoniques dans l'Univers n'a pas encore été observé. Cependant, les simulations numériques nous suggèrent qu'entre la moitié et deux tiers des parties des baryons sont localisées entre les amas de galaxies et peuplent les structures qui les relient. Les structures les plus concentrées, que nous appelons ici « des systèmes » (i.e. groupes et amas), ont généralement des gaz à haute concentration et une température élevée (1–10 keV). Cette température se refroidit en émettant des photons qui sont observables en rayons X. De plus les gaz interagissent avec les photons du fond diffuse cosmologique par l'effet Sunyaev–Zel'dovich (SZ), observable à longueur d'onde millimétrique. Dans les filaments et murs qui sont des structures moins denses, les baryons sont probablement dans un état moins dense et à une température modérée (0.01–1 keV). Ces gaz tièdes sont appelés WHIM (Warm Hot Intergalactic Medium). Pendant cette Thèse de doctorat nous étudions les effets environnementaux associés aux différents composants de la structure à grande échelle de l'Univers. Pour les systèmes, l'objectif est la caractérisation du milieu intra amas en utilisant l'effet SZ. Pour cela nous utilisons les observations du satellite Planck et de l'Atacama Cosmological Telescope (ACT) afin d'analyser les profils de pression pour un échantillon d'amas de faible masse. D'autre part, pour l'étude des structures à faible densité (structures filamenteuses). Nous avons construit un échantillon de candidats à filaments, cet échantillon se compose des chaînes d'amas reliées en une structure de super amas de galaxies. Notre objectif est de prouver leur nature filamentaire et de caractériser ses composants (galaxies, amas et gaz).

Contents

Abstract	i
Contents	iv
Introduction	1
1 A Cosmology context	4
1.1 The standard cosmological model	4
1.1.1 The establishment of the Λ CDM model	4
1.1.2 The fundamental parameters	5
1.1.3 Dynamics of a Universe in expansion	7
1.1.4 Distance measurements in the Universe	10
Comoving distance in the line of sight	10
Angular diameter distance and luminosity dis- tances	10
1.2 The Universe's thermal history	11
The Planck Era: $T \gtrsim 10^{32}$ K	11
The GUT Era: $T \sim 10^{32} - 10^{29}$ K	11
The particle Era: $T \sim 10^{15} - 10^9$ K	11
The primordial nucleosynthesis: $T \sim 10^{16}$ K	12
Photon decoupling and recombination: $T \sim 10^4$ K	12
The dark era and the formation of the first stars: $T \sim$ 15 K	12
1.3 The cosmic microwave background	13
1.3.1 CMB electromagnetic spectrum	13
1.3.2 CMB angular power spectra	13
1.4 The Large Scale Structure	15
1.4.1 Primordial overdensities and structure formation	15
1.4.2 Supercluster of galaxies	18
1.4.3 Galaxy clusters	18
The isothermal sphere	19
Sérsic profile	19
Beta profile	19
Navarro-Frenk and White cluster profile	20

1.4.3.1	The X-ray observations	21
1.4.4	Scaling relations	22
	The SZ effect observations	23
1.4.5	The dispersed component of superclusters and the filaments	25
1.5	The galaxies that populate the LSS	26
1.5.1	Galaxy morphological and spectral classification	27
1.5.2	Activity classification	27
1.5.3	Galaxies in clusters	28
2	Detection of large scale structures: GSyF & GFIF algorithms	31
2.1	Machine learning methods applied to astronomy	33
2.1.1	Density estimators	33
	VT density estimator	33
	Kernel density estimator	33
2.1.2	Hierarchical Cluster Analysis	34
2.1.3	Graph definition	36
2.1.4	Minimum Spanning Tree (MST)	36
2.1.5	Dijkstra's shortest path	37
2.2	Properties of systems	38
2.2.1	Coordinate transformation	38
2.2.2	Velocity projection effects	38
2.2.3	Virial mass and radius estimation	39
2.3	Galaxy System-Finding algorithm (GSyF)	40
2.3.1	Surface density baseline contrast	41
2.3.2	Grouping the galaxies using HC	42
2.3.3	Systems virial refinement	42
2.4	Galaxy Filament Skeleton-Finding Algorithm	43
2.4.1	Detection of low density regions	43
2.4.2	Chaining the filaments: GSyF + GFIF	44
2.5	Algorithm optimization for the SDSS	46
2.5.1	Mock maps modeling	46
2.5.2	Optimization of GSyF parameters	48
2.5.3	Optimization of GFIF parameters	49
2.5.4	Optimization results	51
2.6	Discussion and conclusions of the Chapter	52
3	Characterization of systems and filaments through optical galaxies	54
3.1	The filament candidates sample	54
3.1.1	The SDSS galaxies	55
3.1.2	The superclusters' boxes	58
3.2	Implementation of GSyF and GFIF algorithms	59
3.2.1	Application of GSyF to MSCC310	60
3.2.2	Application of GFIF to MSCC-310	63
3.3	Validation of the methods	66

3.3.1	Checking the identified systems of galaxies	66
3.3.2	Checking the filament skeletons	70
3.3.3	Comparison with KDE density maps	71
3.4	Filament Properties	72
3.4.1	Main properties of the filaments	72
3.4.2	Distribution of galaxies along the filaments	76
3.5	Transversal profiles	77
3.5.1	Density in transversal profiles	78
3.6	Properties of galaxies in filaments	81
3.6.1	Stellar mass profile	81
3.6.2	Morphological type	82
3.6.3	Activity type	84
3.6.4	Red sequence analysis	84
3.7	Conclusions	86
4	Characterization of galaxy clusters using SZ	89
4.1	The <i>Planck</i> and ACT sample and SZ data	90
4.1.1	The combined SZ map	90
4.1.2	The cluster sample	90
4.2	Reconstruction of the gas pressure profile	93
4.2.1	Reconstruction of the SZ profile	95
4.2.2	Stacking the y profiles	96
4.2.3	PSF correction and deprojection	96
4.2.4	Stacking pressure profiles	97
4.3	Validation of the PACT profiles	98
4.3.1	Extraction of profiles from Planck DR2015: from 10' to 7'	99
4.3.2	Extraction of profiles from Planck DR2015 7': improving the sampling	100
4.3.3	Samples and y -maps: from PLCK to PACT	101
4.4	PACT profiles	102
4.4.1	PACT31 y -profiles	102
4.4.2	Stacked pressure profiles	102
4.5	Conclusions and perspectives	105
	Conclusions and Perspectives	107
	Conclusiones y perspectivas	110
	Conclusions et perspectives	113
A	Algorithms	116
B	Filament properties	118