

ÉCOLE DOCTORALE 182
Observatoire Astronomique de Strasbourg

THÈSE présentée par :

Nicolas Deparis

soutenue le : XX Décembre 2017

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**

Discipline/ Spécialité : Astrophysique

TITRE de la thèse
[Sous titre éventuel]

THÈSE dirigée par :

[Civilité NOM Prénom]

Titre, université de Strasbourg

RAPPORTEURS :

[Civilité NOM Prénom]

Titre, établissement

[Civilité NOM Prénom]

Titre, établissement

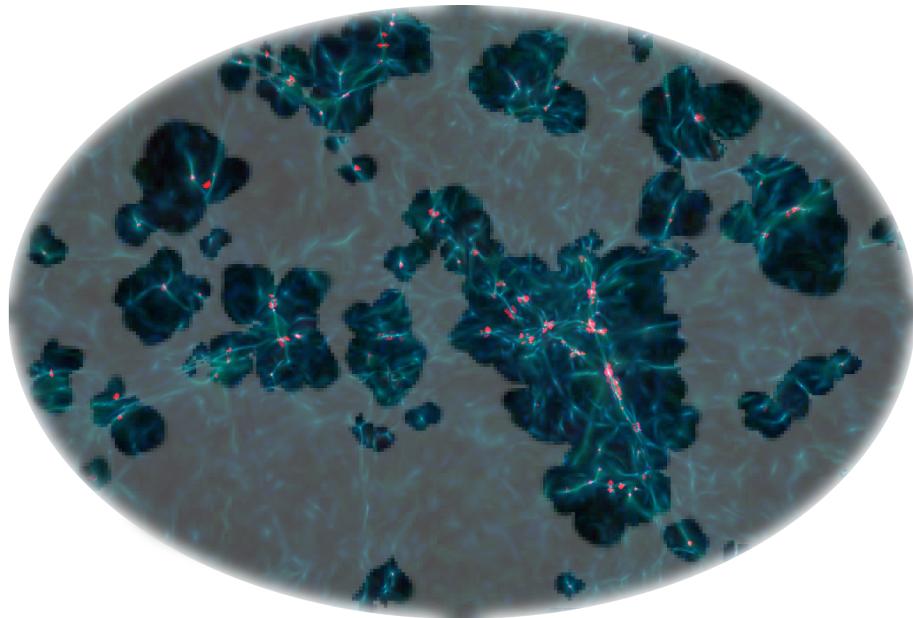
AUTRES MEMBRES DU JURY :

[Civilité NOM Prénom]

Titre, établissement

SIMULER L'ÉPOQUE DE REIONIZATION

NICOLAS DEPARIS



Application au groupe local
Decembre 2017 – version 4.2

Nicolas Deparis : *Simuler l'époque de reionization, Application au groupe local*, © Decembre 2017

Ohana means family.
Family means nobody gets left behind, or forgotten.
— Lilo & Stitch

Dedicated to the loving memory of Rudolf Miede.

1939 – 2005

RÉSUMÉ

C'est ici qu'il va falloir mettre le resumé

ABSTRACT

The abstract goes here

PUBLICATIONS

This might come in handy for PhD theses : some ideas and figures have appeared previously in the following publications :

Attention : This requires a separate run of `bibtex` for your `refsection`, e.g., `ClassicThesis1-blx` for this file. You might also use `biber` as the backend for `biblatex`. See also <http://tex.stackexchange.com/questions/128196/problem-with-refsection>.

*We have seen that computer programming is an art,
because it applies accumulated knowledge to the world,
because it requires skill and ingenuity, and especially
because it produces objects of beauty.*

— knuth:1974 [knuth:1974]

ACKNOWLEDGMENTS

Put your acknowledgments here.

Many thanks to everybody who already sent me a postcard!

Regarding the typography and other help, many thanks go to Marco Kuhlmann, Philipp Lehman, Lothar Schlesier, Jim Young, Lorenzo Pantieri and Enrico Gregorio¹, Jörg Sommer, Joachim Köstler, Daniel Gottschlag, Denis Aydin, Paride Legovini, Steffen Prochnow, Nicolas Repp, Hinrich Harms, Roland Winkler, Jörg Weber, Henri Menke, Claus Lahiri, Clemens Niederberger, Stefano Bragaglia, Jörn Hees, and the whole L^AT_EX-community for support, ideas and some great software.

Regarding LyX : The LyX port was intially done by Nicholas Mariette in March 2009 and continued by Ivo Pletikosić in 2011. Thank you very much for your work and for the contributions to the original style.

¹ Members of GuIT (Gruppo Italiano Utilizzatori di T_EX e L^AT_EX)

TABLE DES MATIÈRES

I CONTEXTE	1
1 INTRODUCTION AU MODÈLE PHYSIQUE	3
1.1 Les piliers	3
1.2 observation -> Hubble	3
1.3 théorie - lCDM	4
1.4 observation -> le CMB	4
1.5 Théorie-> le CMB et le contenu de l'univers	4
1.5.1 Energie noire	5
1.5.2 Matière noire	5
1.5.3 Baryon	6
1.5.4 Radiation	6
1.5.5 bilan	6
1.6 Observation -> la reionization	6
1.7 Théorie -> La reionization	7
1.7.1 les principales question en suspend de l'étude de la réionisation	7
2 INTRODUCTION AU MODÈLE NUMÉRIQUE	9
2.1 Les différents types de codes	9
2.2 Gestion de la grille	9
2.3 Système d'unités supercomobiles	9
2.4 génération des conditions initiales	9
2.5 Théorie des perturbation linéaire	9
2.6 solveur de gravité	10
2.7 Baryon	10
2.8 La chimie	10
2.9 radiation	10
2.10 gestion du pas de temps	10
2.11 Matériel et parallélisme	10
2.12 Les machines utilisées	10
2.13 Gestion des entrées sortie	10
2.14 Potentiel d'optimisation EMMA	10
II LES ÉTOILES	11
3 LES ETOILES	13
3.1 La formation stellaire	13
3.2 La vie radiative	13
3.3 le problème de la masse des étoiles	13
3.4 Les supernovae	13
III LES CARTES DE REIONIZATIONS	15
BIBLIOGRAPHIE	17

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1	Hubble Ultra Deep Field 2014. Image NASA	4
FIGURE 2	Spectre thermique du CMB vue par le satellite Cosmic Background Explorer (COBE). Image Wikipédia	5
FIGURE 3	Les fluctuation du CMB vues par le satellite Planck. Image ESA	5
FIGURE 4	Spectre de puissance des fluctuation du CMB. Image ESA	6

LISTE DES TABLEAUX

LISTINGS

ACRONYMS

Première partie

CONTEXTE

INTRODUCTION AU MODÈLE PHYSIQUE

1.1 LES PILIERS

L'intégralité de l'astrophysique repose sur 3 piliers :

1. L'observation
2. La théorie
3. La simulation

lien avec la méthode scientifique de manière générale. observation, modélisation et test de la théorie or en astro on ne peut pas tester directement donc on simule.

L'observation est le premier de ces pilier. Il est le plus ancien et celui sur lequel repose le plus de poids. L'Homme a toujours regardé le ciel. De plus il est commun a toute les disciplines scientifique. Il n'est pas de science possible sans observation. La principale difficulté ici, est que le point de vue que nous avons sur l'Univers est unique. Il nous est impossible de le regarder sous un autre angle.

Vient ensuite la théorie. Lorsque l'on voit ces lumière sur la voute celeste, nous sommes obligé de nous poser la question essentielle de leur provenance. Cette question mène a l'élaboration de diverse formulation tentant d'expliquer comment (et pourquoi) le ciel s'illumine la nuit. Dans le cadre de l'étude de l'univers dans sont ensemble, cette théorie est nommée cosmologie et repose sur des concept mathématiques complexes Il nous est impossible de d'effectuer des expériences sur l'univers, notre porté d'interaction est bien trop réduite.

Enfin, le dernier pilier : la simulation. Pilier le plus récent il est sensé palier au problème des deux autres : l'impossibilité de changer de point de vue ou de tester les théories élaborées. Ici sous entendue la simulation numérique, il est beaucoup plus récente et dépend grandement de la technologie. C'est celui vers lequel j'ai choisis de me diriger.

1.2 OBSERVATION -> HUBBLE

découverte des galaxies
découverte de l'expansion de l'univers

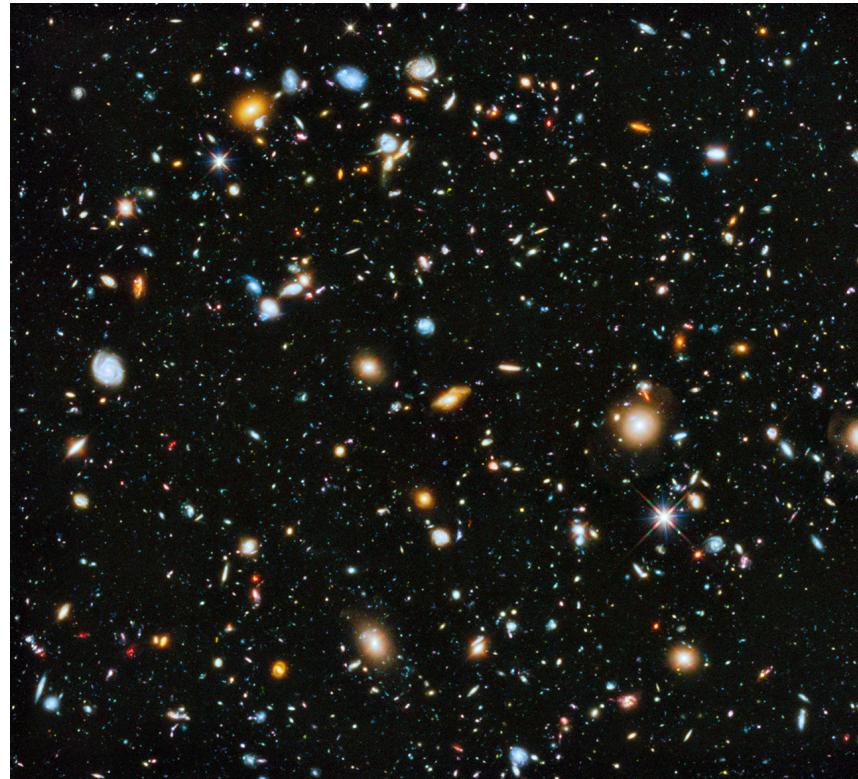


FIGURE 1 : Hubble Ultra Deep Field 2014. Image NASA

1.3 THÉORIE - LCDM

- le big bang
- l'inflation
- la nucléosynthèse
- le CMB
- la reionization

1.4 OBSERVATION -> LE CMB

- Penzias et Wilson
- Corps noir parfait
- surface de dernière diffusion
- spectre de puissance

1.5 THÉORIE-> LE CMB ET LE CONTENU DE L'UNIVERS

Pour simuler l'univers, on a besoin de savoir ce qu'il contient. A partir du spectre de puissance, on peut déterminer les différentes composantes de l'univers (paramètres cosmologique).

univers infini, homogène, isotrope

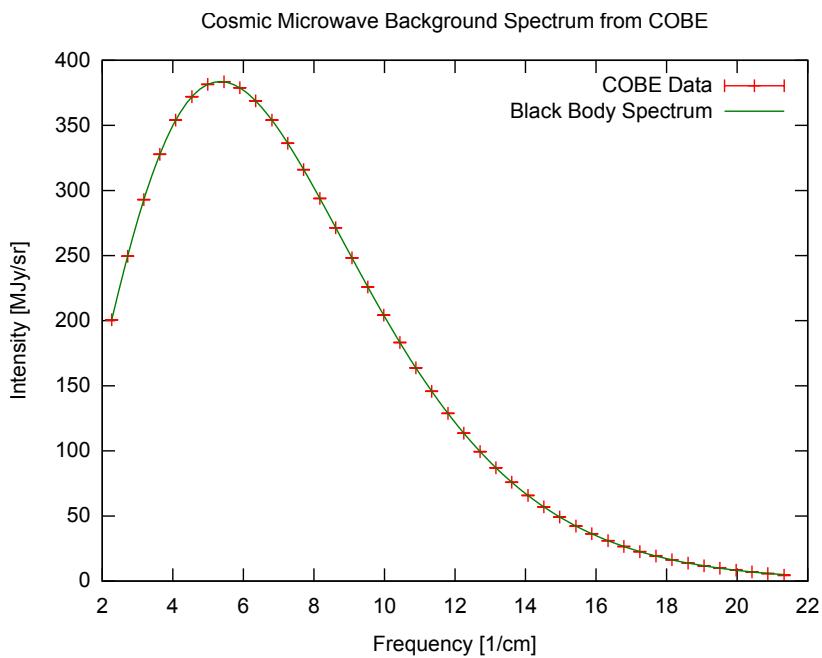


FIGURE 2 : Spectre thermique du CMB vue par le satellite Cosmic Background Explorer (COBE). Image Wikipédia

1.5.1 Energie noire

echelle gigaparsec Facteur d'expansion

1.5.2 Matière noire

echelle mega parsec gouverne la gravité non collisionnelle

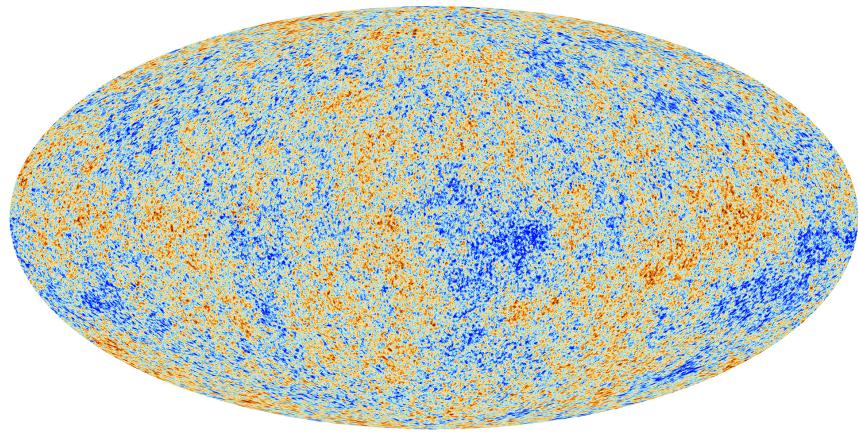


FIGURE 3 : Les fluctuations du CMB vues par le satellite Planck. Image ESA

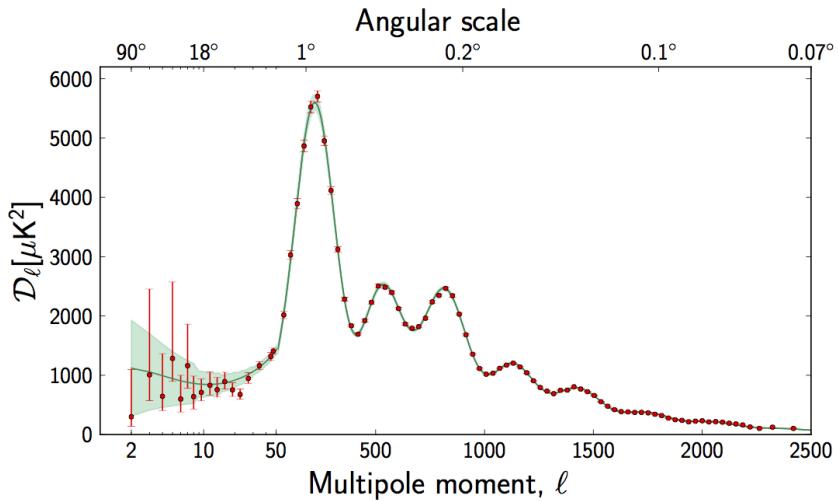


FIGURE 4 : Spectre de puissance des fluctuation du CMB. Image ESA

1.5.3 *Baryon*

échelle kilo parsec collisionnelle interagit avec la radiation La matière visible

1.5.4 *Radiation*

quasiment notre seul source d'information sur l'univers (plus vrai depuis les ondes gravitationnelles) essentielle pour la reionization seulement $E > 13.6$ eV

1.5.5 *bilan*

plot en camembert avec les différents constituants

1.6 OBSERVATION -> LA REIONIZATION

le manque d'observations

la difficulté des observations

les futures observations

Quelles sont les preuves de la réionisation ?

spectre de quasar

polarisation du CMB

ligne 21 cm

fonction de luminosité UV

Epaisseur optique lyman alpha

Epaisseur optique Thomson

1.7 THÉORIE -> LA REIONIZATION

réionisation et non rayonnisation !

Qu'est ce que c'est ?

fin des âges sombres apparition des première sources de rayonnement
Pourquoi étudier la réionisation

Dernier processus impactant l'ensemble de l'univers. Importance pour le "missing satellite problem"

1.7.1 *les principales question en suspend de l'étude de la réionisation*

quand est ce arrivé ? quelles sont les sources ? -> débat galaxies vs quasars outlier dans l'épaisseur optique des quasars Le groupe local ?

2

INTRODUCTION AU MODÈLE NUMÉRIQUE

Les échelles de temps sont radicalement opposées entre la cosmologie qui considère les temps les plus longs de l'univers et les progrès informatiques qui vont à une vitesse exponentielle. Il faut considérer les simulations comme éphémères.

Comment modéliser la réionisation ?

2.1 LES DIFFÉRENTS TYPES DE CODES

(introduction aux différentes représentations (particules/grille) nécessaire pour la suite)

historique avantage inconvénient AMR vs SPH introduction de la grille et de la méthode AMR

2.2 GESTION DE LA GRILLE

(nécessaire d'être positionné ici car la structure en arbre conditionne plusieurs choix par la suite)

Oct tree gestion du raffinement cell linked list Energie noire

2.3 SYSTÈME D'UNITÉS SUPERCOMBINES

le pas de temps Matière noire

2.4 GÉNÉRATION DES CONDITIONS INITIALES

méthode gaussian random noise théorie des perturbation linéaire lien avec le spectre de puissance MUSIC et GRAPHIC limite la résolution min et max (min en masse et max en espace)

une simulation est limitée par sa taille et sa résolution -> ceci définit la plage d'échelle que l'on peut simuler

principes de bases énoncés dans Pen (1997) and Bertschinger (2001).

discrétisation de l'espace placement des particules sur la grille génération d'un bruit blanc convolution avec un spectre de puissance connu (celui du CMB)

2.5 THÉORIE DES PERTURBATION LINÉAIRE

approximation de Zeldovich perte de linéarité à un certain moment -> nécessité des simulations numériques

2.6 SOLVEUR DE GRAVITÉ

l'équation de Poisson les différentes méthodes pour la résoudre Méthode jacobi méthode multi grille le pas de temps

2.7 BARYON

système d'équations a résoudres solveur hydro partie la plus intensive en calcul le pas de temps

2.8 LA CHIMIE

gestion du refroidissement

2.9 RADIATION

système d'équations a résoudres la méthode M1 aton le cooling le pas de temps la mise en place du multi longueur d'onde

2.10 GESTION DU PAS DE TEMPS

condition de courant cosmo part freefall hydro radiatif

2.11 MATÉRIEL ET PARALLÉLISME

l'évolution du matériel MPI et courbe de hilbert CUDA et GPU

2.12 LES MACHINES UTILISÉES

le meso centre de l'UDS Curie Titan Occigen

2.13 GESTION DES ENTRÉES SORTIE

le feedback CODA grosse quantité de données analyse a distance conception d'une organisation des données séparation des champs structure imposé par la gestion de l'AMR utilisation de hdf5 écriture parallèle

2.14 POTENTIEL D'OPTIMISATION EMMA

la forme des gathers/scatter optimisation matérielle -> les prochaines générations de GPU Opérations coarse sur grille non AMR. reformage de l'arbre et découplage de la physique

Deuxième partie

LES ÉTOILES

3

LES ETOILES

lien entre les différents solveurs en fonction du stade évolutif

3.1 LA FORMATION STELLAIRE

loi de schmidt-kennicut tirage aléatoire

3.2 LA VIE RADIATIVE

injection d'énergie dans le solveur radiatif, ok mais combien ? calibration energetique et Starburst99

3.3 LE PROBLÈME DE LA MASSE DES ÉTOILES

le paramètre de masse des étoiles change la reionization effet numérique le rayonnement est piégé dans les cellules

3.4 LES SUPERNOVAE

Implémentation Test numérique (Sedov) Papier Feedback

Troisième partie
LES CARTES DE REIONIZATIONS

DECLARATION

Put your declaration here.

Strasbourg, Décembre 2017

Nicolas Deparis

COLOPHON

This document was typeset using the typographical look-and-feel `classicthesis` developed by André Miede. The style was inspired by Robert Bringhurst's seminal book on typography "*The Elements of Typographic Style*". `classicthesis` is available for both L^AT_EX and LyX :

<https://bitbucket.org/amiede/classicthesis/>

Happy users of `classicthesis` usually send a real postcard to the author, a collection of postcards received so far is featured here :

<http://postcards.miede.de/>

Résumé

Insérer votre résumé en français suivi des mots-clés

1000 caractères maximum

Résumé en anglais

Insérer votre résumé en anglais suivi des mots-clés