

*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

[Civilité NOM Prénom]

Titre, établissement

[Civilité NOM Prénom]

Titre, établissement

[Civilité NOM Prénom]

Titre, établissement

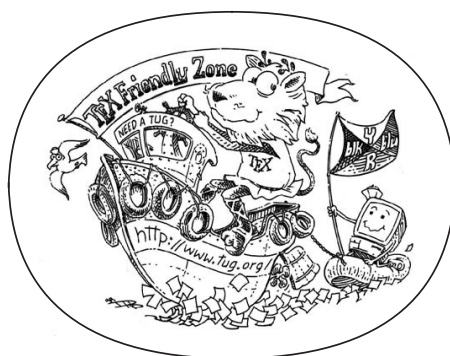
[Civilité NOM Prénom]

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 résumé

## 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-b1x` for this file. You might also use biber as the backend for biblalex. 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 Gregorio<sup>1</sup>, 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<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X-community for support, ideas and some great software.

*Regarding L<sub>Y</sub>X* : The L<sub>Y</sub>X port was initially 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.

---

<sup>1</sup> Members of GuIT (Gruppo Italiano Utilizzatori di T<sub>E</sub>X e L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X)



## TABLE DES MATIÈRES

---

## TABLE DES FIGURES

---

## LISTE DES TABLEAUX

---

## LISTINGS

---

## ACRONYMS

---

## PREFACE

---

*Une civilisation sans la science  
c'est aussi absurde qu'un poisson sans bicyclette.*

— **Desproges [Desproges]**

la révolution industrielle migration vers les villes (50déconnexion de la terre a cause du béton déconnexion du ciel a cause des éclairages publique bilan plutôt pessimiste étudier l'astrophysique est essentiel pour que l'Homme reste humble et considère sa place dans l'univers pour ne pas courir à sa perte.

Citation de l'astronaute qui aimerai amener plus de politicien dans l'espace pour qu'ils se rendent compte de l'absurdité de certaine décisions.





Première partie

## INTRODUCTION



## INTRODUCTION AU MODÈLE PHYSIQUE

---

les 3 piliers de l'astrophysique :

1. observation
2. théorie
3. simulation

l'observation et la théorie sont les plus anciens piliers, les hommes ont toujours regardé le ciel, et ont toujours essayé de comprendre ce qu'ils observaient. La simulation est beaucoup plus récente et dépend grandement de la technologie.

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.

OBSERVATION -> HUBBLE

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

THÉORIE - LCDM

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

OBSERVATION -> LE CMB

Penzias et Willson Corps noir parfait surface de dernière diffusion spectre de puissance

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 cosmologiques).

univers infini, homogène, isotrope

*Energie noire*

échelle gigaparsec Facteur d'expansion

### *Matière noire*

echelle mega parsec gouverne la gravité non collisionnelle

### *Baryon*

echelle kilo parsec collisionnelle interagit avec la radiation La matière visible

### *Radiation*

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

### *bilan*

plot en camembert avec les différents constituants

## 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

## THÉORIE -> LA REIONIZATION

réionisation et non rayonnisation !

Qu'est ce que c'est ?

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

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

### *les principales questions en suspens 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 ?

## INTRODUCTION AU MODÈLE NUMÉRIQUE

---

Les échelles de temps sont radicalement opposées entre la cosmo qui considère les temps les plus long de l'univers et les progrès informatiques qui vont à une vitesse exponentielle. il faut considérer les simulations comme éphémère.

Comment modéliser la reionization ?

### LES DIFFÉRENTS TYPES DE CODES

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

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

### 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

### SYSTÈME D'UNITÉS SUPERCOMOBILES

le pas de temps Matière noire

### 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) théorie des perturbation linéaire

### APPROXIMATION DE ZELDOVICH

perte de linéarité à un certain moment -> nécessité des simulations numériques solveur de gravité

### L'ÉQUATION DE POISSON

les différentes méthodes pour la résoudre Méthode jacobi méthode multi grille le pas de temps

## BARYON

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

## LA CHIMIE

gestion du refroidissement

## RADIATION

système d'équations à résoudre la méthode M1 avec le cooling le pas de temps la mise en place du multi longueur d'onde

## GESTION DU PAS DE TEMPS

condition de courant cosmo part freefall hydro radiatif

## MATÉRIEL ET PARALLÉLISME

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

## LES MACHINES UTILISÉES

le meso centre de l'UDS Curie Titan Occigen

## GESTION DES ENTRÉES SORTIE

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

## POTENTIEL D'OPTIMISATION EMMA

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

Deuxième partie

THE SHOWCASE





## LES ÉTOILES

---

lien entre les différents solveurs en fonction du stade évolutif

### LA FORMATION STELLAIRE

loi de schmidt-kennicutt tirage aléatoire

### LA VIE RADIATIVE

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

### 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

### LES SUPERNOVAE

Implémentation Test numérique (Sedov) Papier Feedback



## DECLARATION

---

Put your declaration here.

*Strasbourg, Decembre 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<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X and L<sup>Y</sup>X :

<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