

Structuration de l'Univers – Fédération de Physique André Marie Ampère – Projet Blanc

Collaboration CRAL – IPNL

Coordinateur: Thomas Buchert

Introduction

Nous proposons une évolution de la thématique « Énergie et Matière Noires » de la collaboration entre le CRAL et l'IPNL avec un autre sujet, qui par la suite mènera à une compréhension alternative de cette thématique : la description de la structuration de l'Univers à l'aide des techniques analytiques innovantes et à l'aide d'une nouvelle stratégie de simulations numériques. Un soutien accordé à la collaboration CRAL-IPNL cette année permettrait de conforter la préparation de deux demandes à l'ANR, l'une portant sur les aspects théoriques, l'autre sur des développements d'instrumentation.

Depuis une dizaine d'années, la découverte de l'accélération de l'expansion universelle par l'observation des supernovae de type Ia lointaines a radicalement changé notre vision des propriétés de l'Univers. De nouvelles voies de recherche se sont alors ouvertes en cosmologie observationnelle et théorique. Le CRAL et l'IPNL se sont associés dès 2001 pour participer à la mise en place d'un grand relevé de spectres de SN Ia proches, et ils ont une activité d'étude des détecteurs infrarouge depuis 2006 afin de participer au projet EUCLID. Ces deux laboratoires mènent aussi des développements théoriques originaux en vue d'élucider l'origine de l'accélération observée, et ils disposent de technologies numériques innovantes et d'équipements de calcul et de stockage communs.

La collaboration entre les deux instituts porte une axe importante dans le LIO. Il prend progressivement de l'ampleur, 35 chercheurs, techniciens et étudiants du CRAL et de l'IPNL étant maintenant impliqués dans la présente demande. Chacune de ces recherches étant menée au sein de consortiums impliquant des instituts nationaux et internationaux, le but de cette demande est de permettre aux équipes concernées dans les deux laboratoires de financer leurs déplacements et leurs besoins en matériel.

Support estimé :

Pour les déplacements des chercheurs, leurs besoins en matériel (partie principale), déplacements et participations aux écoles et conférences des étudiants, et invitations des chercheurs internationaux, nous estimons un support de:

[36 000 Euros.](#)

Répartition préliminaire:

- Partie I, Théorie : 6000 Euros - missions, invitations, matériel informatique
- Partie II, Expérimentale : 10000 Euros - matériel technique
- Partie III, Simulations : 20000 Euros - matériel informatique

Signatures :

Bruno Guiderdoni
(Directeur C R A L)

Guy Chanfray
(Directeur I P N L)

Structuration de l'Univers – une nouvelle piste: modèles perturbatifs et non-perturbatifs en RG

Partie I: Théorie

État de l'Art de la Recherche Internationale et Positionnement du projet :

La description de la structuration de l'Univers est basée sur des simulations et des modèles analytiques dans le cadre de la théorie de la gravitation de Newton, où l'évolution des structures est vue sur un fond homogène et isotrope (le modèle standard de la cosmologie). Les deux problèmes fondamentaux d'une telle description restent les énigmes de la *Matière Noire* et de l'*Énergie Noire* qui émergent dans ces modèles.

Un nouveau champ de recherche, récemment mise en valeur par un nombre croissant de chercheurs internationaux cherche à comprendre et résoudre ces problèmes sur la base d'une description plus réaliste, reposant sur la relativité générale (RG), sans invoquer de nouvelles sources dans le tenseur énergie-impulsion. Cette voie remet en cause les hypothèses du modèle cosmologique standard, en particulier la conjecture que les propriétés moyennes de l'Univers peuvent être décrites par le modèle standard de la cosmologie.

Dans le dernier projet (voir la demande 2010 et les publications résultantes ci-dessous) nous avons exploré deux points de vue différents sur l'*Énergie Noire* et la *Matière Noire*, que l'on peut voir comme (a) un champ fondamental et/ou (b) comme un champ effectif modélisé (au moins en partie) par des effets de « contre-réaction » (effets des inhomogénéités).

Nous proposons ici une nouvelle piste de recherche avec un projet ambitieux et innovant sur la structuration de l'Univers: Le but final de ce projet est la quantification de l'énergie noire prédite par des modèles non-perturbatifs de structuration, ce qui relie les thématiques du CRAL et de l'IPNL.

Résultats du Projet supporté par la Fédération en 2010

Objectif du Projet 2010: Des champs scalaires comme langage commun pour deux interprétations de différentes natures, et leurs conséquences.

Publications des résultats supportés par la Fédération:

(a) Champ Effectif en RG

[E1] Buchert T., Obadia N., Roy X.: *Effective inhomogeneous cosmologies and emerging scalar fields. New Directions in Modern Cosmology, Leiden* (2010). [arXiv:1012.3083](https://arxiv.org/abs/1012.3083)

[E2] Wiegand A., Buchert T.: *Multiscale approach to inhomogeneous cosmologies. New Directions in Modern Cosmology, Leiden* (2010). [arXiv:1103.1531](https://arxiv.org/abs/1103.1531)

[E3] Buchert T., Obadia N.: *Effective inhomogeneous inflation : curvature inhomogeneities of the Einstein vacuum. Class. Quant. Grav. FTC 28, 162002* (2011). [arXiv:1010.4512](https://arxiv.org/abs/1010.4512)

[E4] Roy X., Buchert T., Carloni S., Obadia N.: *Global gravitational instability of FLRW backgrounds - Interpreting the dark sectors. Class. Quant. Grav. 28, 165004* (2011). [arXiv:1103.1146](https://arxiv.org/abs/1103.1146)

[E5] Buchert T.: *Towards Physical Cosmology: Geometrical interpretation of Dark Energy, Dark Matter and Inflation without fundamental sources. (Invited Lecture), Mexico City 2010, Universidad Iberoamericana Ciudad de Mexico* (2011). [arXiv:1012.3084](https://arxiv.org/abs/1012.3084)

[E6] Buchert T.: *Toward Physical Cosmology: focus on inhomogeneous geometry and its non-perturbative effects. (Invited review for a focus section on Inhomogeneous Cosmology and Averaging in Cosmology), Class. Quant. Grav. 28, 164007* (2011). [arXiv:1103.2016](https://arxiv.org/abs/1103.2016)

(b) Champ Fondamental en RG et en Gravitation Alternative

[F1] Arbey A., Mahmoudi F.: *LHC and ILC Data and the Early Universe Properties*, Nuovo Cim. C33, 151 (2010). [arXiv:1002.4096](#)

[F2] Mahmoudi F. et al.: *Flavour Les Houches Accord: Interfacing Flavour related Codes*, submitted to Comput. Phys. Commun. (2010). [arXiv:1008.0762](#)

[F3] Arbey A., Deandrea A., Tarhini A.: *Anomaly mediated SUSY breaking scenarios in the light of cosmology and in the dark (matter)*, JHEP 1105, 078 (2011). [arXiv:1103.3244](#)

[F4] Arbey A., Mahmoudi F.: *SuperIso Relic v3.0: A program for calculating relic density and flavour physics observables: Extension to NMSSM*, Comput. Phys. Commun. 182, 1582 (2011). [arXiv:0906.0369](#)

[F5] Arbey A.: *AlterBBN: A program for calculating the BBN abundances of the elements in alternative cosmologies*, submitted to Comput. Phys. Commun. (2011). [arXiv:1106.1363](#)

[F6] Cacciapaglia G., Deandrea A., Llodra-Perez J.: *A Dark Matter candidate from Lorentz Invariance in 6D*, JHEP 1003:083 (2010). [arXiv:0907.4993](#)

Objectif du Projet 2011: une nouvelle piste --- développement des modèles perturbatifs et non-perturbatifs en cosmologie relativiste

Le projet se concentre d'abord sur le développement des modèles perturbatifs de type lagrangien en RG, qui ont été développés et bien testés avec des simulations numériques dans le cadre newtonien.

Ces schémas perturbatifs, décrivant l'évolution non-linéaire des structures cosmiques, sur un fond friedmannien (le modèle standard de la cosmologie), sont ensuite couplés à un fond général, qui décrit la moyenne des structures. L'évolution des structures est alors non-perturbative, car le fond n'est pas fixé, mais il évolue en fonction de la formation des structures. Ce schéma de calcul n'a pas encore été proposé dans la littérature, et nous tentons de vérifier si les composantes noires peuvent être issues d'une interprétation erronée dans l'approximation d'un fond friedmannien. Nous pouvons quantifier pour la première fois les déviations entre l'évolution d'un fond friedmannien et l'évolution d'un fond physique, ce qui ouvre des nouvelles possibilités et stratégies d'observations. Par exemple, l'accélération apparente de l'Univers, qui – en dehors des observations de supernovae – n'est pas confirmée directement par des indications observationnelles indépendantes, mais indirectement par la convergence des mesures SN, BAO, Amas de Galaxies, et CMB, dépend directement du modèle qu'on utilise pour le fond. Dans le cadre des nouveaux modèles, le travail proposé permet d'évaluer quantitativement l'effet supplémentaire due au fond non-friedmannien. Nous pourrons ensuite répondre à la question de la nécessité d'une composante énergie noire. Le projet proposé s'appuie sur les résultats d'un stage de M2 (A. Alles) et des deux thèses (X. Roy, M. Ostermann).

Stratégie et Calendrier des travaux

1. finalisation et publication du schéma perturbatif relativiste sur un fond friedmannien (basé sur des résultats d'un stage M2 (A. Alles, CRALyon) et les résultats d'une thèse - article en préparation (thèse de Matthias Ostermann, Munich).
2. publication des nouvelles équations pour la formulation des perturbations sur un fond général (interaction des structures avec le fond) vers fin novembre (résultat de la thèse de X. Roy, CRALyon).
3. la suite : combinaison du schéma perturbatif (1.) avec les équations (2.).
4. Préparation d'une demande à l'ANR.

Nous attendons qu'en relation avec les problèmes des composantes noires, on aura un progrès significatif sur l'interprétation de la composante énergie noire. Ce projet est mené par T.

Buchert (CRAL). Pour la composante matière noire, nous conduisons en parallèle un projet de modélisation en physique des particules de la matière noire en termes d'une particule neutre et stable de type WIMP avec une explication en termes de symétries fondamentales pour la stabilité de matière noire, mené par A. Deandrea (IPNL). En particulier des modèles avec dimensions supplémentaires avec une symétrie de Lorentz partiellement brisée par la compactification des dimensions supplémentaires peuvent donner une parité résiduelle capable d'expliquer la stabilité de la matière noire. Nous avons commencé à explorer un tel scénario avec un modèle simplifié en présence des contraintes de physique des particules (collisionneur, physique de la saveur et basse énergie) et aussi en fonction des contraintes cosmologiques dans le scénario standard et dans des cosmologies non-standard. Sur la base de ces résultats, nous allons proposer des modèles plus réalistes en prenant aussi en compte la gravité et les effets sur l'énergie noire.

Perspectives du Projet

Le projet présenté est conduit en préparation d'une proposition à l'ANR sur *l'Énergie Noire* et la *Matière Noire*, en collaboration entre le CRAL et l'IPNL, avec le LUTH Meudon, l'IAP Paris, le LAM et le CPT Marseille, ainsi que plusieurs institutions internationales (Université de Genève, Université de Pavie, Université de Cape Town, Université de Munich, Université de Bielefeld, Université et TITECH Tokio, Université de Princeton).

En dehors des aspects fondamentaux sur les cosmologies inhomogènes, de la construction des « modèles de métrique » pour permettre de comparer les nouveaux modèles aux observations (CMB, BAO, Supernovae), et d'autres sujets de recherche reliés, le projet proposé sera incorporé comme un axe principal couvrant aussi les interactions avec la physique des particules. Une application immédiate des nouveaux modèles est prévue pour 2012 qui mènera à une construction des catalogues « fictifs » pour le SDSS, comparés en parallèle avec une analyse morphologique du catalogue (collaboration SDSS avec des chercheurs à Princeton et Tokyo).

Le test observationnel principal de ces nouveaux modèles non-perturbatifs sera possible avec le satellite EUCLID, un projet à la préparation duquel nos équipes participent aussi; voir la partie II de cette demande.

Les modèles ainsi construits mènent aux conditions initiales pour des simulations en RG, qui utiliseront les techniques newtoniennes et les équipements informatique; voir la partie III de cette demande.

La demande de soutien auprès de la Fédération

Pour assurer un bon équipement (ordinateur et software *REDUCE* pour A. Alles) et des disques durs pour les données, l'estimation est de 4,5 ke. Pour des missions et des invitations, l'estimation est de 1,5 ke, ce qui fait un total pour la demande du projet de: **6ke**

Participants au Projet

Dans les instituts Lyonnais, les personnels suivants sont impliqués :

- CRAL-Observatoire de Lyon: T. Buchert (PR), F. Steiner (PR h.st.), M. France (Technicien), X. Roy (Thésitif), A. Alles (Thésitif à partir d'Octobre 2011).
- CRAL-ENS: N. Obadia (AGPR).
- CRAL-IPNL: A. Arbey (MCF).
- IPNL: A. Deandrea (PR), S. Davidson (DR), A. Tarhini (Thésitif).

Les collaborateurs externes qui sont directement impliqués :

- A. Wiegand (Thésitif, co-tutelle) - CRAL-Observatoire et Université de Bielefeld.
- J.-M. Alimi (DR) et P.-S. Corasaniti (CR) - LUTH, Observatoire de Meudon.
- M. Kerscher (chercheur permanent) - Université de Munich.
- M. Kunz (chercheur permanent) - Université de Genève.

Structuration de l'Univers – le projet EUCLID

Partie II: Expérimentale

Contexte scientifique: le projet EUCLID

Le groupe Supernovae a une activité d'étude des détecteurs infrarouge depuis 2006, et le laboratoire a acquis une expertise dans la lecture de ces détecteurs, leur étalonnage, et la mise au point d'algorithmes minimisant le bruit final. Initialement ancrée dans le projet de mesures cosmologiques du satellite SNAP, projet US maintenant abandonné, cette activité est désormais incorporée aux développements technologiques liés au projet européen EUCLID. Ce projet de satellite, destiné à la mesure des lentilles gravitationnelles faibles et de l'oscillation baryonique (BAO) prévoit en effet un plan focal Infrarouge (NISP = Near Infrared Spectrograph). Une collaboration est nouée avec le CPPM (Marseille) pour élaborer les spécifications et préparer la caractérisation des détecteurs prévus. Pour apporter une contrainte significative à la compréhension des paramètres cosmologiques (distribution de la matière baryonique, mesure précise de l'accélération de l'expansion à grande échelle), l'instrument proposé est à la limite des possibilités des détecteurs infrarouges actuels. Les paramètres clefs sont :

- L'efficacité quantique des détecteurs,
- leur bruit intrinsèque,
- les courants de fuite.

L'analyse scientifique des lentilles faibles suppose une compréhension approfondie de la réponse ponctuelle du télescope. Au contraire, l'analyse de la distribution des distances entre les galaxies (oscillations baryoniques) repose sur la maîtrise du comportement des détecteurs. L'IPNL a déjà joué un rôle actif dans le choix des paramètres environnementaux (la température, et la longueur d'onde de coupure) conditionnant leur bon fonctionnement. Le rôle prévu de l'IPNL dans le projet concernerait en particulier la caractérisation des détecteurs pixels de Teledyne ($4K \times 4K$, $\lambda = 2.1$ à $2.5 \mu m$, pixels de $18 \times 18 (\mu m)^2$).

Contexte technologique: détecteurs européens

Le CNES (Centre National d'Études Spatial) souhaite d'autre part stimuler la production de détecteurs performants dans le domaine du proche infrarouge ($\lambda < 2.5 \mu m$) par l'industrie française, et nous a demandé d'évaluer les détecteurs produits par la société SOFRADIR en réponse à un appel d'offre de Recherche Technique (Contrat 115030/00). Le budget alloué par le CNES ne couvre qu'une partie des mesures que nous souhaitons effectuer : homogénéité, bruit, étalonnage de la chaîne de mesure.

La demande de soutien auprès de la Fédération

1) ASIC de lecture : tests complémentaires

Après les publications antérieures [1,2] portant sur l'étude des détecteurs H2RG avec un système de lecture élaboré à l'IPNL, nous analysons la réponse d'un ASIC SIDECAR. Des

tests complémentaires sont nécessaires pour aboutir à une publication: adaptation du cryostat, élaboration d'une interface adaptée: **3ke**

2) Préparation des tests de caractérisation

Les mesures cosmologiques actuelles impliquent des étalonnages de l'efficacité à des précisions meilleures que 1%. Des tests préliminaires sont nécessaires dans l'attente des financements CNES pour préparer la méthodologie de caractérisation.

Plusieurs effets fins doivent être considérés :

- Probabilité de créer deux électrons par photon,
- carte de réponse intrapixel,
- effets angulaires interférentiels.
- alimentations de LED de haute stabilité, matrice de photodiodes (uniformité), dispositifs d'éclairage. Nous évaluons le financement de ces tests préliminaires à: **4ke**

3) Tests SOFRADIR

Nous devons compléter le système d'acquisition nécessaire à l'évaluation des détecteurs SOFRADIR, le soutien financier du CNES s'étant avéré insuffisant. La demande est de **3ke**

Total de la demande InfraRouge : **10ke**

Participants au projet

La collaboration SNfactory II comprend les instituts suivants :

- En France: Centre de Recherche Astrophysique de Lyon, Institut de Physique Nucléaire de Lyon, Centre de Physique des Particules de Marseille et Laboratoire de Physique Nucléaire et des Hautes Energies.
- Aux États-Unis: Lawrence Berkeley National Laboratory et Yale University.
- En Chine: Tsinghua Center for Astrophysics.
- En Allemagne: Max Planck Institute for Astrophysics (Garching) et le Physikalisches Institut (Bonn).

Dans les instituts Lyonnais, les personnels suivants sont ou seront impliqués :

- IPNL: Y. Copin (MdC), G. Smadja (PE), C. Buton (ATER), N. Chotard (Doctorant), E. Gangler (CR), A. Castera (Ingénieur), C. Girerd (Ingénieur), F. Charlieux (Ingénieur), D. Ducimetière (Technicien).
- CRAL: E. Pécontal (Astr. Adjoint), L. Capoani (IE), D. Boudon (Technicien), A. Jarno (CDD IR).

Publications récentes sur les détecteurs Infrarouges (Refs. [1,2]):

- *Frequency Analysis of the noise in the Fowler(n) sampling of a H2RG(2Kx2K) Near-IR Detector* - G. Smadja, C. Cerna, A. Castera, A. Ealet: NIMPA 622, 288 (2010).
- *Measurement of the non-linearity and interpixel capacitance of a H2RG Near IR detector* - G. Smadja, C. Cerna, A. Ealet: NIMPA, 610, 615S (2009).

Les dispositifs expérimentaux prévus avec le matériel acheté en 2010 sont en cours de fabrication. D'autre part, une troisième publication sur les détecteurs infrarouges est en cours de rédaction.

Structuration de l'Univers – une nouvelle stratégie numérique

Partie III: Simulations

Contexte du Projet: Simulations du premier milliards d'années

Le CRAL développe depuis quelques années une forte activité de recherche portant sur l'étude numérique de la formation des galaxies dans le contexte cosmologique. Les trois dernières années de travail ont porté sur des développements numériques lourds qui ont abouti en 2011. Ces développements ont consisté à développer le code de simulations RAMSES (qui décrit dans le contexte cosmologique la formation des galaxies en incluant la gravitation, l'hydrodynamique et des recettes pour la formation d'étoiles et leur rétro-action, [Teyssier 2001]) pour y inclure (i) le transfert du rayonnement UV émis par les étoiles massives et son couplage avec le gaz (Hydrogène et Hélium, [thèse de J. Rosdahl]), et (ii) le suivi des éléments métalliques formés par les étoiles (Carbone, Oxygène, Fer, etc., [S. Courty]). En plus de ces développements du code RAMSES, qui sont au premier plan au niveau international, nous avons récemment développé un code de post-traitement qui permet de suivre le transfert des photons Lyman-alpha dans les galaxies ou le milieu intergalactique simulés ([A. Verhamme]).

Ces trois développements majeurs donnent au CRAL une extrêmement bonne position dans la compétition internationale pour contribuer de manière significative à l'étude numérique (i) de la formation des premières générations de galaxies, (ii) de leur impact sur le milieu intergalactique (la « ré-ionisation » et la pollution en « métaux » du milieu intergalactique), et (iii) de leurs signatures observationnelles (la raie Lyman-alpha), problématiques phares pour l'instrumentation des très grands télescopes (Very Large Telescope européen avec l'instrument MUSE, Extremely Large Telescope européen avec l'instrument HARMONI, James Webb Space Telescope avec l'instrument NIRSpec, pour ne mentionner que les projets auxquels le CRAL participe).

En parallèle de ces développements, nous avons mené à bien la construction d'un nouveau modèle « hybride », qui utilise des simulations cosmologiques décrivant seulement la formation des structures de matière noire (DM), et qui traite de l'évolution des baryons dans ces structures en post-traitement ([thèse de T. Garel]). Ce type de modèle, bien plus léger en termes de temps de calcul que les simulations « hydrodynamiques », permet d'explorer efficacement différents scénarios physiques et de comprendre leur impact dans le contexte cosmologique.

En 2011, notre équipe a obtenu 1 million d'heures de temps de calcul sur les grands centres de calcul nationaux (CINES), et a utilisé plus de 500 000 heures au centre de calcul de l'IN2P3 à Lyon (sur la ferme parallèle « Pistoo » et sur la ferme en série « Anastasie »). Nous avons

aussi démarré un projet concret de rapprochement de l'IPNL en termes de mutualisation des moyens informatiques: le service informatique de l'IPNL a accueilli un serveur de calcul du CRAL (256 coeurs) dans sa nouvelle salle informatique, et reçoit en ce moment les premiers éléments de nos serveurs de stockage (60To d'ici deux mois). A court terme, l'ensemble des moyens de calcul de notre équipe 'simulations numériques' sera hébergé à l'IPNL, et administrée par l'équipe de T. Ollivier. L'IPNL et l'équipe simulations numériques du CRAL ont aussi fait une demande jointe à l'Université (PP2I) pour leurs besoins de stockage respectifs sur les 5 années à venir.

La dynamique que nous avons réussi à lancer ces dernières années doit monter en puissance en 2012. Elle sera soutenue fortement par le LIO, avec l'achat d'un super-calculateur massivement parallèle (courant 2012) et le recrutement d'un IR en calcul scientifique (dès octobre 2011). J. Blaizot prévoit aussi de soumettre un projet « ANR jeune chercheur » ou ERC en 2012/2013 pour assurer le renouvellement des post-docs associés à son équipe simulations numériques. La présente demande vise à soutenir cette dynamique à un moment crucial ou nous pouvons enfin amorcer une série de projets dimensionnants qui exploitent les développements des dernières années.

Objectif du Projet

Le cœur du projet scientifique sur lequel nous souhaitons nous engager est la simulation de la formation et de l'évolution des premières générations de galaxies et de leurs échanges avec le milieu intergalactique, c'est-à-dire la simulation du premier milliard d'années d'évolution de l'Univers. Nous proposons de faire cela avec notre nouvelle version de RAMSES, qui permet de décrire de manière complètement cohérente le couplage entre le rayonnement émis par les premiers objets et le gaz intergalactique.

Au niveau international, aucune expérience numérique d'une telle envergure n'a encore pu être menée. L'avance que nous avons ici tient essentiellement à trois aspects. Premièrement, le moteur de calcul sur grille adaptative de RAMSES est l'un des plus performants au monde. Nos développements exploitent l'architecture de RAMSES et bénéficient donc de ses méthodes de parallélisation efficaces. Deuxièmement, la méthode (des moments) que nous avons mise en œuvre pour décrire le transfert de rayonnement traite les photons comme un fluide. Cette formulation (qui est une excellente approximation dans les régimes qui nous intéressent) nous a permis de développer un code dont le temps d'exécution ne dépend pas du nombre de sources de rayonnement. Cela n'est pas le cas pour la quasi-totalité des codes concurrents, qui utilisent des méthodes Monte Carlo, et qui doivent donc échantillonner chaque source avec un prix en temps de calcul qui est directement proportionnel au nombre de sources! Il n'est donc pas question pour ces codes « d'allumer » chaque particule stellaire formée dans les simulations comme nous proposons de le faire. Troisièmement, notre code exploite pleinement la structure en grille adaptative de RAMSES, ce qui nous permet d'atteindre une dynamique d'échelles indispensable pour, à la fois, résoudre le milieu interstellaire des galaxies (aux échelles de l'ordre du parsec) et simuler des volumes représentatifs d'Univers (de quelques dizaines de Méga-parsec). Cette technologie nous permet aussi de choisir où raffiner (par exemple sur les fronts d'ionisation), ce qui est un avantage considérable par rapport aux codes SPH (Smoothed Particles Hydrodynamics) où la résolution suit uniquement la densité par construction.

Un autre aspect important est lié aux développements des modèles non-perturbatifs pour l'évolution des structures cosmiques sur les très grandes échelles (voir la partie Théorie): puisque les simulations sont généralement initialisées avec des conditions initiales données

par des modèles langrangiens analytiques, les nouveaux modèles développés dans le projet théorique vont fournir une architecture complémentaire. La suite de la construction des modèles analytiques sera leur réalisation numérique pour laquelle les équipements et les expertises du projet 'simulations' vont servir.

Calendrier

Fin 2011 et début 2012, nous souhaitons commencer une phase de tests pour préparer la réalisation d'une simulation cosmologique du premier milliard d'années. Il s'agit ici de mener et d'analyser une série de simulations pour (i) comprendre quelle résolution est nécessaire et suffisante dans la pratique, (ii) ajuster un modèle simple d'absorption des photons UV par les poussières du milieu interstellaire des galaxies, (iii) s'assurer avec quelques simulations pilotes que nous reproduisons les quelques contraintes observationnelles qui caractérisent le milieu intergalactique à grands décalages spectraux. Une fois ces projets amorcés, nous rentrerons dans une phase de production et d'exploitation avec nos collaborateurs de l'Université d'Oxford, de l'Université de Zurich, et du CEA (Saclay), et nous solliciterons le soutien de l'ANR ou de l'ERC.

La demande de soutien auprès de la Fédération

Pour faire ces tests de manière efficace, nous souhaitons acheter un serveur de calcul (avec 512 Go de mémoire partagée) qui permettra une analyse efficace de ces simulations pilotes, et la génération de leurs conditions initiales.

Nous demandons donc à la Fédération de Physique André Marie Ampère pour financer l'achat de notre serveur d'analyse:

20ke

Participants au projet

- CRAL-Observatoire: J. Blaizot (Ast. Adj.), L. Michel-Dansac (IR LIO), S. Courty (postdoctorant), A. Verhamme (postdoctorant), J. Rosdahl (thésitif), S. Geen (thésitif).
- IPNL: T. Ollivier, D. Pugnere, M. Mommey, Y. Giraud, G. Baulieu, S. Perries (Informatique).

Références

Rosdahl & Blaizot, 2011, submitted

Rosdahl, Blaizot, Aubert, Teyssier, 2012, in prep.

Garel et al, 2011, submitted

Snaith, et al, 2011, MNRAS 415

House, et al., 2011, MNRAS 415

Devriendt, et al., 2010, MNRAS 403