

Présentation du projet

B1- HORIZON: utiliser le calcul massivement parallèle pour modéliser la formation des structures de l'Univers

PI : R. Teyssier, **CO-I :** J-M Alimi, S. Colombi , F. Combes et B. Guiderdoni.

B2- Contexte et motivation du projet

Comprendre la formation des galaxies est l'un des objectifs majeurs de la cosmologie moderne. L'augmentation spectaculaire des données issues des grands relevés de galaxies ou d'amas de galaxies et du fond diffus micro-onde permet aujourd'hui d'avoir une connaissance quantitative précise des conditions initiales de notre univers. Ces fluctuations de densité sont supposées croître sous l'effet de leur propre gravité et donner naissance à toute une hiérarchie d'objets cosmiques : depuis les toutes premières étoiles, jusqu'aux galaxies naines primitives, puis notre propre galaxie : la Voie Lactée et finalement les grands amas de galaxies. Les principales incertitudes des théories récentes sur la formation des galaxies portent surtout sur la physique de la formation des objets et des structures, et non plus sur le modèle cosmologique sous-jacent.

Le défi est maintenant d'étudier en détail l'interaction entre plusieurs processus physiques non linéaires comme la gravité, la dynamique des fluides et le transfert radiatif. Chacun de ces processus joue probablement un rôle majeur dans la formation des galaxies, à des époques et à des échelles différentes. D'un point de vue observationnel, les instruments au sol ou dans l'espace nous donnent accès aux premiers instants de la formation des galaxies. Des projets en cours, comme Herschel, ALMA, Planck et JWST ont été spécialement conçus pour nous fournir une vue précise de ces objets primordiaux. D'un point de vue théorique, les chercheurs essaient de combiner plusieurs ingrédients physiques au sein d'une théorie cosmologique unifiée, que l'on appelle « scénario hiérarchique ». Cette approche est prometteuse et terriblement prédictive. Le problème pour les théoriciens est de calculer ces prédictions de façon quantitative: c'est là qu'interviennent les simulations numériques, car elles seules peuvent rendre compte de tous les aspects de l'évolution des galaxies. Les avancées réellement significatives dans le domaine ont été obtenues grâce aux simulations, et donc grâce à l'augmentation de la puissance de calculs des ordinateurs. Aujourd'hui encore, les progrès en calcul massivement parallèle et des algorithmes à haute résolution spatiale sont sur le point d'ouvrir une nouvelle voie dans le domaine, en nous permettant d'accéder à la description précise de la structure interne des galaxies, tout en conservant un environnement cosmologique réaliste.

Nous sommes donc à l'aube d'une révolution dans le domaine de la formation des galaxies. Pour la première fois, il sera possible de répondre aux questions restées sans réponses en décrivant, dans un contexte cosmologique précis et fiable, la physique à petite échelle du milieu interstellaire (turbulence, nuages moléculaires) et les effets à grandes échelles induits par les interactions et les fusions entre galaxies (effets de marée, extension des halos de matière noire). Le succès de cette entreprise dépend fortement de notre capacité à utiliser les super ordinateurs massivement parallèles, à développer des nouveaux

algorithmes capables de décrire toutes ces échelles en même temps, à inclure les ingrédients physiques adéquats (chimie moléculaire, turbulence MHD, supernovae). Afin d'atteindre cet objectif ambitieux il faut de toute évidence disposer du maximum de puissance de calcul. Dans un premier temps, en collaboration étroite avec l'IDRIS et le Laboratoire pour l'Informatique Parallèle de l'ENS Lyon, nous avons donc répondu à l'appel d'offre européen « DEISA Extreme Computing Initiative » (DECI). Ceci devrait nous permettre d'obtenir la simulation de la formation et l'évolution des galaxies la plus résolue et la plus complète au niveau physique modélisée jamais réalisée dans un cadre cosmologique explicite, et ce d'ici le courant de l'année prochaine. Le **projet Horizon** regroupe des experts dans les domaines des simulations numériques et de la physique des galaxies pour pouvoir tirer pleinement partie des avancées scientifiques permises par la réalisation de telles simulations à ultra haute résolution dans les trois années qui viennent, mais également à plus long terme.

B3- Description du projet

Le projet Horizon a pour objectif de fédérer les activités en simulation numérique autour d'un projet ciblé sur l'étude de la formation des galaxies. Son but est de comprendre les mécanismes physiques très complexes à l'origine de la structure et de la distribution des galaxies qui nous entourent, et notamment la nôtre : la « Voie Lactée ». Dans un contexte favorable aux initiatives en calcul scientifique, le Programme National de Cosmologie (**PNC**), le Programme National des Galaxies (**PNG**) et le Programme AstroParticules (**PAP**) ont exprimé le besoin de stimuler et de rationaliser les efforts individuels au sein de chacune des deux disciplines. Le Projet Horizon est né du rapprochement de 5 équipes de recherche dans différents instituts. Son objectif scientifique porte spécifiquement sur la formation des galaxies dans un cadre cosmologique, et vise à fédérer les activités nationales dans ce domaine. Le projet Horizon n'a donc pas pour vocation d'épuiser tous les thèmes de recherche dans les deux domaines. Sa nature transverse et fédérative devra néanmoins permettre de développer en quelques années des compétences en calcul parallèle et distribué (GRID), en base de donnée d'observations virtuelles et en mathématiques appliqués, tout en gardant une forte composante théorique en astrophysique.

L'accroissement prodigieux des moyens de calcul dans le monde permet des percées scientifiques toujours plus spectaculaires. Les architectures actuelles, dites « architectures massivement parallèles », permettent d'atteindre des mémoires et des vitesses toujours plus grandes, et par là même de résoudre des problèmes scientifiques toujours plus ambitieux. La complexité de ces machines croît malheureusement au même rythme : les simulations deviennent de plus en plus lourdes, l'analyse en local devient de plus en plus difficile, et demande une organisation complexe et efficace des ressources. Ainsi, pour bénéficier pleinement de l'essor des moyens de calcul, il est nécessaire de mettre en commun des moyens humains, matériels et logiciels. C'est l'objectif du **Projet Horizon** : regrouper les forces de plusieurs instituts au sein d'un même projet, afin d'exploiter au mieux les ressources informatiques centralisées en France (CCRT, IDRIS, CINES) et de permettre aux deux communautés du PNC et du PNG d'accéder facilement à des résultats de simulations de niveau international.

De façon à permettre l'éclosion d'un tel groupe d'experts en simulations

numériques, il est vital de mettre au point un projet avec des objectifs scientifiques bien définis : le **Projet Horizon** a pour but d'étudier la formation des galaxies dans un cadre cosmologique. Ainsi, notre projet ne cherche pas à couvrir toutes les activités du PNC, mais uniquement celles qui concernent la formation des galaxies. De même, notre projet ne cherche pas à épuiser tous les aspects scientifiques du PNG, mais uniquement ceux qui ont un rapport direct avec la cosmologie. Ce document permettra de décrire précisément les objectifs scientifiques recherchés, avec des « lots de tâches » répartis entre les 4 équipes du projet et sur une durée de 3 ans.

Objectifs du **Projet Horizon**

1. Étudier numériquement la Formation des Galaxies dans un Cadre Cosmologique
2. Développer des techniques de pointe en programmation parallèle et en mathématiques appliquées pour simuler la formation des galaxies dans un cadre cosmologique, et prédire leurs signatures observationnelles en fonction de divers ingrédients physiques.
3. Regrouper plusieurs experts du domaine pour échanger leur savoir-faire, mettre en commun des logiciels et rationaliser l'accès aux centres de calculs nationaux.
4. Donner à la communauté française du **PNC**, **PNG** et **PAP** (observateurs et théoriciens) un accès convivial à des résultats de simulations de niveau international.

La visualisation et le stockage de ces données sont aussi des aspects cruciaux pour un tel projet, de même que le post-traitement des résultats de simulations à l'aide de méthodes semi analytiques (SAM) et leur conversion en données observationnelles virtuelles. Cet effort devra finalement être mis à la disposition de la communauté sous forme d'une base de données puissante, en relation étroite avec l'effort de l'Observatoire Virtuel et notamment sa composante théorique : le « Theoretical Virtual Observatory ».

B4- Retombées scientifiques et techniques

Outre les retombées scientifiques dans le domaine de la formation des galaxies qui découleront du gain fantastique des simulations en résolution spatiale et en masse, du point de vue technique, différents codes existent déjà au sein du projet Horizon. Un des objectifs principaux du projet est de mettre en commun un savoir-faire déjà existant sur la simulation numérique de la formation des galaxies. En effet, chaque code est une brique essentielle à l'édifice global. Il existe des outils de simulation numérique lourde, mais aussi des outils de post-traitement et de visualisation. Ces logiciels devront se plier à certaines règles définies au sein du projet Horizon pour rationaliser les entrées-sorties. Cette activité essentielle au bon fonctionnement du projet fait d'ailleurs l'objet d'une tâche spécifique. Il convient donc de définir leurs modalités d'utilisation et les développements futurs envisagés ainsi que d'établir une stratégie de mise à disposition de la communauté éventuellement des codes sources mais plus particulièrement de leurs résultats. Nous présentons ici l'application utilisée pour la simulation lourde DECI, « RAMSES » en exemple et discutons des outils utilisés pour permettre l'accès de la communauté astrophysique à ses résultats.

La présentation du code RAMSES et de nombreux tests ont été publiés dans *Astronomy & Astrophysics* (Teyssier, A&A, 2002, 385, 337). La méthode numérique est basée sur la technique du maillage adaptatif (AMR). La structure choisie permet de raffiner chaque cellule individuellement et de façon récursive, ce qui conduit naturellement à une structure en arbre ou octree. Chaque cellule de l'arbre peut avoir accès à sa cellule mère, à ses 8 cellules filles et à ses 6 cellules voisines. Chaque cellule appartient à un niveau de résolution, noté l , correspondant à une taille de maille $\Delta x = 2^l$. Le niveau $l=0$ correspond à une grille cartésienne standard, alors que les niveaux $l>0$ correspondent à la structure octree. L'implémentation particulière que nous avons retenue pour cette structure de données est un "arbre complètement tissé" ou "Fully Threaded Tree" (Khokhlov, A. M. 1998, *J. Comput. Phys.*, 143, 519). Au cours de la simulation, chaque cellule est examinée niveau par niveau en fonction de différents critères de raffinement. Ces critères sont en général à la discrétion de l'utilisateur et dépendent du problème considéré. Pour un fluide autogravitant, on utilise généralement un critère sur la densité, de façon à augmenter la résolution dans les régions en effondrement gravitationnel. Si on voulait suivre au mieux une onde de choc, on utiliserait plutôt les gradients de pression comme indicateur de raffinement. L'avantage de la méthode réside dans la possibilité de raffiner ou dé-raffiner le maillage à chaque pas de temps, et en suivant au mieux la géométrie de l'écoulement. Cette évolution continue du maillage en temps et en espace permet de minimiser les erreurs du schéma entre les différents niveaux de résolution. Les deux modules du code RAMSES développés à l'heure actuelle sont le module N corps et le module hydrodynamique. La méthode hydrodynamique est basée sur un schéma de Godunov du deuxième ordre (MUSCL-HANCOCK). Le code a été récemment parallélisé sur architecture à mémoire distribuée (clusters de EV68 du CEA sur 256 processeurs) en utilisant une décomposition de domaine dynamique.

Nous disposons également d'un package fabriquant un cône observationnel à partir des snapshots d'une simulation RAMSES, par la méthode du pavage aléatoire (random tiling) du volume de Hubble. Les galaxies sont décrites dans les structures de matière sombre, avec un redshift prenant en compte le flot de Hubble et la vitesse particulière. Les effets du milieu intervenant sur la ligne de visée sont modélisés (absorption, lensing). A partir de là, un code fabrique une image "pré-observation" à travers un jeu donné de filtres. Ces images peuvent être des champs profonds comme une carte de tout le ciel (avec pixélisation HEALpix). Un ensemble de scripts en PERL, HTML et PHP permet alors de remplir et d'interroger en ligne une base de données relationnelle contenant les catalogues, et de récupérer les fichiers contenant spectres et images: c'est à travers une telle base de données que les communautés astrophysique et astroparticule auront accès aux livrables du projet Horizon.

B6- Organisation et pilotage du projet

Organisation et management

Le Projet Horizon est né de la rencontre des chercheurs de 5 équipes spécialisées dans la formation des galaxies. La liste suivante permet de se faire une idée assez précise des compétences scientifiques et du savoir-faire numérique mis en commun. Ces 5 co-investigateurs sont responsables de 5 nœuds géographiques et administratifs que voici :

J-M. Alimi : Observatoire de Meudon (LUTH) -- Simulations et physique du gaz inter-galactique

S. Colombi : Institut d'Astrophysique de Paris -- Simulations matière noire, statistiques

F. Combes : Observatoire de Paris (LERMA) -- Formation et dynamique des galaxies individuelles

B. Guiderdoni : Centre de Recherche Astronomique de Lyon -- Formation des galaxies, catalogues

R. Teyssier : Service d'Astrophysique de Saclay -- Simulations hydrodynamiques à grande échelle

Le Projet Horizon est organisé en 4 grandes actions thématiques. Au sein de chacun de ces thèmes, on trouvera des « lots de tâches » bien identifiés, avec pour chaque tâche un responsable de tâche, un échéancier et des produits. Les actions thématiques du Projet Horizon sont au nombre de 4 :

- 1. Ingrédients physiques et conditions initiales**
- 2. Programmation parallèle et calcul distribué**
- 3. Mathématiques appliquées à la formation des galaxies**
- 4. Observations virtuelles et base de données**

Chaque action thématique est animée par un « coordinateur », dont le rôle est d'assurer la complétion en temps et en heures des différentes tâches de sa thématique, et de coordonner les aspects redondants entre différentes tâches.

Principales simulations du Projet Horizon

Trois gammes de simulations seront produites au cours du Projet Horizon. Certaines simulations ont une importance plus grande que les autres pour assurer la visibilité du projet et garantir son succès. Ces « simulations phares » sont soulignées et détaillées sur la liste suivante des simulations du Projet Horizon :

A. Simulations aux grandes échelles

1. Une simulation « Horizon Cosmologique »

L'enjeu est ici de modéliser un volume d'univers suffisamment grand pour pouvoir simuler les grands relevés en cours de réalisation (SLOAN, VIRGO, CFHT-LS), mais suffisamment précis pour résoudre les galaxies individuelles, et leurs regroupements en amas. Il s'agit donc de réaliser une simulation de matière noire de très grande ampleur (une boîte de 1000 Mpc de côté), avec au minimum 10 milliards de particules. Ce défi numérique exige au moins 2 To de mémoire vive, sans parler des problèmes de stockage. Les codes N corps capables d'une telle performance sont peu nombreux, et mettent en jeu des méthodes de programmation parallèle modernes et complexes. Le but du Projet Horizon est de mettre en commun le savoir-faire français en simulation N corps et en parallélisation, pour pouvoir à la fois réaliser ces simulations, mais aussi les exploiter au mieux grâce à un post-traitement semi-analytique novateur.

2. Plusieurs simulations « Grandes Structures »

3. Plusieurs simulations « zoom » d'amas de galaxies

B. Simulations aux échelles galactiques

1. Plusieurs simulations de la forêt Lyman et formation de disques proto-galactiques

2. Un catalogue virtuel de galaxies pour décrypter la séquence d'Hubble

La problématique soulevée ici procède de la formation et l'évolution des galaxies. Les processus physiques à l'œuvre sont a priori nombreux et mal compris : formation d'étoiles, supernovae, milieu multi phase, fusion des disques, dynamique des barres, trous noirs massifs... Le défi est de pouvoir estimer le rôle de ces processus au cours de la formation d'une galaxie au sein d'un environnement cosmologique. Chacune de ces simulations, avec un choix donné d'ingrédient

physique, conduira à une galaxie de type morphologique particulier. Le catalogue obtenu permettra de confronter les différents choix théoriques aux futures observations de galaxies en formation (JWST, ALMA, SKA), et d'affiner notre compréhension de la formation des galaxies. Ces progrès rejailliront bien évidemment sur la qualité des modèles semi analytiques utilisés à grande échelle.

C. Simulations aux petites échelles

- 1.** Étude de la ré-ionisation
- 2.** Formation des premières étoiles (pop III)
- 3.** Une galaxie de type « Voie Lactée »

Le but de cette simulation est de simuler à très haute résolution et avec la physique qui semble décrire au mieux la séquence de Hubble une galaxie de type « Voie Lactée ». Il est nécessaire de décrire l'environnement cosmologique avec le plus de réalisme possible. Le jeu de conditions initiales retenu pour cette simulation servira de référence pour des études ultérieures sur l'évolution de la Voie Lactée.

Les résultats « bruts » de ces simulations seront accessibles sur demande et sous réserve de citer le Projet Horizon dans tout papier futur, publié sur ou grâce à ces données. Ces données brutes ne seront pas en accès libre.

Produits du Projet Horizon

Grâce à ces simulations très ambitieuses, nous espérons obtenir une description précise du processus de formation des galaxies, à grande et à petite échelle. Nos résultats seront tout d'abord mis en forme, puis mis à la disposition de la communauté au sein d'une base de données interactive. Cette base de données sera en accès libre. Ces produits constituent un engagement ferme de notre part. Voici la liste de ces produits :

- 1.** Cône d'espace-temps de relevés virtuels de galaxies avec leurs propriétés observationnelles et physiques
- 2.** Images de galaxies individuelles en plusieurs longueurs d'onde, ainsi que leurs propriétés physiques
- 3.** Cartes du ciel de l'effet Sunyaev-Zel'dovich
- 4.** Carte de cisaillement gravitationnel
- 5.** Listes de photons X ou « event list ».

Actions thématiques

Nous allons maintenant décrire les actions thématiques qui constituent le squelette du Projet Horizon. On trouvera notamment une liste des tâches propres à chaque thème. Ces tâches portent un numéro précis. Un responsable « scientifique horizon » leur est attaché, ainsi qu'une estimation de durée (dates de début et de fin). Chaque thème est coordonné par un responsable thématique dont le but est d'éviter les redondances, de fluidifier le transfert d'information et d'informer chaque responsable de tâches des moyens « software » ou « hardware » déjà existants au sein du projet.

1. Ingrédients physiques et conditions initiales

Coordinatrice: Françoise Combes

Physique du milieu interstellaire: taux de dissipation, refroidissement atomique et moléculaire, en présence d'un flux UV, opacités spectrales, présence de métaux et poussière.

Formation des étoiles, lien avec la turbulence, connexion entre petites et grandes échelles, stabilité et loi de Schmidt, ou de Kennicutt.

Modélisation du feedback de la formation d'étoiles (supernovae, vents stellaires...). Approche multi-phase, milieu fluide ou nuages balistiques.

Modèle simplifié de trous noirs super massifs (quasars) et interaction

(dynamique, thermique, auto-régulation) avec le milieu galactique et intergalactique.

Tâche 1.1 : Génération de conditions initiales pour 2048^3 particules sur 800, 200, 50, 10 h^{-1} Mpc

Responsable : Romain Teyssier

Description : Il s'agit d'obtenir les champs de densité et de vitesses d'une réalisation Gaussienne d'un modèle d'Univers LCDM et un jeu de paramètre standard. La taille de boîte varie de 800 à 10 h^{-1} Mpc. Le code utilisé sera GRAFIC 2 (Bertschinger). La mémoire vive nécessaire pour cette opération est de 32 Go. Le résultat de cette tâche est l'obtention de 8 fichiers de 32 Go chacun, pour un total de 256 Go par taille de boîte. Des versions dégradées de ces conditions de référence seront réalisées à la demande (1024^3 , 512^3 , 256^3) de façon, à autoriser des simulations « zoom » ou des simulations à plus basse résolution.

Inputs : Jeu de paramètres cosmologiques

Outputs : 8 fichiers de conditions initiales pour 4 tailles de boîtes

Durée : du 01/04/2006 au 01/05/2007

Tâche 1.2 : Développement d'une librairie de physique atomique et moléculaire en présence de rayonnement UV.

Responsable : Stéphane Colombi

Description : Le but est de rassembler sous une seule librairie utilisable en Fortran et C toutes les routines de calcul d'état d'ionisation atomique, de rotation et de vibration moléculaire, en présence d'un flux UV externe, ainsi que les fonctions de chauffage, de refroidissement et les opacités correspondantes.

Inputs :

Outputs :

Durée : du 01/04/2006 au 01/05/2007

Tâche 1.5 : Génération de conditions initiales multi résolution de type « zoom » à partir d'une simulation « grande échelle », et pour une région donnée de l'espace.

Responsable : Christophe Pichon

Description : A partir d'un jeu de conditions initiales issu « grandes échelles », et d'une région particulière de l'espace (de forme ellipsoïdale), génération de conditions initiales avec une densité

Tâche 1.3 : Génération à partir de GALICS d'un catalogue de paramètres d'impact et d'orientations de spins pour des simulations de fusions de galaxies

Responsable : Bruno Guiderdoni

Description : Création d'un catalogue donnant les conditions initiales pour les rencontres et fusions de galaxies (redshifts, propriétés des halos et sub-halos hôtes, masses des progéniteurs, vitesses, paramètres d'impact, etc.) permettant de calculer des catalogues de fusions avec les codes GalMer.

Inputs : Post-processing GALICS d'une simulation 1024^3 d'un volume 100h-1

Outputs : Catalogue de paramètres d'impact, rapport de masse et orientations de spins dans un format utilisable par GalMer.

Durée : du 01/03/2006 au 01/09/2006

Tâche 1.4 : Génération de conditions initiales (gaz, matière noire ou étoiles) à partir d'un modèle de halo et de disque analytique.

Responsable : Eric Emsellem

Description : A partir de paramètres physiques globaux (masse, spin, concentration, épaisseur), génération des positions et des vitesses des particules correspondant à différents modèles analytiques. La configuration initiale devra être relaxée et stable pour un jeu de paramètres numériques pré-établi.

Inputs :

Outputs :

Durée : du 01/04/2006 au 01/05/2007

accrue en particules, de façon à resimuler, à une meilleure résolution, la galaxie ou l'amas associé à la région.

Inputs :

Outputs :

Durée : du 01/04/2006 au 01/05/2007

Tâche 1.6 : Développement d'un ou plusieurs algorithmes pour décrire la formation et l'évolution dynamique de

trous noirs massifs dans les simulations du Projet Horizon.

Responsable : Françoise Combes

Description : Mise au point d'algorithmes réalistes pour simuler l'apparition de trous noirs galactiques, leur évolution dynamique et leur éventuelle coalescence.

Les spécificités liées à l'utilisation de codes grilles et de codes particuliers seront mise en évidence et comparées.

Durée : du 01/05/2006 au 01/07/2007

Tâche 1.7 : Développement d'un ou plusieurs algorithmes de type « multiphase » pour décrire l'évolution thermodynamique du milieu interstellaire (supernovae, cascade turbulente, formation d'étoile, collisions de nuages...).

Responsable : Adrienne Slyz

Description : Mise au point et comparaison de différents algorithmes de type « sous-mailles » pour intégrer la complexité et la richesse du milieu interstellaire aux simulations du Projet Horizon. La formation des étoiles, le « feedback » des supernovae et la formation de fontaines, les vents galactiques sont autant de phénomènes cruciaux qui trouvent leur source à petite échelle dans le milieu interstellaire. Les spécificités liées à l'utilisation de codes grilles et de codes particuliers seront mise en évidence et comparées.

Durée : du 01/05/2006 au 01/07/2008

2. Programmation parallèle et calcul distribué

Coordinateur: Stéphane Colombi

Programmation MPI, OpenMP, "hybride"

Algorithme d'analyse parallèle (KD tree parallèle) avec fichiers distribués (GRID)

Algorithme de visualisation parallèle et fichiers distribués (GRID)

Tâche 2.1 : Parallélisation du code GRAFIC

Responsable : Christophe Pichon

Description : Il s'agit de paralléliser le code de conditions initiales « GRAFIC », développé initialement par E. Bertschinger (Princeton) sur architecture à mémoire distribuée. Le but est de pouvoir générer des grilles de positions et de vitesses pour 2048^3 particules et plus.

Inputs: GRAFIC2

Outputs: GRAFIC2-MP

Durée : du 01/04/2006 au 01/04/2008

Tâche 2.2 : Parallélisation du code SFT

Responsable : Françoise Combes et Benoît Sémelin

Description : Parallélisation du code de l'équipe GalFor et GalMer, Tree-SPH avec Formation d'étoiles, optimisation du refroidissement et gaz multi-phase pour 10^7 - 10^8 particules

Inputs: SFT

Outputs: SFT2.

Durée : du 01/07/2006 au 01/04/2008

Tâche 2.3 : Parallélisation du code MZoom

Responsable : Benoît Sémelin

Description : Parallélisation du code Mzoom, et optimisation pour $> 10^7$ particules.

Inputs: MZoom

Outputs: MZoom 2.

Durée : du 01/04/2006 au 01/10/2008

Tâche 2.4 : Parallélisation du calcul semi-analytique de la formation des galaxies dans les halos

Responsable : Jeremy Blaizot

Description : Parallélisation du code GalaxyMaker et optimisation pour $> 10^9$ particules.

Inputs: GalaxyMaker

Outputs: GalaxyMaker 2.

Durée : du 01/07/2006 au 01/10/2008

Tâche 2.5 : Parallélisation de l'identification des halos et de la construction des arbres de fusion

Responsable : Stéphane Colombi

Description : Parallélisation des codes

Adaptahop, HaloMaker (FOF) et TreeMaker et optimisation pour $> 10^9$ particules.

Inputs: Adaptahop, HaloMaker et TreeMaker

Outputs: Adaptahop 2, HaloMaker 2 et TreeMaker 2.
Durée : du 01/07/2006 au 01/10/2008

Tâche 2.6 : Parallélisation des algorithmes de visualisation et couplage avec la librairie OpenGL
Responsable : Stéphane Colombi
Description : Mise en place d'algorithmes de visualisation basés sur la librairie

graphique OpenGL et sur la librairie parallèle MPI. Le but est de mettre au point à partir des codes existants en IDL, Fortran ou C une interface graphique ultraperformante, qui tire partie à la fois des accélérations graphiques liées à OpenGL et des accélérations liées au parallélisme.
Inputs: Fichiers de particules
Outputs: Visualisation à l'écran en interactif
Durée : du 01/07/2006 au 01/10/2008

3.Mathématique Appliquée à la Formation des Galaxies

Coordinateur: Romain Teyssier

Transfert radiatif et MHD ---- Comparaison AMR versus SPH versus SAM
Étude de convergence et Formation des disques

Tâche 3.1 : Développement d'un ou plusieurs algorithmes de transfert radiatif adapté à la ré-ionisation et à l'environnement proche des galaxies
Responsable : Edouard Audit ou Benoît Semelin
Description : Mise au point d'algorithme de transfert radiatif adapté aux conditions physiques rencontrées dans l'environnement des galaxies (équilibre coronal, milieu optiquement mince) et adapté à des codes de type grilles ou de type particules. Les spécificités liées à l'utilisation de codes grilles et de codes particuliers seront mise en évidence et comparées.
Durée : du 01/05/2006 au 01/07/2008

plusieurs algorithmes pour résoudre l'équation d'induction du champ magnétique.
Responsable : Stéphane Colombi
Description : Aux échelles cosmologiques considérées, le rôle dynamique du champ magnétique est a priori peu important. En revanche, la structure du champ peut avoir une influence sur divers diagnostics observationnels (polarisation du CMB, rotation Faraday dans les galaxies et les amas). Le but est de développer des algorithmes adaptés à la description précise (divergence nulle) du champ magnétique au sein de ces écoulements cosmologiques. Les spécificités liées à l'utilisation de codes grilles et de codes particuliers seront mise en évidence et comparées
Durée : du 01/05/2006 au 01/07/2008

Tâche 3.2 : Développement d'un ou

Tâche 3.0 : Développement d'un ou plusieurs algorithmes pour résoudre la dynamique de la matière noire
Responsable : Christophe Alard
Description : Le but est de développer des algorithmes novateurs pour résoudre le système Vlasov Poisson directement dans l'espace des phases, et de comparer ces méthodes novatrices avec les méthodes N corps traditionnelles (Tree code ou PM AMR).
Durée : du 01/05/2006 au 01/07/2008

Tâche 3.3 : Simulations cosmologiques « grandes échelles » avec divers ingrédients physiques (matière noire, gaz et/ou formation d'étoile, multi phase, trous noirs)
Responsable : Romain Teyssier et Christophe Pichon
Description : Le but est de simuler l'évolution dynamique de la matière noire, de la composante baryonique, du refroidissement, et de la formation d'étoiles, en réalisant des simulations différentes pour chacun des processus évoqués, pour de nouveaux algorithmes de transfert radiatif ou de MHD, pour différentes conditions initiales et avec différents codes (RAMSES, GADGET, PM+HYDRO). Les variations de ces paramètres seront considérées comme des sous-tâches.
Inputs: conditions initiales de la tâche 1.1 pour des tailles de boîtes variant de 800 h-1 Mpc à 1 h-1 Mpc.

Outputs: 30 à 100 « snapshots » temporels avec positions et vitesses pour la matière noire, les étoiles et/ou le gaz
Durée : du 01/05/2006 au 01/07/2008

Tâche 3.4 : Simulations de systèmes isolées (des galaxies aux amas).

Responsable : Eric Emsellem

Description : Série de simulations de galaxies ou d'amas de galaxies isolées avec des conditions initiales plus ou moins idéalisées (tâches 1.4, issues éventuellement du catalogue de la tâche 1.3). Exploration de l'influence de la recette de formation d'étoiles, de la physique des trous noirs massifs, de l'accrétion de masse et de divers autres paramètres physiques. Les variations de ces paramètres seront considérées comme des sous-tâches.

Inputs: Conditions initiales variées

Outputs: 30 à 100 « snapshots » temporels montrant la dynamique interne de ces objets isolés avec positions et vitesses pour la matière noire, les étoiles et/ou le gaz

Durée : toute la durée du projet

Tâche 3.5 : Simulations de systèmes en interaction (des galaxies aux amas).

Responsable : Françoise Combes et Hervé Wozniak

Description : Série de simulations de système en interaction avec les conditions initiales plus ou moins idéalisées (tâche 1.4, issues éventuellement du catalogue de la tâche 1.3). Exploration de l'influence de la recette de formation d'étoiles, de la physique des trous noirs massifs, de l'accrétion de masse et de divers autres paramètres physiques. Les variations de ces paramètres seront considérées comme des sous-tâches.

Inputs: Conditions initiales variées

Outputs: 30 à 100 « snapshots » temporels montrant la dynamique des fusions et des structures disques-bulbes-barres avec positions et vitesses pour la matière noire, les étoiles et/ou le gaz

Durée : toute la durée du projet

Tâche 3.6 : Simulations de galaxies ou d'amas de galaxies dans un environnement cosmologique réaliste avec la technique du « zoom ».

Responsable : Benoît Sémelin

Description : Le but de cette tâche est de simuler une région de l'espace dont les conditions initiales sont données par la tâche 1.5 avec divers ingrédients physiques (matière noire, gaz et/ou formation d'étoile, multiphase, trous noirs, rayonnement) et différents type de code (AMR ou SPH). Les variations de ces paramètres seront considérées comme des sous-tâches.

Inputs: Conditions initiales de type « multi-zoom » de la tâche 1.5.

Outputs: 30 à 100 « snapshots » temporels montrant l'évolution dynamique du système.

Durée : du 01/10/2006 au 01/10/2008

Tâche 3.7 : Simulations de disques galactiques au sein de halos de matière noire cosmologiques.

Responsable : Lia Athanassoula

Description : Le but de cette tâche est de simuler l'évolution d'un ou plusieurs disques idéalisés insérés dans les halos de matière noire issus de simulations cosmologiques purement N corps. Cette tâche est à mi-chemin entre les tâches 3.6 et 3.8 et permet d'étudier plus spécifiquement la physique des disques.

Inputs: Un « snapshot » issu des tâches 3.3 ou 3.5

Outputs: 30 à 100 « snapshots » temporels montrant l'évolution dynamique du système.

Durée : du 01/10/2006 au 01/10/2007

Tâche 3.8 : Formation des premières étoiles

Responsable : Edouard Audit et Julien Devriendt

Description : Le but est d'étudier la formation des premières étoiles (pop III), ce qui met en jeu une physique particulière (chimie moléculaire hors équilibre) et des techniques numériques spécifiques (code mono-dimensionnel, code AMR ultra-raffiné avec ENZO).

Inputs:

Outputs:

Durée : du 01/10/2006 au 01/10/2008

4.Observations virtuelles et base de données

Coordinateur: Bruno Guiderdoni

Post-traitement par méthodes SAM (semi-analytique).

Spectro- photométrie des populations stellaires.

Base de donnée utilisateur en ligne avec technologies Theoretical Virtual Observatory et fichiers distribués (GRID).

Tâche 4.1 : Détection des halos, des sous-halos et construction automatique des arbres de fusion

Responsable : Julien Devriendt

Description : Obtention des catalogues de halos issus de simulations Horizon à différentes tailles de boîte par le code HaloMaker du package GALICS. Utilisation éventuelle de ADAPTAHOP pour détecter les sous-structures. Calcul de l'arbre des fusions avec le code TreeMaker du package GALICS.

Inputs: « snapshots » temporels avec positions et vitesses pour 256^3 , 512^3 , 1024^3 et 2048^3 particules

Outputs: Catalogues de halos, de sous-halos et des arbres de fusion correspondants

Durée : toute la durée du projet

Tâche 4.2 : Post-traitement semi-analytique des arbres de fusion issus des simulations Horizon.

Responsable : Jérémy Blaizot

Description : Obtention d'un ou plusieurs catalogues de galaxies à partir des arbres de fusion et des catalogues de halos correspondants (code GalaxyMaker du package GALICS).

Inputs: Arbres de fusion et catalogues des halos

Outputs: Catalogue de galaxies ponctuelles avec leurs propriétés physiques et leur SED

Durée : toute la durée du projet

Tâche 4.3 : Calcul des images issues de simulation de systèmes individuels.

Responsable : Anne-Laure Melchior

Description : Calcul des images et spectres issus des simulations Horizon d'objets pris individuellement (galaxies isolées, systèmes en interaction, groupes et amas de galaxies).

Inputs: produits issus de 3.4, 3.5 et 3.6

Outputs: Images panchromatiques d'un objet (ou groupe d'objets) isolé.

Durée : toute la durée du projet

Durée : toute la durée du projet

Tâche 4.4 : Génération de cartes virtuelles (cônes d'espace-temps) à partir de grands catalogues.

Responsable : Jérémy Blaizot

Description : Fabrication de cartes du ciel par les codes ConeMaker et FieldMaker du package MoMaF dans plusieurs longueurs d'ondes (effet SZ, photons X, effet de lentille faible, relevés optiques, infrarouge ou radio).

Inputs: « snapshots » temporels issus de diverses simulations « grandes échelles » avec gaz, matière noire ou étoiles, et de divers post-traitements semi-analytiques.

Outputs: Cartes du ciel sur un champ donné (de quelques degrés carré à tout le ciel).

Tâche 4.5 : Génération d'un catalogue géant couvrant l'intégralité de l'horizon cosmologique sans réplication.

Responsable : Ravi Kumar

Description : Création de catalogues de galaxies brillantes sur tout le ciel, et de relevés très profonds de galaxies faibles, à partir d'une simulation d'un très gros volume (fraction significative d'un volume de Hubble) à résolution intermédiaire, par la mise en œuvre d'un formalisme de biais instruit par les autres travaux du projet Horizon à plus haute résolution.

Inputs: simulation 2048^3 d'un volume $800h^{-1}$ Mpc et plus.

Outputs: Catalogue de galaxies à diverses longueurs d'ondes

Durée : du 01/10/2006 au 01/03/2008

Durée : toute la durée du projet

Tâche 4.6 : Développement d'outils d'analyse statistiques des produits Horizon.

Responsable : Hélène Courtois et Simon Prunet

Description : Algorithmes rapides (FFT, KDTree) pour calculer des indicateurs statistiques d'ordre élevés sur les résultats des simulations (positions et vitesses, catalogues): spectre de puissance, fonctions de corrélations, histogramme, etc...

Inputs: produits issus de 3.3, 4.2, 4.4 et 4.5

Outputs: indicateurs statistiques

Tâche 4.7 : Mise en ligne des catalogues et des images, en lien avec le Theoretical Virtual Observatory.

Responsable : Hervé Wozniak

Description : Mise en ligne des catalogues des images et des spectres issus des simulations Horizon dans une base de données relationnelle (interface web, scripts perl, php ou C, évolution éventuelle vers PostgreSQL). Interfaçage avec le Theoretical Virtual Observatory (prototype ?). Réflexion de fond sur la définition des objets TVO.

Inputs: produits issus de 4.1 à 4.6

Outputs: Base de données relationnelle en ligne

Durée : toute la durée du projet

Tâche 4.8 : Observations avec les grands instruments du futur.

Responsable : Bruno Guiderdoni

Description : Observation de plusieurs systèmes à des redshifts différents, et optimisation des spécifications des instruments (ALMA, SKA). Coordination et suivi des collaborations avec les co-Is des projets observationnels suivants en charge des simulations de ciel : Planck HFI/LFI, Herschel PACS/SPIRE, ALMA, MUSE, JWST, ELT, SKA (liste indicative et non exhaustive, prévoir une sous-tâche par projet)

Inputs: Produits Horizon (catalogues, images, spectres) ou le cas échéant fichiers de particules

Outputs: Observations fictives : images et spectres instrumentaux

<p>Durée : Tout au long du projet. Produits définitifs à la fin du projetB7- Propriété intellectuelle</p>
--

Les apports au projet par les différents partenaires peuvent se ranger dans 4 catégories:

- i/ les codes sources
- ii/ les livrables « internes »
- iii/ les livrables « externes »
- iv/ les publications

Pour les codes sources, la contribution de chaque partenaire est effectuée sur la base du volontariat. Un site web interne à la collaboration horizon existe, et chaque scientifique horizon (cf annexe ci-dessous pour une liste nominative) est libre d'y déposer ses codes.

Pour les livrables « internes » qui sont les produits des tâches précédemment listées et pour lesquels chaque scientifique responsable s'est engagé par un MoU, ils devront impérativement être déposés sur le site web interne de la collaboration.

L'accord entre les partenaires est que tout ce qui est déposé sur le site web interne est accessible à l'ensemble des scientifiques et des étudiants horizon. Pour les scientifiques extérieurs au projet, l'accès au contenu du site web interne est subordonné à une négociation avec les 5 co-I du projet au cas par cas.

Pour les livrables « externes », qui sont les produits à délivrer à la communauté astrophysique, un site web externe et une base de données en libre accès seront progressivement mis en place.

Finalement, pour les publications, uniquement 4 ou 5 publications phares seront co-signées par l'ensemble des partenaires qui sont ensuite libres d'utiliser les produits horizon pour publier en collaboration plus restreinte ou impliquant des scientifiques extérieurs au projet, à condition de mentionner explicitement une telle utilisation dans les publications en question.

ANNEXE : Les participants au Projet HORIZON

Les membres du Projet Horizon (les forces vives de notre activité) sont présentés nominativement dans les Tableaux suivants. Les **Scientifiques Horizon**, qui s'engagent à exécuter au moins une tâche (MoU), les **Etudiants**, et les **Scientifiques Associés**, qui ne s'engagent pas, mais ont manifesté leur intérêt et pourront collaborer à un degré moindre.

Nom	Fonction	Institut	Spécialité	FTE(%)
Christophe Alard	CR2 CNRS	IAP	Matière noire	30%
Jean-Michel Alimi	DR2 CNRS	OPM	Gaz intergalactique	30%
Lia Athanassoula	Astronome	LAM	Galaxies	30%
Édouard Audit	Ingénieur Chercheur	CEA	Transfert radiatif	30%
Jérémy Blazot	Post-doc	MPA	SAM	30%
Stéphane Colombi	CR1 CNRS	IAP	Parallélisme et N corps	70%

Françoise Combes	Astronome	OPM	Milieu inter stellaire	50%
Hélène Courtois	Maître de Conférence	CRAL	Statistiques	20%
Stéphanie Courty	Post-doc	Islande	Forêt Lyman	30%
Julien Devriendt	CR2 CNRS	CRAL	Parallélisme et Hydro	70%
Eric Emsellem	Astronome Adjoint	CRAL	Simulation, orbites stabilité	20%
Bruno Guiderdoni	DR2 CNRS	IAP	SAM	50%
Ravi Kumar	Post-doc	IAP	Base de données	100%
Anne-Laure Melchior	Maître de Conférence	OPM	Base de données	30%
Christophe Pichon	CR1 CNRS	IAP	Galaxies	70%
Simon Prunet	CR1 CNRS	IAP	Galaxies	20%
Benoît Sémelin	Maître de conférence	OPM	Transfert radiatif	50%
Adrianne Slyz	Post-doc	CRAL	Parallélisme, Hydro, MHD	50%
Romain Teyssier	Ingénieur Chercheur	CEA	Parallélisme et hydro	50%
Hervé Wozniak	Astronome Adjoint	CRAL	Simulation galaxies	20%

Tableau 1: La liste des Scientifiques Horizons.

Nom	Fonction	Institut	Spécialité	FTE(%)
Dominique Aubert	Post-doc	CEA	Galaxies	30%
Frédéric Bournaud	Étudiant en thèse	OPM	Galaxies	30%
Pierre -Emmanuel Chapellat	Étudiant en thèse	IAP	Galaxies	30%
Matthias Gonzales	Étudiant en thèse	CEA	Transfert radiatif	30%
Emilie Jourdeuil	Étudiante en thèse	CRAL	Simulations, Bases de données	20%
Yann Rasera	Étudiant en thèse	CEA	Galaxies	30%
Thierry Sousbie	Étudiant en thèse	CRAL	AMR, SAM	30%
Dylan Tweed	Étudiant en thèse	CRAL	SAM	30%

Tableau 2: La liste des Etudiants Horizons

Nom	Fonction	Institut	Spécialité
Isabelle Baraffe	CR1 CNRS	CRAL	Physique
Albert Bosma	DR2 CNRS	LAM	Matière noire
Andrea Cattaneo	Post-doc	IAP	Formation et évolution des AGN
Gilles Chabrier	DR2 CNRS	CRAL	Physique
David Elbaz	Ingénieur-Chercheur	CEA Saclay	Évolution des galaxies
Pierre Ferruit	Astronome Adjoint	CRAL	Formation et Evolution des AGN
Pierre-Alain Duc	CR2 CNRS	CEA Saclay	Évolution des galaxies
Pascal Jablonka	CR1 CNRS	GEPI OPM	Évolution des galaxies
Bruno Jungwiert	Post-doc	CRAL	Simulations, Formation d'étoiles
Barbara Lanzoni	Post-doc	Obs. de Bologne	Simulation et formation des structures
Gary Mamon	Astronome	IAP	
Nicolas Prantzos	CR1 CNRS	IAP	Évolution chimique des galaxies
Simon Prunet	CR2 CNRS	IAP	Parallélisme et hardware
Marguerite Pierre	Ingénieur-Chercheur	CEA Saclay	Amas X, cosmologie
Alexandre Refregier	Ingénieur-Chercheur	CEA Saclay	Lensing, Amas X, Cosmologie
Gilles Theureau	Astronome Adjoint	GEPI et Orléans	Interfaces observations HI, SKA

Tableau 3: La liste des Scientifiques Associés.