

Acronyme	Real-Time & Interactive Galaxy for Edutainment		
Titre du projet en français	Représentations 3D temps réels & Interactive de galaxies pour applications ludo-éducatives		
Titre du projet en anglais	Real-Time & Interactive Galaxy for Edutainment		
Axe(s) thématique(s)	<input checked="" type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4		
Type de recherche	<input type="checkbox"/> Recherche Fondamentale <input checked="" type="checkbox"/> Recherche Industrielle <input type="checkbox"/> Développement Expérimental		
Types de projets spécifiques	<input type="checkbox"/> Plate-forme		
Aide totale demandée	966 703,5€	Durée du projet	48 mois

SOMMAIRE

1. RÉSUMÉ	3
2. CONTEXTE ET POSITIONNEMENT DU PROJET	5
2.1. Contexte et enjeux économiques et sociétaux	6
2.2. Positionnement du projet	9
3. DESCRIPTION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE	13
3.1. État de l'art	13
3.2. Objectifs et caractère ambitieux/novateur du projet	17
4. PROGRAMME SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, ORGANISATION DU PROJET	20
4.1. Programme scientifique et structuration du projet	20
4.2. Management du projet	24
4.3. Description des travaux par tâche	25
4.3.1 Tâche 1 : Étude, Sélection & Simplification des données et modèles astronomiques	25
4.3.2 Tâche 2 : Morphologie & Cinématique	29
4.3.3 Tâche 3 : Représentation, Amplification et Rendu des données	33
4.3.4 Tâche 4 : Intégration & développement des outils pédagogiques	37
4.4. Calendrier des tâches, livrables et jalons	40
5. STRATÉGIE DE VALORISATION DES RÉSULTATS ET MODE DE PROTECTION ET D'EXPLOITATION DES RÉSULTATS	46
6. ORGANISATION DU PARTENARIAT	48
6.1. Description, adéquation et complémentarité des partenaires	48
6.2. Qualification du coordinateur du projet	52
7. JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE DES MOYENS DEMANDÉS	53
7.1. Partenaire 1 : Société RSA Cosmos	53
7.2. Partenaire 2 : Équipe ARTIS & EVASION de l'INRIA Rhône-Alpes	55
7.3. Partenaire 3 : Équipe GÉPI & LERMA de l'Observatoire de Paris	57
8. ANNEXES	59
8.1. Références bibliographiques	59
8.2. Cahier des charges	66
8.3. Screen Shot de la Galaxie telle que représentée dans les logiciels pour planétariums	70

1. RÉSUMÉ

Le projet **RTI Galaxy for Edutainment** s'attaque à la visualisation et au rendu réaliste en temps interactif (temps réel) des données connues des galaxies, et en particulier de notre Galaxie - la Voie Lactée - avec pour objectif l'intégration de ces modèles dans un logiciel de navigation pour les scientifiques, les planétariums et pour le grand public.

Les outils s'appuieront sur les techniques de stockage, de discrétisation et de visualisation de pointe permettant de lever des verrous extrêmement délicats tant par la complexité du calcul à effectuer que par la contrainte de restitution en temps interactif.

Une collaboration forte entre les partenaires sera mise en place afin de mettre au point des techniques permettant de transformer des masses de données - issues de catalogues d'observations ou issues de simulations - ou des modèles scientifiques utilisés par les astronomes, en des données et modèles simplifiés, prétraités et optimisés pour leur rendu en temps interactif, et ce notamment sur une plate-forme de visualisation immersive : les salles de planétariums numériques (salles de cinéma immersif à 360° principalement utilisées pour la vulgarisation scientifique et notamment de l'astronomie).

Ce projet, clairement positionné dans le domaine de *l'Edutainment (Serious Game)*, propose de mettre en place un pont entre des données et modèles issus de modèles physiques et des données et modèles simplifiés permettant un affichage en temps interactif (temps réel) tout en conservant les phénomènes émergents visualisables sur les données ou modèles sources.

Enfin, un travail spécifique sera effectué pour enrichir les représentations obtenues par l'affichage de métadonnées. Il sera ainsi possible de visualiser des labels, des chiffres et pourcentages, des zones colorisées, des vecteurs, ou tout autre outils pédagogique permettant d'améliorer la compréhension des phénomènes émergents à vulgariser.

Le programme de travail a été découpé en 4 tâches :

- **Étude et simplification des données et modèles** : cette tâche sera assurée par les équipes GEPI et LERMA de l'Observatoire de Paris en collaboration étroite avec les équipes ARTIS et EVASION de l'INRIA. L'objectif sera le rassemblement, le tri, la simplification et la mise au point des bases de données et des modèles simplifiés.
- **Morphologie & Cinématique** : cette tâche sera assurée par le partenaire industriel RSA Cosmos. Le travail consistera à réaliser des représentations de galaxies, et notamment de notre Galaxie, intégrant les données et les simulations synthétisées par l'Observatoire de Paris. Ce travail se fera en étroite collaboration avec les équipes ARTIS et EVASION de l'INRIA qui mettront à disposition leur savoir-faire et conseilleront RSA Cosmos sur les méthodes en infographie 3D temps interactif à utiliser.

- **Représentation de masses de données, Amplification, Rendu** : cette tâche sera assurée par les équipes ARTIS et EVASION de l'INRIA. Elle sera clairement décomposée en deux missions distinctes : une mission de recherche confiée à un doctorant suivi par un Directeur de Recherche se concentrant sur la résolution de verrous technologiques, une mission d'ingénierie se concentrant sur l'intégration de solutions existantes ou des nouvelles solutions développées au sein de la thèse, sur le sujet précis des galaxies.
- **Intégration & Développement des outils pédagogiques** : cette tâche sera assurée par le partenaire industriel RSA Cosmos et consistera à rassembler et à intégrer l'ensemble des technologies développées dans les autres tâches au sein du logiciel pour planétariums numériques développé par RSA Cosmos. Les modèles développés seront alors complétés pour y ajouter des fonctionnalités d'interactions et d'affichage de métadonnées, offrant à l'utilisateur final – le médiateur scientifique conduisant la séance de planétarium – toute l'ergonomie nécessaire pour mener à bien sa mission de vulgarisation.

La valorisation se fera directement, au travers des salles de planétariums (plus de 1 000 salles à travers le monde équipée d'un système numérique). Mais les retombées existeront aussi pour d'autres industries telles l'industrie des jeux vidéos, la simulation, l'industrie des effets spéciaux, l'industrie des films de vulgarisation scientifique ...

Ce projet s'inscrit donc dans l'Axe thématique 1 et dans l'Axe thématique 2 : *Création et Production de contenus et Assemblage, Édition et Exploitation de contenus et connaissances*, en répondant aux exigences de l'appel à projet Contenu et Interaction par la mise au point :

- De modèles permettant la *visualisation de contenu* scientifique.
- De modèles permettant *d'atteindre un niveau élevé de qualité et d'immersion*.
- De méthodes de *rendu 3D temps réel* pour la *réalité virtuelle*, avec notamment une amplification des données et donc l'apparition de niveaux de détails au fur et à mesure de *l'immersion dans le modèle*, ces méthodes pouvant être adaptées aux *effets spéciaux* ou aux *jeux vidéos*.
- D'un *modèle physique* simplifié sur la base de données et modèles scientifiques
- D'un modèle dédié à *l'éducation*, par *l'adaptation du contenu* fourni par les scientifiques aux besoins de la vulgarisation scientifique.
- De modèles procéduraux permettant de rendre de grandes masses de données en évitant quand c'est possible l'utilisation de stockage important pour ces données.
- De modèles adaptés au *passage du contenu à la connaissance*, en fournissant des modèles conservant suffisamment *l'intégrité des données et modèles* scientifiques pour permettre des *présentations didactiques* de ces données. Il s'agit donc bien d'une *synthèse des données et des modèles sources* constitués de *grande masses d'informations complexes*, d'un *enrichissement* notamment en matière de *visualisation 3D temps réel*, mais aussi en matière d'interaction puisque le modèle permettra la mise en évidence des phénomènes observables et explicables aux scolaires et au grand public, avec par conséquent un *traitement de grand volumes de contenus* que seront les données simplifiées.

2. CONTEXTE ET POSITIONNEMENT DU PROJET

Le projet **RTI Galaxy for Edutainment** est un projet collaboratif entre la société RSA Cosmos, l'INRIA et l'Observatoire de Paris. Il s'agit d'un projet de recherche industrielle.

La société RSA Cosmos, les équipes EVASION et ARTIS de l'INRIA Rhône-Alpes, et les équipes GEPI et LERMA de l'Observatoire de Paris, ont décidé de regrouper leurs savoir-faire complémentaires, de chercheurs infographie 3D temps interactif, de chercheurs en astronomie et de spécialistes planétarium, pour faire avancer les diverses technologies permettant de mettre au point un modèle didactique 3D temps interactif multi-échelles et animé de notre Galaxie.

Cette collaboration s'inscrit dans la perspective d'une évolution significative des outils de vulgarisation scientifique employés par l'ensemble des médiateurs scientifiques, notamment des planétariums, et au-delà, avec des impacts possibles dans d'autres applications, notamment dans les industries des jeux vidéos, des simulateurs, des effets spéciaux et dans les entreprises d'édition de séquences de synthèse pédagogiques.

Les solutions mises en place par ce partenariat seront intégrées à la solution *In Space System* développée et commercialisée par RSA Cosmos ainsi que dans un logiciel simplifié. Ce dernier logiciel sera mis à la disposition de l'Observatoire de Paris qui pourra l'utiliser dans le cadre de formation d'étudiants, lors des séminaires des scientifiques de l'Observatoire ainsi que lors de manifestations accueillant le grand public.

La société RSA Cosmos, seul fabricant français de solutions pour salles de planétariums, est spécialisée dans la dernière génération de planétariums numériques. Ce secteur très concurrentiel impose à RSA Cosmos un constant besoin d'innovation. Dans ce contexte, cette entreprise a développé un logiciel en temps interactif permettant de se déplacer à la demande dans un Univers virtuel multi-échelles et de visualiser toutes sortes de données liées à l'astronomie. Ce projet permettra à RSA Cosmos de se positionner sur son marché avec une innovation technologique majeure.

RSA Cosmos est donc un *créateur de contenus numériques* spécialisé dans *l'intégration de connaissances* en astronomie dans un *monde virtuel* : un *simulateur* astronomique pour salles *immersives*. RSA Cosmos est positionné sur le marché des planétariums dont la mission est d'offrir aux spectateurs, à travers des spectacles et donc via *l'accès à un loisir*, des expériences mêlant *culture, loisirs, éducation, diffusion des connaissances et informations* sur les dernières *recherches scientifiques* en astronomie et connaissances de la Terre.

Les équipes EVASION et ARTIS de l'INRIA Rhône-Alpes sont *spécialisées dans l'infographie 3D temps interactif*, notamment dans :

- *La représentation de données multi-échelles avec niveaux de détail*
- *L'analyse et la simulation d'effets lumineux*
- *L'amplification en détails texturels et procéduraux, possiblement animés*
- *La visualisation temps réel et le calcul haute performance sur GPU*

Les équipes GÉPI et LERMA de l'Observatoire de Paris sont *spécialisées dans l'étude de la structure, de la cinématique et de la dynamique de la Galaxie, dans la réalisation de simulation N-corps prenant en compte gaz et étoiles, dans l'étude de la nature de la matière noire des Galaxies*. Elles sont en particulier fortement impliquées dans les simulations de la Galaxie dans le cadre de la mission spatiale Gaia. De part leur positionnement au sein de l'Observatoire ces deux équipes auront accès, outre leurs données et modèles propres, à l'ensemble des astronomes potentiellement intéressés par le sujet. L'intérêt porté à ce consortium par **Mr Daniel EGRET**, Président de l'Observatoire de Paris, nous garantit de pouvoir nous adresser à l'ensemble des astronomes de l'Observatoire et donc d'avoir accès aux ressources et explications nécessaires à la réussite de notre projet.

La complémentarité des équipes impliquées, aussi bien d'un point de vue technique, scientifique, que commercial laisse espérer de nombreuses retombées en savoir-faire, métier et compétences. *Il est à noter que les équipes EVASION et ARTIS de l'INRIA sont membres du pôle de compétitivité « Loisirs Numériques » de la région Rhône-Alpes.*

2.1. CONTEXTE ET ENJEUX ÉCONOMIQUES ET SOCIÉTAUX

Aujourd'hui l'infographie 3D temps interactif a atteint un haut niveau de performance notamment grâce aux développements matériels, logiciels et de recherche liés à l'industrie des jeux vidéo. En parallèle, ces technologies sont exploitées dans d'autres corps de métier, notamment dans les salles de planétariums.

Plusieurs entreprises sont actrices sur ce marché très concurrentiel – RSA Cosmos en France, Evans & Sutherland aux USA, SkyScan aux USA, Zeiss en Allemagne, SCISS en Suède, GOTO et MINOLTA au Japon - et offrent des logiciels de vulgarisation de l'astronomie dont les fonctionnalités didactiques sont très avancées, mais dont les capacités de représentation visuelle sont loin derrière ce qui a pu être réalisé dans d'autres domaines (jeux vidéos, effets spéciaux, simulateurs, etc.). Les contraintes spécifiques de cette application (fonctionnement du logiciel en synchronisation sur plusieurs ordinateurs se partageant des zones de l'affichage très haute résolution, typiquement 4096*4096, correction temps réel avant affichage sur un système de vidéoprojection multicanaux pleine voûte à 60.0Hz strict) en sont en partie responsables, du fait de la monopolisation des ressources logicielles et humaines sur la résolution de ces problématiques typiques.

Des logiciels libres ou payants, dédiés à la vulgarisation de l'astronomie, permettent également d'apporter au grand public les notions importantes de cette science, mais les capacités graphiques de ces logiciels restent, elles aussi, restreintes. Aujourd'hui ces logiciels offrent des visuels comparables à ceux présents dans les planétariums contemporains (mis à part la résolution, l'infrastructure, et les contenus).

On peut donc constater que la qualité des visuels proposés dans le domaine des planétariums et de la vulgarisation de l'astronomie est juste au niveau de ceux proposés dans le monde libre, et en deçà de ceux proposés dans d'autres industries, notamment les industries des jeux vidéo et des simulateurs. *Un des premiers enjeux de notre projet est donc d'améliorer de manière significative la qualité de visualisation des simulations proposées dans le domaine de la vulgarisation de l'astronomie.*

Aujourd'hui la communauté des chercheurs en astronomie a également besoin d'améliorer ses outils de communication afin de présenter ses résultats auprès de la communauté scientifique, au niveau de la formation des étudiants, ou bien au grand public pour sa mission de diffusion des connaissances. La possibilité de comparer visuellement les effets produits par différents modèles de physique représente un outil compétitif indéniable pour la communauté nationale en permettant de mieux diffuser ces résultats. *Il s'agit là d'un second enjeu de notre projet : mettre en place une structure de travail autour d'un sujet, restreint pour ce projet à la simulation de galaxies, celle-ci pouvant être reproduite sur d'autres thématiques.*

On retrouve ainsi la problématique de *l'intégrité des données*, la visualisation devant permettre de retrouver les phénomènes principaux identifiables sur les données sources, ainsi que la problématique de *synthèse et enrichissement des données*, puisque nous allons rassembler dans une même représentation des données et modèles issus de plusieurs disciplines de l'astronomie, mais aussi l'enrichissement des données puisqu'un travail sur le rendu sera effectué afin de permettre à la fois des visualisations « photo-réalistes » et des visualisations didactiques. *Nos modèles seront donc multimodaux puisqu'ils pourront être visualisés de manière photo-réaliste, mais aussi avec plusieurs surcouches didactiques.*

Seront donc bénéficiaires de cette démarche :

- la communauté scientifique qui aura à sa disposition des outils de validation et de diffusion plus performants,
- l'industrie des planétariums, mais indirectement aussi celles des jeux vidéos aux effets spéciaux en passant par les simulateurs, ayant soit à représenter ce type de données, soit des données ayant des caractéristiques similaires, qui bénéficieront des avancées technologiques mises en place,
- le grand public qui bénéficiera de meilleurs outils d'apprentissage.

Le niveau qualitatif actuellement atteint par les logiciels de vulgarisation de l'astronomie reste inférieur à celui d'autres domaines, du fait notamment du cumul de plusieurs contraintes importantes :

- La gestion des sources de données et des modèles de nature et structure différentes car d'origine pluridisciplinaire (cosmologie, physique stellaire, mécanique céleste...),
- La complexité des modèles de simulation utilisés, non adaptés à un calcul en temps interactif (par exemple : modèles hydrodynamiques 3D & simulations à N-corps),
- Le nombre massif d'objets à traiter,
- La gestion des aspects multi-échelles : on veut pouvoir, dans une même simulation, montrer des données de l'échelle de 10^{-18} m (molécule d'olivine dans la queue d'une comète) en même temps que des données de l'échelle de 10^{27} m (WMAP),
- L'intégration dans un même modèle de données connues (issues d'observations) et de données générées (issue de simulations ou de modèles statistiques) potentiellement concurrentielles,

Des contraintes similaires se rencontrent dans d'autres industries comme les effets spéciaux, les simulateurs ou les jeux vidéo.

Un troisième enjeu de notre projet est donc de travailler sur la résolution de ces diverses contraintes au sein d'une même simulation. Cela permettra d'aboutir à des technologies qui pourront être déployées dans d'autres domaines et de lever alors certaines limitations de ces applications.

Des projets lancés aux USA (Digital Univers & Partiview [DUAMNH]) et au Japon ([4D2U]) ont rassemblé des partenaires issus de la recherche en astronomie, de la recherche en infographie 3D temps interactif et des industriels, permettant de nettes avancées dans le domaine des contenus de la vulgarisation scientifique. *Notre projet se situe donc aussi dans la mise en place en France d'une structure de travail bénéficiant à la vulgarisation de l'astronomie, et permettant de placer la communauté nationale sur ce secteur au même niveau que ces autres projets.*

Il est à noter que notre projet se place dans une autre optique que celle des développements en cours actuellement auprès du grand public, comme Google Sky – avec notamment son partenariat avec le LSST – ou bien encore Microsoft World Wide Telescope. Ces projets mettent à disposition du grand public des images en 2 dimensions, issues des observations des astronomes. Notre projet se positionne dans la visualisation en 3D, avec la possibilité de se déplacer autour de la représentation, de plonger à l'intérieur du modèle, mais aussi avec la possibilité d'interagir avec le modèle, en faisant par exemple avancer un paramètre « Date » et en observant le mouvement des astres au fil du temps qui avance, ou bien encore en permettant l'affichage de *métadonnées* en surimpression du modèle - données didactique sur le modèle - comme par exemple l'affichage de zone de probabilité d'appartenance d'étoiles aux différentes structures composant la Galaxie.

Enfin, ce projet s'inscrit dans la continuité de *l'Année Mondiale de l'Astronomie 2009* : « Aider les citoyens du monde à redécouvrir leur place dans l'Univers et faire sentir à chacun l'émerveillement de la découverte. ». Les objectifs poursuivis aboutiront à offrir au grand public une visualisation suffisamment précise de la Galaxie pour en expliquer les concepts fondamentaux, mais aussi une visualisation suffisamment réaliste pour créer une émotion.

Pour attaquer un tel problème, un groupement de compétences de natures diverses est indispensable. C'est l'approche que nous retenons dans ce projet, qui fait appel à des chercheurs en astronomie spécialistes dans le domaine des galaxies capables de définir et de mettre au point les modèles mathématiques à utiliser, à des chercheurs infographie 3D temps interactif capables d'adapter ces modèles mathématiques à l'environnement de la visualisation temps-réel, et à un industriel spécialisé dans le domaine de la création d'un outil de vulgarisation de l'astronomie qui assurera l'intégration des technologies développées sur un modèle fonctionnel.

2.2. POSITIONNEMENT DU PROJET

- Positionnement du projet par rapport au contexte

Les outils logiciels permettant la visualisation d'objets astronomiques - applications temps réel, logiciels de modélisations et d'effets spéciaux,... - ont tous des lacunes dans les capacités à représenter ces objets particuliers, notamment des points de vue du réalisme et de la véracité scientifique. Cela est particulièrement vrai pour la représentation des galaxies dont la nôtre. Du fait de la complexité de cet objet astronomique, nous l'avons choisi pour mettre en application les technologies que nous souhaitons développer.

Nous retrouvons sur ce sujet les problématiques générales imposées par la modélisation orientée temps interactif de données astronomiques énoncées plus haut :

- *L'intégration de données et de modèles* de nature et structure différente en astrophysique (cosmologie, physique stellaire & du milieu interstellaire, mécanique céleste...), le modèle proposé étant une synthèse de modèles issus de ces disciplines,
- A noter qu'en outre ces modèles couvrent des aspects complètement différents concernant des *pans différents de la physique et de l'algorithmique d'imagerie*, notamment celui des *dispositions statiques* (morphologie), celui de la *cinématique* (mouvement), et celui des *aspects visuels* (rendu lumineux),
- La visualisation des résultats *des modèles complexes de dynamique* utilisés par les astrophysiciens. Certains calculs sont lancés sur des supercalculateurs et nécessitent plusieurs heures de calculs par image. Il nous faudra réduire les calculs pour permettre un affichage image en temps interactif et donc *les simplifier, les alléger et les optimiser* tout en gardant l'intégrité des données. Nous utiliserons les comportements essentiels des résultats de ces simulations, et leur appliquerons les contraintes de *l'infographie 3D temps interactif*,

- Le *nombre massif* d'objets : un catalogue comme NOMAD, contient plus d'un milliard d'étoiles et ce n'est qu'environ 0,5% du nombre total d'étoiles dans notre Galaxie,
- *L'enrichissement du contenu vis à vis du rendu*: il faudra être capable de visualiser la Galaxie dans son ensemble, et de s'approcher de tous les éléments individuels la composant (étoiles, systèmes d'étoiles multiples, nébuleuses, systèmes planétaires, trou noir...),
- Ce point s'accompagne d'une *modélisation multi-modèle* car dans l'extrême diversité d'échelles ce ne sont pas les mêmes représentations qui traitent les différents niveaux,
- *L'enrichissement du contenu vis à vis des données visualisables*: sur la base du *modèle 3D temps réel* de galaxie développé, il sera possible d'afficher des informations – *métadonnées* – en surimpression du modèle, permettant de donner accès à diverses explications pédagogiques,
- La gestion de *données hétérogènes* (certaines données sont des points, d'autres des objets, d'autres des *volumes diffus*, certaines données seront décrites explicitement, d'autres seront *générées de manière procédurale* à partir de données statistiques) avec *des comportements et des représentations hétérogènes* (ces données peuvent elles-mêmes être composites et inclure des mouvements propres) : gaz, poussières, corps formés comme les étoiles, corps en formation... ,
- La réalisation d'un *modèle hybride* intégrant des *données connues et des données générées* potentiellement concurrentielles : les étoiles (réelles) de notre environnement local (provenant de catalogues comme Hipparcos, Tycho, 2Mass, UCAC2, USNO-B intégrés dans NOMAD) devront être intégrées à des étoiles simulées qui, elles, devront répondre à des lois probabilistes mais également réalistes, c'est-à-dire basées sur un modèle de Galaxie comme celui de Besançon [RRDP03], ceci devant également être fusionné avec les résultats de simulations N-corps à haute résolution [FUX1999].

- **Positionnement du projet par rapport aux axes thématiques de l'appel à projets**

La modélisation d'une galaxie intégrée dans un simulateur astronomique 3D temps réel pour planétarium rentre parfaitement dans la thématique de *l'Edutainment – Serious Game-en réalité virtuelle*.

Ce projet va collaborer à l'amélioration des *contenus interactifs 3D Temps réel* en se proposant de travailler sur des technologies qui devraient permettre une avancée significative des techniques utilisées, et améliorer ainsi la qualité visuelle des *contenus* proposés dans le domaine de la *réalité virtuelle*.

Les planétariums étant des salles immersives à écran hémisphérique, accueillant le grand public, il s'agit bien *d'accès aux loisirs, à l'information et à la culture*, utilisant *un mode de communication* particulier pour favoriser *la transmission d'informations, de connaissances et de culture*.

Ce projet s'inscrit donc dans l'Axe thématique 1 et dans l'Axe thématique 2 : *Création et Production de contenus et Assemblage, Édition et Exploitation de contenus et connaissances*, en répondant aux exigences de l'appel à projet Contenu et Interaction par :

- La mise au point de modèles permettant la *visualisation de contenu* scientifique.
- La mise au point de modèles permettant *d'atteindre un niveau élevé de qualité et d'immersion*.
- La mise au point de méthodes de *rendu 3D temps réel* pour la *réalité virtuelle*, avec notamment une amplification des données et donc l'apparition de niveaux de détails au fur et à mesure de *l'immersion dans le modèle*, ces méthodes pouvant être adaptées aux *effets spéciaux* ou aux *jeux vidéos*.
- La mise au point d'un *modèle physique* simplifié se basant sur des données et des modèles scientifiques les plus réalistes possibles.
- La mise au point d'un modèle dédié à *l'éducation*, par *l'adaptation du contenu* fourni par les scientifiques aux besoins de la vulgarisation scientifique.
- La mise au point de modèles procéduraux permettant de rendre de grandes masses de données sans utilisation de stockage important pour ces données.
- La mise au point de modèles adaptés au *passage du contenu à la connaissance*, en fournissant des modèles conservant suffisamment *l'intégrité des données et modèles* scientifiques pour permettre des *présentations didactiques* de ces données. Il s'agit donc bien d'une *synthèse des données et modèles sources* constitués de *grande masses d'informations complexes*, d'un *enrichissement* notamment en matière de *visualisation 3D temps réel*, mais aussi en matière d'interaction puisque le modèle permettra la mise en évidence des phénomènes observables et explicables aux scolaires et au grand public, avec par conséquent un *traitement de grand volumes de contenus* que seront les données simplifiées.

En outre, la simulation d'une galaxie intègre la gestion d'une masse de données à traiter et à représenter et dans notre cas avec les contraintes liées à *l'infographie 3D temps interactif*.

Pour représenter la galaxie, nous aurons besoin de modéliser par des données (assimilation de catalogues existants) qui nécessiteront un traitement d'optimisation afin de permettre leur visualisation en temps interactif. Nous devons prendre en compte les possibilités d'acquisition de nouvelles données ((résultats de la mission Gaia dans quelques années).

Un modèle hybride devra être mis en place pour gérer la complétude de ces données par l'intégration de données générées issues d'un modèle probabiliste et réaliste. Comme la nature de l'aspect, et donc des représentations, change avec l'échelle, les collections d'étoiles prenant l'apparence de gaz diffus volumiques, ces modèles font potentiellement également appel à diverses catégories d'amplification de données, procédurales, texturels ou autres. Il faut par ailleurs assurer la transition entre ces différents modèles, lesquels sont possiblement animés.

Les recherches seront menées afin de respecter les contraintes temps interactif, et nécessiteront de prendre en compte différentes méthodes d'utilisation et de *programmation GPU*.

Les représentations élaborées seront exploitées dans des salles de planétariums pour faciliter l'apprentissage répondant ainsi aux thématiques de *contenus et connaissances, d'éducation, et de maîtrise de l'information, de connaissances et de culture*.

De par la nature du partenariat du consortium :

- Ce programme favorisera la *diffusion des connaissances entre un laboratoire* spécialisé en infographie 3D temps interactif *et un industriel*. En effet, les équipes ARTIS et EVASION de l'INRIA offriront à RSA Cosmos un support conseil, ainsi qu'une veille dans les technologies en infographie 3D temps interactif.
- Ce programme permettra aussi *la création de synergies entre deux secteurs actuellement distants* : la recherche en astronomie et la recherche en infographie 3D temps interactif. En effet, les équipes ARTIS et EVASION de l'INRIA travailleront avec les équipes GEPI et LERMA de l'Observatoire de Paris sur un sujet particulier, mais ce rapprochement pourrait permettre des collaborations futures sur d'autres thématiques comme l'Observatoire Virtuel.
- **Positionnement du projet aux niveaux européen et international**

Comme nous le verrons dans l'État de l'art de la section suivante, très peu de travaux ont été menés sur les thèmes fixés par notre projet.

Notre projet propose donc la mise au point d'un ensemble très avancé par rapport à l'existant, et de faire progresser diverses technologies d'usage applicatif plus large.

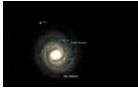
3. DESCRIPTION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

3.1. ÉTAT DE L'ART

Dans le domaine des logiciels temps réel de vulgarisation de l'astronomie

Dans l'ensemble des logiciels de vulgarisation scientifique, on retrouve essentiellement trois types de représentations de galaxie temps-réel :

- **Un modèle d'infographie statique**, développé initialement dans le projet [MITAKA] au Japon (Projet Open Source sous licence MIT développé par le projet [4D2U] du National Astronomy Observatory of Japan(NAOJ)), repris et adapté par la plupart des vendeurs de planétariums (RSA Cosmos, Evans & Sutherland, SCISS, SkySkan).

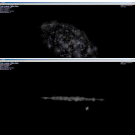
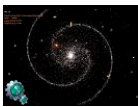
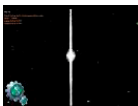


Ce modèle est essentiellement un travail d'infographie. Il propose un modèle statique de la Galaxie, qui donne une vue d'ensemble relativement réaliste.

Les points positifs de ce modèle sont, entre autre : possibilité de visualiser la galaxie dans son ensemble, gestion de l'absorption dans le plan de la Galaxie, possibilité de voyage à l'intérieur de la Galaxie, on entre dans une zone diffuse de lumière et des étoiles fictives ont été placées à l'intérieur de la Galaxie. Les points négatifs de ce modèle sont, entre autre : la vision extérieure ne permet pas de voir les zones de nuages de gaz et de poussières, ni les nébuleuses. Les étoiles fictives ne répondent à aucune loi statistique, pas de cinématique, pas d'amplification des données.

Le partenaire industriel, RSA Cosmos a déjà travaillé sur ce modèle qui pourra servir de base dans un premier temps, et être amélioré.

- **Un modèle animé faisant apparaître les bras spiraux**, développé en amateur par Philippe GUGLIELMETTI (Polytechnicien).[SPIRALGALAXIE]. Ce modèle ne traite qu'un aspect de la cinématique de la Galaxie (ondes de densité) et ne propose qu'une visualisation en points colorés de 15 000 étoiles en mouvement suivant ces ondes de densité. Les points ont une couleur qui varie représentant le type spectral de l'étoile en fonction de son âge, mais aucune gestion de magnitude n'est mise en place
- **Des modèles d'infographie statiques simplistes** ne proposant qu'une visualisation extérieure de notre Galaxie. Par exemple celui proposé par la NASA dans son logiciel « 3D Guide to the Galaxy » [NASAGALAXIE] qui ne propose qu'un maillage texturé permettant une visualisation depuis l'extérieur de la Galaxie, ou encore le modèle proposé dans le logiciel libre [CELESTIA] qui représente la Galaxie avec des sprites positionnés le long de bras spiraux.

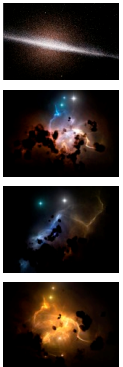


Beaucoup de caractéristiques sont omises par ces modèles : aucun lien avec des données ou simulation astrophysiques existantes, aucun modèle physique n'est utilisé pour le rendu lumineux, pas de visualisation des nuages de gaz et de poussières, aucun modèle astrophysique complexe n'est utilisé pour représenter la cinématique, aucune gestion de niveaux de détails ne permet de faire apparaître les sous-systèmes de la Galaxie lors de déplacements vers l'intérieur, aucun modèle ne représente tous les éléments composant la Galaxie, aucun modèle ne permet de retrouver tous les éléments morphologiques de la Galaxie.

Les développements effectués dans le cadre d'applications temps réel sont loin d'offrir un niveau de réalisme suffisant tant en matière de morphologie, que de placement et d'utilisation de données scientifiques connues (catalogues & simulation), de dynamique, cinématique ou de rendu des effets lumineux. Peu de travaux ont été portés sur la modélisation de cette structure complexe. Notre projet propose donc la mise au point d'un ensemble de modèles et de technologies particulièrement innovants, représentant une véritable percée par rapport à tous les développements existants.

Dans le domaine des jeux vidéo

Un projet de jeu réseau massivement multijoueurs, INFINITY : The Quest for Earth développé par F. BREBBION [INFINITY] a apporté une approche différente : la génération procédurale des étoiles composants une galaxie. Ce projet de jeu, dont l'objectif est de permettre au joueur de se déplacer dans un univers « spatial » ressemblant au nôtre, a pu permettre la mise au point d'un algorithme permettant de générer à la volée, en fonction de la position de la caméra, un catalogue d'étoiles. Cette génération est déterministe et respecte des densités de populations permettant de voir apparaître notamment un bulbe, un halo et des bras spiraux. Cependant ce modèle ne repose pas sur des données scientifiques issues de laboratoires de recherche en astronomie et ne cherche pas à respecter les contraintes imposées par l'intégration de données « connues ». La morphologie a donc été travaillée selon des critères de vraisemblance et non de réalisme et ne répond donc pas aux besoins de vulgarisation scientifique en n'ayant pas été mis en adéquation avec des modèles scientifiquement acceptés.



Dans le domaine des algorithmes de l'infographie 3D temps interactif

Très peu de travaux scientifiques de synthèse d'images portent spécifiquement sur la représentation et le rendu de galaxies ou nébuleuse. [LL08] donne de très beaux résultats en...10h de calcul sur 16 processeurs pour une image. [NGNPEWD01] s'en acquitte en 1.5 seconde par image... sur un supercalculateur à 900 processeurs.



Dans le domaine de la simulation réaliste en temps réel s'appuyant sur les GPU modernes de type nvidia G80, [MHLH05] parvient à rendre un volume de nébuleuse de 128^3 voxels en 1/6 seconde à 1/2 seconde selon qu'1 à 5 étoiles illuminent le gaz. La performance est notable, mais le volume reste trop petit pour l'application visée, pour un temps tout juste interactif et peu de sources.

Tous trois se basent sur des représentations en volumes voxels (structurés en scenes-graphs pour le second), mais aucun de ces modèles ne prévoit l'usage de données animées.

Côté construction et amplification des données, [NGNPEWD01] part de structures géométriques simples qui sont perturbées par des fonctions de bruit, le tout étant voxelisé.

Cependant, diverses briques fondamentales existent dans la discipline en rapport avec le sujet, et les équipes ARTIS et EVASION ont contribué à plusieurs.

Dans les méthodes élémentaires pour représenter de grandes quantités de données ponctuelles ou linéiques, il faut citer les systèmes de particules [REEVES83,85]. Dans les applications interactives type jeux vidéos voulant simuler des distributions spatiales de myriades d'objets, de billboards ou sprites – petites structures transparentes face caméra – sont attachées aux particules. Cette approche permet même d'émuler des volumes en utilisant une simple tâche floue ou nuageuse comme texture (approche Celestia pour la Galaxie, et plus généralement imposteurs volumiques parfois utilisés pour des simulateurs de vol). Cette méthode peut difficilement être étendue à des figurations plus précises.

En visualisation scientifique, sur les sujets proches de celui de ce projet on recourt généralement à des représentations volumiques, à base de grilles de voxels, qu'on visualise par projection (splating) ou traversée de rayon, en traitant au mieux comme effet d'optique l'absorption sur 1 seul scattering, les ombres, et l'illumination locale. L'arrivée des cartes graphiques puissantes programmables (GPU) a bouleversé l'ordre possible en terme de performance, et un rendu temps réel de qualité est aujourd'hui possible. Mais en matière de rendu volumique, le problème est essentiellement lié aux données : un très gros volume ne tient pas sur la mémoire d'un ordinateur, et moins encore sur celle d'une carte graphique !

L'équipe ARTIS a travaillé sur un modèle d'organisation adaptatif des données avec chargement progressif à la demande, permettant de rendre en temps interactif de gros volumes statiques [CNLE09]. La résolution apparente de ces volumes pourrait être considérablement augmenté en utilisant des fonctions de « bruit » [perlin89] ajoutant des détails analytiques à la volée, sans stockage (au détriment du coût).

Côté rendu tenant compte d'interactions globales plus évoluées (réflexions multiples et ombres portées), l'équipe EVASION a obtenu des simulations physiquement réalistes de ciels terrestres homogènes en temps réel [BN08].

Côté animation, l'équipe EVASION a introduit des méthodes de textures animées [AN05], qui permettent également d'accroître la résolution apparente en stockant les détails en texture, et en offrant un moyen de mettre en mouvement de telles représentations. Bien que 2D, on peut imaginer sa généralisation en 3D. En outre, cette méthode ouvre des pistes pour mettre en mouvement le contenu textuel. Dans les méthodes de « bruit » dédiés aux détails de mouvement, permettant donc de limiter simulation et stockage explicite, on peut citer [bridson07] Ce type d'approche a notamment été utilisé pour amplifier des simulations numériques de fumées.

Dans le domaine des modèles astrophysiques liés aux données galactiques

Dans le domaine de la physique galactique, les dernières années ont vu des découvertes dont l'intérêt scientifique et le caractère « visuel » méritent de s'y attarder. Les courants d'étoiles, en particulier dans le halo galactique, témoignent d'une activité d'accrétion de galaxies extérieures, tant il est vrai que notre Galaxie n'est pas isolée et interagit avec son environnement proche : le nombre de galaxies satellites de la Voie Lactée nouvellement détectées a été doublé!

Ces courants sont des structures très étendues (des dizaines de degrés de long sur la sphère céleste, soit des dizaines de fois le diamètre apparent de la Lune), dans le ciel profond (magnitude faible). La migration des étoiles dans le disque est également intéressante. Au centre de la galaxie, l'effet d'un probable trou noir très massif a été mis en évidence par le mouvement de sources proches. Le nombre de bras spiraux reste peu clair (2 à 6 !). On voit donc que la représentation populaire de notre propre Galaxie est extrêmement dépassée ! Mais la présence d'une barre a été confirmée. Dans le domaine de la structure galactique, d'autres avancées sont moins facilement représentables, mais la présence proche de la galaxie du Sagittaire est sans doute intéressante.

Par contre, la vision en 3D de notre Galaxie reste extrêmement pauvre, les incertitudes sur les distances étant considérables, et il faudra attendre 2012 et le lancement du satellite Gaia pour en avoir une vision plus précise. On doit s'en rapporter aux calibrations photométriques utilisant des grands catalogues récents (2MASS, etc.) d'une part, et aux simulations de notre Galaxie d'autre part pour présenter une structure bien approximative de l'univers proche dans lequel nous vivons.

Concernant cet aspect de modélisation de la structure galactique, la synthèse de populations stellaires, telle qu'elle est implémentée dans le modèle de Galaxie dit de Besançon [RRDP03] est un outil qui vise ultimement à obtenir un modèle dynamique auto-cohérent de la Voie Lactée. C'est d'ailleurs ce modèle, qui tente de prendre simultanément en compte les différentes populations stellaires, leur évolution et leur relation au potentiel galactique, qui est utilisé pour la simulation des données qui seront observées par la mission Gaia.

L'autre volet de la modélisation ayant permis des avancées significatives, grâce en particulier aux nouvelles capacités de calcul, est celui des modèles dynamiques l'évolution temporelle dans le potentiel gravitationnel et basés sur des simulations à N-corps / hydrodynamique (pour N grand). Un des premiers modèles N-corps alliant étoiles et gaz fut celui de [FUX1999], offrant une modélisation remarquablement cohérente des principales structures de la Galaxie et de leur dynamique.

3.2. OBJECTIFS ET CARACTÈRE AMBITIEUX/NOVATEUR DU PROJET

Les objectifs scientifiques et techniques sont :

- Les différents types *morphologiques* doivent être reproduits (galaxies elliptiques, galaxies lenticulaires, galaxies irrégulières, galaxies spirales, barrées ou non)
- La mise au point de technologies permettant les animations *cinématiques*, parfois arbitraires, du modèle, à titre d'exemple de mouvements :
 - Au sein du mouvement général de rotation de la galaxie
 - Mouvement des bras spiraux (onde de densité)
 - Mouvement dû à la force de rappel dans le plan
 - Mouvement propre et étoiles fuyantes (runaway), déformation des constellations
 - Mouvement autour du trou noir super massif de la galaxie
 - Mouvement des étoiles binaires visuelles ou astrométriques (composante secondaire non visible, pouvant être trou noir)
 - Mouvement des amas ouverts ou autres groupes cinématiques
 - Courant d'étoiles par exemple dans le halo (suite aux effets de marée)
 - Mouvement des poussières et des gaz
- La mise au point de technologies permettant *une représentation des données adaptée et un rendu réaliste* :
 - Représentations à même de rendre compte des masses de données à visualiser, dans les cas statiques et animés (notre Galaxie compte environ 200 milliards d'étoiles)
 - Algorithmes et représentations capables d'assurer les changements d'échelles et transition entre niveaux de détails
 - Algorithmes d'illumination globale au sein de volumes de gaz, comprenant des sources (étoiles) et des réflexions et des absorptions de lumières (nuages de poussière ou de gaz interagissant avec la lumière)
 - Reproduction des effets de distorsions optiques (microlentilles déviant la lumière)
 - Représentations et rendu à même de prendre en compte différents aspects selon la longueur d'onde (depuis l'infrarouge permettant de voir à travers la poussière, jusqu'aux rayonnements très énergétiques des binaires X)
- Dans le Groupe Local (regroupant, outre la voie lactée, les galaxies voisines), les galaxies spirales normales ou barrées (M31, M33) sont complexes à représenter, car elles sont résolues en étoiles (i.e. celles-ci sont visibles individuellement). Les modèles et méthodes seront néanmoins mis en place pour la Voie Lactée de telle sorte à pouvoir s'étendre vers la représentation 3D des galaxies du Groupe Local dans un effort à plus long terme non couvert dans la présente demande.
- Il ne suffit pas d'intégrer des données et techniques dans un logiciel, réussir la tâche nécessite de lever un certain nombre de verrous scientifiques et techniques :
 - Les modèles n'existent pas sous une forme utilisable en infographie 3D temps interactif : les équations régissant rigoureusement les mouvements des astres

nécessitent des jours de calculs avec des modèles hydrodynamiques et N-corps. Ceci n'est naturellement pas envisageable dans le cadre d'une visualisation interactive.

- Certaines structures ne pourront être visualisées que par des modélisations arbitraires, faute à ce jour de données scientifiques précises.
- Les représentations de données complexes ne savent pas vraiment prendre en compte le mouvement, l'hybridation et les transitions.

Outre, pour les partenaires scientifiques, les avancées scientifiques dans les modèles et assimilations de données, le produit final développé par RSA Cosmos doit être un ensemble logiciel de représentation pédagogique de la Galaxie scientifiquement réaliste en termes de forme, de mouvement et d'aspect visuel, à grande échelle comme dans les détails. En outre, le produit final devra être adapté à la vulgarisation scientifique, et devra donc ajouter aux modèles une sur couche de données et d'affichages nécessaire à la transmission des connaissances.



Il est important de noter que *notre projet ne se situe pas dans la simulation rigoureuse des phénomènes* présents au sein des galaxies, seulement dans une *représentation simplifiée* conservant cependant *l'intégrité des données du point de vue de la vulgarisation* c'est à dire les phénomènes émergents. Nous ne prétendons donc pas gagner un facteur de performance sur la base des modèles physiques scientifiques existant, ces calculs nécessitant toujours à l'heure actuelle une puissance de calcul incompatible avec la contrainte de temps interactif. Notre ambition est donc :

- de rassembler l'ensemble des modèles, données et résultats de simulation
- d'en faire l'analyse pour déterminer les phénomènes prépondérants, ou en tout cas les phénomènes intéressants du point de vue de la vulgarisation
- de modifier ou créer, alléger et optimiser des modèles ou données, afin de conserver dans ces modèles l'intégrité des phénomènes recensés ci-dessus
- d'implémenter l'ensemble des modèles simplifiés dans une seule et même représentation
- d'ajouter à cette représentation toutes les interfaces, interactions et outils nécessaires pour son utilisation par un médiateur scientifique dans sa mission d'éducation du grand public.

Ainsi, *ce projet comporte un risque limité* dans le sens où la représentation finale sera une accumulation des diverses techniques et des divers modèles mis au point sous une seule représentation. Dès lors, même au cas où sur un modèle ou phénomène particulier nous n'arrivions pas à lever l'ensemble des verrous technologiques permettant son intégration en temps interactif dans la représentation finale, nous aurons toujours d'autres sous-ensembles dont l'intégration réussira. De plus, il est peu probable que nous arrivions à un constat d'échec sur l'intégration d'un modèle particulier car les solutions de replis sont diverses, si l'intégration d'un modèle astrophysique n'était pas possible alors nous pourrions :

- Générer une base de données exploitable en temps interactif en utilisant le modèle astrophysique d'origine,
- Supprimer certains paramètres, du modèle d'origine pour n'en conserver que les phénomènes émergents et alléger ainsi le temps de calcul,
- Créer un nouveau modèle n'utilisant plus les équations du modèle d'origine, mais une simplification de ces équations,
- Créer un nouveau modèle ne prenant plus en compte la dynamique des objets – c'est à dire leurs interactions respectives, mais ne décrivant que leur mouvement (cinématique)

Pour chaque phénomène émergent, un choix sera fait parmi ces diverses techniques, l'objectif étant de pouvoir être compatible avec l'intégration en temps interactif tout en conservant au maximum l'intégrité des données.

Les critères de réussite et les méthodes d'évaluation sont :

- Contrôle du modèle *morphologique* : validation par l'Observatoire de Paris de la pertinence des morphologies obtenues,
- Contrôle du comportement *cinématique* du modèle : validation par l'Observatoire de Paris de la crédibilité des mouvements présentés par le modèle,
- Contrôle du *rendu et de la représentation* : validation vis à vis d'images astronomiques, validation par l'Observatoire de Paris de la crédibilité du rendu, validation par l'Observatoire de Paris de la représentation des phénomènes principaux,
- Contrôle du simulateur logiciel intégré par RSA Cosmos : performances compatibles temps réel, stabilité des applications, malléabilité des paramètres physiques, légèreté des ressources mémoire nécessaires.

L'articulation inter disciplinaire vis-à-vis de la collecte des informations relatives à l'astrophysique sera réalisée par l'Observatoire de Paris, dont la première mission consistera à étudier l'utilisation de modèles existants, de catalogues de données, ou de résultats de simulation des différentes disciplines astrophysiques nécessaires au projet.

Cette mission continuera par la mise au point de modèles astronomiques allégés, en partenariat avec les équipes ARTIS et EVASION de L'INRIA, puis par le support scientifique auprès des autres partenaires, pour finir par les étapes d'évaluation et de validation.

4. PROGRAMME SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE, ORGANISATION DU PROJET

4.1. PROGRAMME SCIENTIFIQUE ET STRUCTURATION DU PROJET

Les objectifs présentés en section 2 peuvent être scindés en objectifs intermédiaires ou phases de développement, certaines pouvant être réalisées en parallèle :

Phase 1 : modèle statique de notre Galaxie (1^{ère} année)

Développement d'un modèle statique de notre Galaxie permettant :

- Une visualisation globale avec laquelle on pourra représenter : la structure de la galaxie (disques mince et épais, bulbe, halo, barre), les bras spiraux, prenant en compte l'effet de l'absorption interstellaire par les nuages de gaz & poussières
- Un affichage réaliste vu depuis le système solaire avec une transition douce et continue entre les deux niveaux d'échelles, et sans prendre en compte les structures de niveaux intermédiaires.

Afin de permettre les autres phases ci-dessous, la structure de base doit être suffisamment solide pour permettre des ajouts ultérieurs. Le modèle sera ainsi constitué de trois niveaux d'échelle successifs :

1. Utilisation d'un catalogue de données réelles comme NOMAD. Pour l'aspect 3D, les distances sont bien évidemment absentes ; une approximation en sera obtenue via les mouvements propres réduits (pour une petite fraction du Catalogue) et la photométrie infrarouge pour la correction de l'extinction. Les types spectraux seront également déterminés ou extrapolés.
2. Génération d'étoiles simulées via un modèle de Galaxie comme [RRDP03] avec des simplifications, une complexité consistant à en soustraire le catalogue précédent et à fabriquer la transition.
3. Adaptation morphologique aux particules générées par un modèle N-corps comme celui de [FUX1999] pour faire la transition avec la structure à grande échelle.

Les premiers points seront réalisés grâce à un stage d'ores et déjà programmé à partir de mai 2010.

Phase 2 : Amplification des données du modèle statique de Galaxie (2^{ème} année)

Amélioration du modèle statique de notre Galaxie : déplacement possible du point de vue dans l'ensemble de la Galaxie, amplification des données sur l'ensemble des niveaux d'échelles. L'amplification concernera les données globales de la Galaxie (étoiles, nuages de gaz), on ne fera pas apparaître de sous-systèmes (nébuleuses, amas d'étoiles...) ce point étant traité dans la phase 6 du projet.

Phase 3 : modèle pluri-morphologique & visualisation dans diverses longueurs d'ondes (3^{ème} année)

Développement d'un modèle de galaxie pluri-morphologique : Avec les mêmes possibilités que le modèle précédent, mais sans intégration de catalogues, possibilité de générer d'autres formes de galaxies. Représentation des galaxies résolues en étoiles du Groupe Local. Visualisation possible dans différentes longueurs d'ondes.

Phase 4 : modèle de rendu animé de la Galaxie (3^{ème} année)

Mise en mouvement du modèle statique : développement d'un modèle de représentation de notre Galaxie permettant de montrer les principaux mouvements (bras spiraux, barre, etc.).

Phase 5 : modèle statique de la Galaxie avec visualisation de sous-systèmes (4^{ème} année)

Développement d'un modèle statique de notre Galaxie permettant de se rapprocher jusqu'à visualiser des sous-systèmes connus. Ces sous-systèmes pourront être animés. Ces sous-systèmes seront du type nébuleuses, amas d'étoiles, nébuleuses planétaires

Phase 6 : Intégration des modèles de rendu animé (la Galaxie) et local (des objets de la Galaxie) avec visualisation des sous-systèmes (4^{ème} année)

Développement d'un modèle d'animation hybride de notre Galaxie permettant de visualiser à la fois le mouvement global et de se rapprocher jusqu'à visualiser l'animation dans des zones locales particulières (systèmes binaires, trou noir central, courants d'étoiles, etc.)

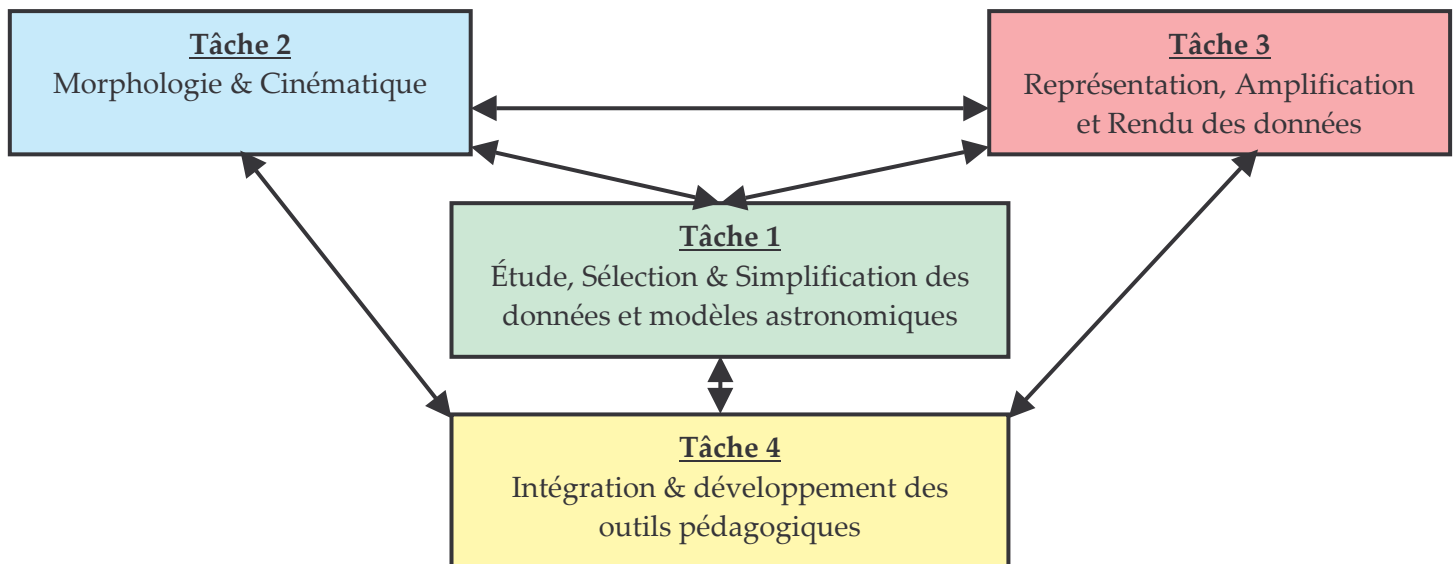
Par cinématique, on entend l'animation, au sens commun, de la Galaxie. Dans ce projet, l'enjeu est de pouvoir visualiser les mouvements des astres pour vulgariser nos connaissances sur les galaxies. Dès lors il n'est pas fondamental d'intégrer à nos calculs les équations dynamiques, décrivant les interactions entre les astres. Ainsi pour créer cette cinématique, on s'appuiera par ordre de préférence :

- *Sur des modèles dynamiques, décrivant le mouvement des astres par leurs interactions,*
- *Sur des modèles dynamiques simplifiés, ne prenant en compte qu'une partie des interactions*
- *Sur des modèles cinématiques, décrivant le déplacement des astres en fonction du temps (procédurale)*
- *Sur des modèles cinématiques simplifiés, décrivant un déplacement approché des astres en fonction du temps*
- *Sur des données pré-générées depuis les modèles astrophysiques et stockées sous forme de fichiers, le modèle allant récupérer ces résultats pour créer les mouvements (keyframe).*

Les auteurs sont donc conscients que l'utilisation directe de modèles dynamiques ne sera possible que dans un nombre restreint de cas, et que dans la majorité des cas, il faudra réaliser un travail pour adapter, alléger, voir transposer ces modèles pour satisfaire aux contraintes de l'infographie 3D temps interactif.

L'objectif de chaque Phase est d'aboutir à l'intégration d'un nouveau modèle plus performant dans la solution In Space System, et en la mise à jour du logiciel simplifié mis à la disposition de l'Observatoire de Paris. La dissémination et la valorisation seront donc réalisées en continu à chaque fin de phase.

Pour chacune de ces phases on retrouve 4 tâches représentant les travaux menés tout au long du projet par les différents partenaires. Les phases correspondent donc à des thèmes intermédiaires pour ces travaux. Ces tâches décrites dans le détail dans les paragraphes suivants, seront réalisées en parallèle par les différents partenaires, et convergeront à chaque réalisation des phases successives.



Dans cette collaboration et dans ces différentes tâches, du côté des laboratoires, seront mis au point des modèles applicables à court terme, d'autres modèles seront probablement applicables seulement à moyen terme (fin du projet) voire à plus long terme (après la fin du projet) constituant une précieuse réserve de veille technologique. D'autre part le projet bénéficiera durant tout son déroulement, de l'expertise des différents laboratoires sur les développements menés par les autres partenaires ainsi que d'une veille technologique sur le sujet.

Bien qu'un partenariat fort doive être mis en place entre les différents partenaires, la réalisation des tâches restera relativement indépendante, en effet des dialogues entre les partenaires devront être mis en place afin de faire converger d'un côté les besoins en infographie 3D temps interactif – équipes ARTIS et EVASION, de l'autre les ressources en astronomies – équipes GEPI et LERMA, et enfin les besoins et vulgarisation scientifique – RSA Cosmos.

Chaque partenaire pourra commencer à travailler sans forcément attendre les résultats des autres :

- les équipes GEPI et LERMA pourront commencer le travail de rassemblement, d'assemblage et de mise en forme des données et modèles, puis le travail de simplification des modèles
- les équipes ARTIS et EVASION pourront commencer à travailler sur les problématiques d'amplification de données de type poussières, gaz et sources lumineuses
- RSA Cosmos pourra commencer à réaliser des modèles morphologiques sur la base d'analyse d'image et de données et modèle déjà en sa possession

Bien évidemment, une fois les premiers résultats obtenus par l'un ou l'autre des partenaires, ces résultats seront communiqués aux autres équipes qui pourront alors apporter leur conseil et analyse et intégrer ces résultats dans leur travail.

Les tâches sont donc relativement indépendantes, bien que les résultats apportés par un partenaire feront progresser la complexité des modèles générés par chaque tâche. Mais si une tâche n'apporte pas autant de résultats qu'espéré ou si une tâche échoue sur un point précis, cela ne remet pas en cause les avancées technologiques qui pourront être apportées par les autres travaux menés dans le cadre du projet.

De surcroît, il est peu probable qu'une tâche déclare un échec complet sur un point précis car, quelque soit le point envisagé, il existera toujours des solutions de repli, certes moins performantes, de qualité moindre ou encore moins réaliste, mais quel que soit le niveau de succès, en résultera toujours une avancée technologique dans les domaines concernés.

Concernant les partenaires scientifiques, les travaux donneront lieux à des soumissions, publications et présentations d'articles scientifiques, ainsi que la mise en ligne d'articles et de rapports de recherche.

Concernant RSA Cosmos, la valorisation se traduira naturellement par la diffusion commerciale de nouvelles générations de logiciels et d'installations de planétariums numériques.

4.2. MANAGEMENT DU PROJET

RSA Cosmos sera le coordinateur du projet et assurera donc la tâche de coordination.

Les équipes GÉPI et LERMA seront responsables de la tâche 1 : « Étude, Sélection & Simplification des données et modèles astronomiques ».

Tout au long du projet l'équipe du GÉPI assurera en plus un rôle de conseil et de validation scientifique.

RSA Cosmos sera responsable, en plus de la tâche de coordination, des tâches 2 et 4 : « Morphologie & Cinématique », « Intégration & développement des outils pédagogiques ».

Les équipes EVASION et ARTIS seront responsables de la tâche 3 : « Représentation, Amplification et Rendu des données »

Tout au long du projet l'équipe du ARTIS assurera un rôle de conseil, d'expertise et d'observateur.

Une forte collaboration sera mise en place entre les partenaires :

- Les équipes EVASION et ARTIS travailleront en collaboration avec les équipes GEPI et LERMA notamment sur les aspects de simplification des modèles, de définitions des besoins en modèles mathématiques applicables à l'infographie 3D temps interactif.
- Les équipes EVASION et ARTIS travailleront en collaboration avec RSA Cosmos notamment en tant que conseil et veille technologique sur les technologies en infographie 3D temps interactif utilisables par RSA Cosmos
- Les équipes GEPI et LERMA travailleront en collaboration avec RSA Cosmos notamment en tant que conseil scientifique sur la définition des phénomènes à vulgariser et donc à visualiser. RSA Cosmos mettra alors au point les technologies permettant l'approche didactique des données et modèles.
- RSA Cosmos assurera la cohérence du projet, en jouant le rôle de coordinateur

Un chef de projet sera nommé pour chaque tâche. Une première réunion de démarrage du projet sera mise en place. Tous les semestres, une réunion de travail sera mise en place afin de permettre, lors des débuts de phases de discuter des spécifications, en cours de tâche de valider l'avancement des travaux et en fin de tâche de valider les travaux.

Durant les phases, les Chefs de projet pourront mettre en place des réunions avec seulement un partenaire, si besoin à l'avancement des travaux.

4.3. DESCRIPTION DES TRAVAUX PAR TÂCHE

4.3.1 TÂCHE 1 : ÉTUDE, SÉLECTION & SIMPLIFICATION DES DONNÉES ET MODÈLES ASTRONOMIQUES

- ***objectifs de la tâche et indicateurs de succès***

L'objectif de cette tâche est de fournir à RSA Cosmos et aux équipes EVASION et ARTIS, tous les modèles et données nécessaires à la mise au point des modèles de galaxies.

Ces données et modèles devront être travaillés afin de permettre leur intégration en infographie 3D temps interactif, du point de vue de l'optimisation et de l'allègement. Pour les données, le travail sur l'adaptation du format de stockage sera effectué par les autres équipes dans les autres tâches.

Les indicateurs de succès de cette tâche seront la réussite de l'intégration par les autres partenaires des modèles et données réalisés dans cette tâche.

- ***responsable de la tâche et partenaires impliqués***

Les responsables de cette tâche seront les équipes GÉPI et LERMA de l'Observatoire de Paris.

Les équipes ARTIS et EVASION auront aussi un rôle important dans cette tâche, en tant que spécialistes en infographie 3D temps interactif. En effet, une collaboration étroite sera nécessaire entre ces deux partenaires afin d'orienter les choix en matière de simplification ou de re-conception des modèles astrophysiques aux fins envisagées par le projet.

RSA Cosmos sera aussi impliqué dans cette tâche en tant que coordinateur du projet.

- ***programme détaillé des travaux***

Des modèles scientifiques sont actuellement utilisés par les astronomes sur des super-ordinateurs pour générer des données et permettre aux scientifiques de comparer les résultats de leurs modèles aux données d'observations. Notre projet se situe sur un autre plan : la vulgarisation scientifique de ces données auprès des scolaires et du grand public. Aussi, nos exigences vis à vis du modèle sont différentes : seul compte la mise en évidence des phénomènes intéressants à expliquer : les phénomènes émergents. Aussi, bien que la piste d'utiliser directement certains modèles scientifiques ne soit pas écartée, il est très probable que la contrainte « temps réel » nous impose une simplification de ces modèles pour n'en conserver que la visualisation des phénomènes émergents pour en donner les explications didactiques.

Le travail des équipes *GÉPI et LERMA* sera donc :

- de rassembler l'ensemble des données et modèles utilisables dans notre projet,
- de retravailler les données pour les besoins de la visualisation en infographie 3D temps interactif, notamment en ce qui concerne l'estimation des distances des astres,
- d'analyser les données et modèles pour en ressortir les phénomènes émergents et les organiser en ordre d'intérêt du point de vue de la vulgarisation,
- de créer des modèles simplifiés ou alternatifs des modèles astrophysiques, conservant l'intégrité des données du point de vue des phénomènes émergents, pour permettre leur intégration en infographie 3D temps interactif.

Les équipes *ARTIS et EVASION* auront un rôle important de conseil et de validation sur les modèles proposés.

La mission des équipes *GÉPI et LERMA* consistera :

- *Pour toutes les phases :*
 - Conseil scientifique pour déterminer les points majeurs d'intérêt des modèles : les phénomènes émergents
 - Validation scientifique
- *Pour la Phase 1 : modèle statique de notre Galaxie & pour la Phase 2 : Amplification des données du modèle statique de Galaxie*
 - Fourniture des éléments permettant de travailler sur la morphologie générale de notre Galaxie (données connues, modèles de distribution probabilistes des populations stellaires)
 - Fourniture d'éléments permettant de travailler sur la morphologie des amas et systèmes multiples d'étoiles d'un point de vue global
 - Fourniture d'éléments permettant de travailler sur la morphologie des nuages de gaz interstellaires d'un point de vue global
 - Fourniture d'éléments permettant de travailler sur le rendu des nuages de gaz et de poussières (modélisation de l'absorption, Ionisation, Réflexion, Diffusion)
 - Fourniture d'éléments permettant de travailler sur le rendu des étoiles (caractéristiques du rayonnement en fonction du type d'étoile)
- *Pour la Phase 3 : modèle pluri-morphologique & visualisation dans diverses longueurs d'ondes*
 - Fourniture des modèles astrophysiques permettant d'obtenir les différentes formes de galaxies
- *Pour la Phase 4 : modèle de rendu animé de la Galaxie*
 - Fourniture des éléments permettant de faire un rendu réaliste du mouvement global de la Galaxie.

- *Pour la Phase 5 : modèle statique de la Galaxie avec visualisation de sous-systèmes*
 - Fourniture d'éléments permettant de travailler sur la morphologie des sous-systèmes
 - Fourniture des modèles dynamiques ou cinématiques à prendre dans ces sous-systèmes
 - Fourniture d'éléments permettant de travailler sur le rendu des sous-systèmes

- **Point de départ des travaux**

On peut citer quelques éléments qui nous serviront de points de démarrage pour le travail sur la morphologie de notre Galaxie :

- Travail sur le Catalogue NOMAD d'un milliard d'étoiles, transformation pour permettre le 3D sur un sous-ensemble du Catalogue
- Simplification du modèle de simulation de la Galaxie de [RRDP03]
- Travail sur les modèles de Galaxie de Binney (1991) [BINNEY1991], Fux (1999) [FUX1999], [SC2002]
- Travail sur la simulation des flux de gaz Rodriguez-Fernandez & Combes (2008) [RODRIGUEZCOMBES2008]
- Travail sur le modèle de projection développé par Pohl et al (2008) [POHL2008]

Ce travail va donc consister à rassembler les connaissances et les mettre en forme pour permettre leur intégration dans du contenu numérique tout en extrayant les informations devant être présentées quand à la transmission des connaissances (phénomènes émergents).

- **livrable,**

- données, modèles et algorithmes
- documents de synthèse sur les phénomènes émergents à vulgariser
- rapports et soumissions d'articles
- comptes-rendus de réunion

- **contributions des partenaires (« qui fait quoi »),**

- RSA Cosmos : coordination entre les partenaires de l'appel à projet
- ARTIS & EVASION : spécifications des contraintes limitatives & validation des modèles vis à vis de ces contraintes
- GÉPI & LERMA : responsable de la tâche, coordination et synthèse entre les diverses disciplines astrophysiques

- ***les risques de la tâche et les solutions de repli envisagées.***

Le risque de cette tâche est de ne pas arriver à adapter des modèles scientifiquement rigoureux et suffisamment simples pour être exploitables dans des conditions de temps réel, ou d'effectuer les transitions entre les différents niveaux d'échelle.

Comme nous l'avons décrit plus haut dans ce document, notre objectif n'est pas la simulation exacte mais la vulgarisation, ainsi nous aurons donc plusieurs possibilités dans le cas d'une impossibilité d'adaptation directe des modèles utilisés en astrophysique :

- Allègement du modèle dynamique astrophysique pour supprimer certains facteurs n'intervenant pas dans les phénomènes émergents
- Elaboration de modèles cinématiques extrapolés de résultats de simulation effectuée depuis les modèles dynamiques astrophysiques
- Elaboration de modèles cinématiques ad hoc, permettant de retrouver les phénomènes émergents
- Elaboration de techniques d'animation 3D temps interactif utilisant en temps interactif des données obtenues de résultats de simulations effectuée depuis les modèles dynamiques astrophysiques, et adaptés à ces techniques

L'intérêt et le soutien manifestés pour ce projet par l'exécutif de l'Observatoire, et l'atout indéniable de l'apport à nos collègues dans le cadre de l'enseignement et de la formation créés par ce projet, font que le support complémentaire d'autres équipes de l'Observatoire de Paris est acquis, permettant de mobiliser l'ensemble des spécialistes nécessaire à la bonne réalisation de cette tâche, en particulier dans des domaines non détaillés ici, mais couverts par des équipes de l'Observatoire.

4.3.2 TÂCHE 2 : MORPHOLOGIE & CINÉMATIQUE

- **objectifs de la tâche et indicateurs de succès**

Le but de cette tâche est de spécifier, d'une part les formes, configurations et distributions des différents objets astrophysiques et d'autre part d'obtenir les modèles de mouvement pour tous les éléments intervenant dans le modèle statique à partir des éléments fournis par les équipes GÉPI et LERMA de l'Observatoire de Paris.

Les indicateurs de succès de cette tâche seront la validation par les équipes GÉPI et LERMA des formes et mouvements obtenus ainsi que le respect de la contrainte temps interactif des représentations réalisées.

- **responsable de la tâche et partenaires impliqués**

Le responsable de cette tâche sera RSA Cosmos.

Les équipes GÉPI et LERMA seront impliquées car ce sont les données, modèles et expertise en astronomie fournis par ces équipes qui seront utilisés par RSA Cosmos, des échanges seront donc nécessaires.

Les équipes EVASION et ARTIS auront un rôle de conseil & expertise sur les développements effectués, notamment en terme de représentation, de complétude (par ex. nécessité de génération), et d'impact performance et mémoire. Cette mission de conseil et d'expertise inclus une veille technologique, ainsi des représentants des équipes EVASION et ARTIS participeront régulièrement dans la durée du projet à des conférences internationales en infographie 3D temps interactif afin de rapporter à RSA Cosmos tout article ou toute technologie pouvant servir au projet.

- **programme détaillé des travaux**

o *Pour la Phase 1 : modèle statique de notre Galaxie*

- Positionnement des différents types d'étoiles (points de couleurs différents) selon des modèles de distribution probabiliste (bras spiraux, distribution d'amas d'étoiles, halo, bulbe, disques mince et épais, gauchissement du disque)
- Intégration des catalogues connus d'étoiles et re-travail du modèle pour conserver les distributions malgré ces ajouts
- Réalisation des différentes formes de nuages de gaz et de poussières. Ces formes devront être modifiables manuellement en temps interactif et il devra être possible d'influencer sur la distribution en densité à l'intérieur de la forme
- Positionnement des différentes formes de nuages de gaz et de poussières (volumes) selon des modèles de distribution probabiliste (bras spiraux, halo, bulbe, disques mince et épais, gauchissement du disque)

- Vérification que d'un point de vue extérieur et d'un point de vue Terrestre, le positionnement des données donne un résultat réaliste (si besoin réalisation de deux modèles distincts)
- *Pour la Phase 3 : modèle pluri-morphologique & visualisation dans diverses longueurs d'ondes*
 - Adaptation des modèles de distribution probabilistes aux autres formes possibles de galaxies
 - Adaptation des algorithmes de générations procédurales à ces nouveaux modèles
 - Modification des structures de données pour intégrer les informations nécessaires à la visualisation dans différentes longueurs d'ondes (variation de l'extinction, utilisation de données infrarouge proche (2mass) ou autres)
- *Pour la Phase 4 : modèle de rendu animé de la Galaxie*
 - A partir du modèle de Galaxie de la Phase 1, intégrer les éléments permettant de visualiser le mouvement des différentes composantes principales du modèle. Caractérisation des principales structures asymétriques de la Galaxie (barre, bras spiraux, gauchissement, etc.) et de leur possible évolution dans le temps,
 - Utilisation des simulations dynamiques existantes, lorsqu'elles sont utilisables, pour définir de façon réaliste un rendu dynamique pour chacune de ces structures,
 - Dans le cas où aucune simulation n'est exploitable, définir un rendu dynamique réaliste qui permette de rendre compte du mouvement global de la Galaxie.
- *Pour la Phase 5 : modèle statique de la Galaxie avec visualisation de sous-systèmes*
 - Morphologie des différents sous-systèmes (diverses nébuleuses, différents amas d'étoiles)
 - Intégration de ces sous-systèmes au modèle global : positionnement, intégration à tous les niveaux de détails, intégration à la gestion de la masse de données
 - A partir des volumes de nuages et gaz définis lors de la Phase 1, établir des déformations de ces volumes sur la base de paramètres physiques (force du vent stellaire, forces de gravités, ondes de densités...)
- *Pour la Phase 6 : Intégration des modèles de rendu dynamique global (la Galaxie) et local (des objets de la Galaxie) avec visualisation des sous-systèmes*
 - Transmission des phénomènes dynamiques généraux aux environnements locaux

- **Point de départ des travaux**

Cette tâche peut démarrer sans avoir à attendre les premiers résultats de la tâche 1. En effet, comme nous l'avons indiqué dans l'Etat de l'art, RSA Cosmos a déjà réalisé un modèle statique ad hoc de Galaxie. Ce modèle peut être utilisé comme point de départ.

Ce modèle est constitué de 4 éléments :

- une image 2D [NASAIMAGE] intégrée sur un Quad
- une base de donnée affichée sous forme de points représentant des étoiles, générés à partir d'un algorithme d'analyse de l'image 2D
- une base de donnée affichée sous forme de sprites représentant des étoiles géantes rouges, générées à partir d'un algorithme d'analyse de l'image 2D
- un maillage en forme d'ovoïde englobant le volume de la Galaxie texturée via un pixel shader via un procédé de lancé de rayon en rendu volumétrique.

A titre d'exemple, on peut citer quelques éléments qui nous serviront de points de démarrage et qui pourront être intégrés au modèle de base pour l'améliorer :

- Remplacement des 2 bases de données d'étoiles par une seule base de donnée respectant les statistiques de populations par type d'étoiles
- Élaboration d'une méthode permettant l'intégration d'une base de données d'étoiles connues au sein d'une base de données d'étoiles générées
- Étude et portage du modèle cinématique d'ondes de densité réalisé par P.Guglielmetti [SPIRALGALAXIE]
- Étude et portage du modèle de génération procédurale développée par F.Brebbion [INFINITY]
- Adaptation d'algorithme de représentation de nuages terrestres à des nuages de gaz et de poussières interstellaire et génération d'une forme 3D par dé-projection depuis une image réelle de la Voie Lactée

- **livrable,**

- o données traitées pour leur intégration en temps interactif du point de vue du format de stockage
- o documentation sur les techniques développées
- o démonstrateur logiciel
- o comptes-rendus de réunion

- **contributions des partenaires (« qui fait quoi »),**

RSA Cosmos : responsable de la tâche et développeur principal.

ARTIS & EVASION : conseil & expertise & veille technologique.

GÉPI & LERMA : conseil & validation scientifique. Assez rapidement les équipes GEPI et LERMA remettront à RSA Cosmos de nouveaux éléments à intégrer aux représentations. Les équipes GEPI et LERMA auront donc un rôle de conseil et d'explication vis à vis des modèles et données mises à disposition afin d'aider RSA Cosmos dans son rôle d'intégrateur.

- **les risques de la tâche et les solutions de repli envisagées.**

Une des complexités de cette tâche réside dans les inconnues liées aux morphologies des objets astronomiques, si on connaît beaucoup de choses dans la ligne de visée, on a pour beaucoup d'objets astronomiques des inconnues vis à vis des distances. Dans le cas où aucune donnée et aucun modèle ne pourrait fournir les informations de distances, nous nous référerons alors à l'interprétation des scientifiques pour l'évaluation de ces distances et amènerons les modèles réalisés dans les conditions de l'interprétation qui a été faite. Notre objectif étant la vulgarisation scientifique des modèles et données connus, il n'est dès lors pas gênant de permettre au grand public de prendre conscience des limites de nos connaissances.

Aussi dans le cas où la représentation proposée pour certains éléments serait arbitraire, un travail particulier sera effectué dans la tâche 4 (Intégration et Développement des outils pédagogiques) pour permettre de visualiser très clairement les éléments connus et les éléments arbitraires, ou bien encore les incertitudes sur la représentation proposée.

4.3.3 TÂCHE 3 : REPRÉSENTATION, AMPLIFICATION ET RENDU DES DONNÉES

- **objectifs de la tâche et indicateurs de succès**

L'objectif principal de cette tâche est d'obtenir la représentation de larges bases de données hétérogènes (volumiques et ponctuelles) à différents niveaux d'échelles.

Ainsi on peut diviser cet objectif en sous-objectifs :

- Génération procédurale multi-échelle de distribution de points en mouvement, en respectant des distributions probabilistes et des données existantes, et en respectant également un mouvement global.
- Rendu de ces distributions de points à toutes les échelles (qui apparaissent comme un milieu continu de très loin, et comme des points isolés de près), sans transitions visibles entre les échelles.
- Rendu réaliste de larges bases de données contenant des nuages de gaz & poussières et un nombre massif de sources lumineuses de caractéristiques variées.

Les indicateurs de succès de cette tâche seront la validation par l'équipe du GÉPI des résultats obtenus ainsi que le respect de la contrainte temps réel.

- **responsable de la tâche et partenaires impliqués**

Les équipes ARTIS et EVASION seront responsables de cette tâche.

L'équipe du GÉPI sera impliquée car ce sont les données et modèles fournis par le GÉPI qui seront utilisés par l'équipe ARTIS/EVASION, des échanges seront donc nécessaires.

RSA Cosmos sera aussi impliqué en tant qu'observateur afin de vérifier l'interopérabilité des techniques développées avec sa solution logicielle.

- **programme détaillé des travaux**

- *Pour la Phase 1 : modèle statique de notre Galaxie*
 - Représentation possiblement animée de larges bases de données de volumes
- *Pour la Phase 2 : Amplification des données du modèle statique de Galaxie*
 - Amplification de population de données de type volumique
 - Génération procédurale multi-échelle de distributions de points statiques en respectant des distributions probabilistes et des données existantes.
 - Rendu multi-échelle de ces distributions

- *Pour la Phase 4 : modèle de rendu animé de la Galaxie & pour la Phase 5 : modèle statique de la Galaxie avec visualisation de sous-systèmes*
 - Représentation de larges bases de données de volumes animées
 - Génération procédurale de distributions de points en mouvement, en respectant des distributions probabilistes et des données existantes, et en respectant la dynamique globale de la galaxie.
 - Rendu réaliste de larges bases de données contenant des nuages de gaz & poussières et un nombre massif de sources lumineuses de caractéristiques variées.

- **Point de départ des travaux**

Cette tâche sera clairement séparées en deux activités distinctes :

- Une activité de recherche effectuée par un doctorant avec le soutien de son directeur de recherche, dont le travail consistera à rechercher de nouvelles solutions à des verrous technologiques liés au projet.
- Une activité d'ingénierie qui sera chargé plus particulièrement de l'adaptation de techniques à la thématique de la représentation des galaxies.

Concernant la génération de procédurale multi-échelle de distribution de points, il existe de nombreux travaux [CG92,J06,LD05,KCDL06,CSHD03] adaptés au cas 2D statique, et par ailleurs quelques travaux sur la distribution dynamique [DH06,VBTS07,YNBH09].

Ces publications ne traitent que des cas 2D. La plupart génèrent des distributions de densité constante, mais [KCDL06] permet de générer des distributions suivant une densité prédéfinie. Les travaux consisteront en une extension au 3D de ces méthodes, ce qui devrait être simple, mais provoquera une augmentation en besoin mémoire nécessitant donc un travail sur l'optimisation et sur les méthodes de stockage, enfin nous devrons y ajouter l'aspect cinématique.

Diverses méthodes d'amplification de fluides ont été proposées pour ajouter à des simulation basse résolution des détails inertes ou animés, soit par une modélisation stochastique des motifs turbulents [SB08, KTJG08, NSCL08, AN05], soit par des méthodes de textures procédurales volumiques [PH98] utilisées pour augmenter les détails en mouvement [MB95, Ney03, SDE05] ou le mouvement lui même [BHN07].

Outre leur coût, la plupart de ces méthodes ne sont pas adaptées à un grand domaine fluide (voire un domaine ouvert).

Pour la simulation des fluides galactiques, les physiciens recourent à la méthode des SPH [M88], des voisinages attachés à des points. Ceci permet d'adapter la représentation aux fluctuations de densité, et à ne rien stocker dans les vastes espaces vides. Ces méthodes de simulations fonctionnent très bien pour la simulation du mouvement, et la représentation est également utilisée pour la visualisation (blobs implicites).

Les équipes ARTIS et EVASION ont proposé une méthode 2D d'augmentation de détails fluides [YNBH09] basée sur une approche par points + voisinage, qui combine les avantages de ces approches sans les inconvénients. L'idée est donc de travailler à l'étendre au 3D, de façon à générer de grands volumes comprenant des îlots de densité détaillés en mouvement.

Pour le rendu de nuages de gaz, on partira des travaux cités dans l'état de l'art, notamment [LL08], [NGNPEWD01] [MHLH05] ainsi que [SRNN05]. L'objectif étant de mettre au point une technologie permettant la représentation de nuages de gaz illuminés par plusieurs sources lumineuses avec animation possible des nuages et des sources lumineuses. Nous devons donc améliorer les technologies pour à la fois améliorer la rapidité des calculs, ajouter l'amplification des données et les possibilités d'animation. Ces évolutions étant désormais envisageables de par les évolutions des possibilités de la programmation GPU.

Dans le cas de volumes hétérogènes, on en vient nécessairement à parcourir et échantillonner les données le long de chaque rayon optique. Les méthodes de rendu volumiques sont extrêmement coûteuses en stockage comme en calcul. Cependant, les équipes ARTIS et EVASION ont déjà des outils maison capable de générer et parcourir efficacement les seules données utiles, permettant le temps réel [CNLE09].

- **livrable,**
 - o données, modèles, représentations et algorithmes
 - o rapports et soumissions d'articles
 - o comptes-rendus de réunion

- **contributions des partenaires (« qui fait quoi »),**

RSA Cosmos : observation, coordination

ARTIS & EVASION : recherche et développement des technologies.

GÉPI & LERMA : conseil, explication sur les données et modèles fournis dans le cadre de la tâche 1, validation scientifique

- ***les risques de la tâche et les solutions de repli envisagées.***

Cette tâche présente un risque au niveau de la représentation des animations. En effet cette gestion risque d'être difficile à traiter car elle ne permet pas en général de faire des pré-calculs pour accélérer l'affichage au rendu. Une solution de repli envisagée sera de faire une animation limitée, avec faible amplitude de mouvement, ou certains aspects de rendu ne seront pas traités comme par exemple l'illumination dynamique (i.e. on utiliserait la même illumination pré-calculée pour la forme initiale pour rendre toutes les autres formes).

Le rendu et ombrage direct marche déjà avec des solutions gigavoxel [CNLE09]. Cette technologie bien que moins sûre pour les effets globaux (multiple scattering) pourra toujours servir de solution de repli en ayant recours à la ruse du pré-calcul.

D'une manière générale, la tâche améliorera forcément l'état de l'art puisque ce travail aboutira forcément à un résultat :

- Beaucoup de briques existent, cette tâche améliorera donc certaines de ces technologies.
- Avec une utilisation de plusieurs de ces briques existantes, il sera possible d'aboutir à un résultat, même imparfait.
- Compte tenu de la pauvreté de l'existant en matière de rendu de galaxies, l'amélioration apportée par cette tâche, même si l'objectif final n'était pas atteint serait toujours un gain sur l'existant.

4.3.4 TÂCHE 4 : INTÉGRATION & DÉVELOPPEMENT DES OUTILS PÉDAGOGIQUES

- **objectifs de la tâche et indicateurs de succès**

Les objectifs de cette tâche sont

- d'intégrer les technologies développées par les tâches 2, 3 dans un modèle fonctionnel de Galaxie ainsi que dans les catalogues de galaxies dont la morphologie est connue au sein de l'environnement logiciel développé par RSA Cosmos,
- d'ajouter aux modèles intégrés des outils pédagogiques permettant de faciliter la compréhension de ces derniers,
- d'ajouter aux modèles intégrés des métadonnées avec une gestion intelligente de la présentation de ces métadonnées,
- d'ajouter aux modèles intégrés les outils d'interactions nécessaires à la vulgarisation des connaissances

Les indicateurs de succès de cette tâche seront la validation par les équipes GÉPI & LERMA des outils obtenus, le respect de la contrainte temps réel ainsi que la mise en utilisation des outils développés lors de cours ou médiations scientifiques.

- **responsable de la tâche et partenaires impliqués**

Le responsable de cette tâche sera RSA Cosmos.

Les équipes GÉPI et LERMA apporteront leurs conseils à RSA Cosmos dans l'approche didactique des données et modèles représentés.

Les équipes ARTIS et EVASION apporteront leurs conseils sur les technologies de programmation GPU.

- **programme détaillé des travaux**

- *Pour toutes les phases :*
 - Portage et unification des technologies et des modèles dans l'environnement OpenSceneGraph et dans le moteur logiciel de RSA Cosmos
 - Adaptation et modification des modèles pour répondre aux contraintes didactiques
 - Ajout des outils pédagogiques aux modèles (visualisation de volumes, de vecteurs, de repères, de labels et autres formes nécessaires à la vulgarisation)
 - Ajout de l'interactivité didactique (déplacement de caméra, scénario, zones d'interactions)

- **Point de départ des travaux**

Cette tâche commencera par un travail sur les briques de bases permettant d'afficher des méta-données :

- mise au point d'une technologie de labels intelligents faisant apparaître les méta-données en fonction de la position de la caméra dans le modèle afin d'avoir un maximum de données visualisées, tout en ayant une lisibilité des données présentes
- mise au point d'une technologie des repères intelligents se complexifiant en fonction de la position de la caméra dans le modèle : affichage de plans, de sphères, de demi-sphères, de cubes en m, puis en km, puis en unité astronomiques, puis en année lumière, puis en parsec, etc...)
- mise au point d'une brique de base permettant l'affichage de vecteur colorisé en temps réel en fonction de la valeur du vecteur
- mise au point d'une brique de base permettant l'affichage de volumes semi-transparent, avec une colorisation du volume en fonction de paramètres
- **livrable,**
 - o comptes-rendus de réunion
 - o démonstrateur logiciel
 - o documentation logicielle

Chaque phase se conclura par l'intégration dans un modèle fonctionnel d'une nouvelle version du modèle de Galaxie.

A la fin de chaque étape, une démonstration du logiciel sera donc effectuée aux partenaires.

- **contributions des partenaires (« qui fait quoi »),**

RSA Cosmos : responsable de la tâche et développeur principale

ARTIS & EVASION : conseil & expertise

GÉPI & LERMA : conseil & validation scientifique

- ***les risques de la tâche et les solutions de repli envisagées.***

Cette tâche ne présente pas de difficulté majeure en soi, cependant le risque se trouve dans l'intégration dans un logiciel unique et stable des technologies développées par les autres tâches. Le risque est donc de ne pas avoir pour toutes les phases de développement un modèle suffisamment opérationnel pour être intégré et industrialisé.

Le projet étant une recherche complètement innovante, le risque est de ne pas arriver à développer les technologies permettant d'aboutir à la phase 6, finalité de ce projet.

Les solutions envisagées sont :

- la mise au point d'un modèle n'intégrant pas toutes les fonctionnalités décrites dans les 6 phases du projet, mais le maximum
- la mise au point de plusieurs modèles ne représentant chacun qu'une partie des aspects didactiques à traiter et donc un choix laissé à l'utilisateur de l'utilisation d'un modèle ou d'un autre

Cette solution de repli est évidemment moins élégante car l'utilisateur aura alors plusieurs modèles et devra basculer de l'un à l'autre suivant les explications qu'il souhaite donner, mais est considérée comme acceptable, puisque la mission première qui consiste en la possibilité de donner ces explications sera effective.

4.4. CALENDRIER DES TÂCHES, LIVRABLES ET JALONS

Ci-dessous une représentation schématique de la participation de chaque partenaire aux différentes tâches :

Tâches / Partenaires	0	1	2	3	4	Total	
RSA Cosmos Permanents	4		72		20	96	114
RSA Cosmos Temporaires					18	18	
ARTIS Permanents				34		34	142
ARTIS Temporaires				48		48	
EVASION Permanents				24		24	
EVASION Temporaires				36		36	
GEPI Permanents		21			4	25	71
GEPI Temporaires		18				18	
LERMA Permanents		6			4	10	
LERMA Temporaires		18				18	
Total Permanents	4	27	72	58	28	189	
Total Temporaires		36		84	18	138	
Total	4	63	72	142	46	327	

Le personnel de l'entreprise RSA Cosmos travaillant sur le projet représente environ 35%.
Le personnel temporaire (post-doc, CDD, stagiaires...) représente environ 42% du projet.

Nom de la tâche	Durée	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	Tri 4	Tri 1	Tri 2	Tri 3	
T0: Project Management	1043 jours																	
Kick-Off meeting	2 jours																	
Meeting	16 jours																	
T1: Study & Model Simplification	1043 jours																	
MilkyWay Morphology & Lighting	260 jours																	
General galaxies Morphology	130 jours																	
Other waves phenomenon	130 jours																	
Global Milkyway Dynamic	260 jours																	
SubSystem Morphology & Dynamic	260 jours																	
T2: Morphology & Dynamic	1043 jours																	
Global MilkyWay Shape	195 jours																	
Global MilkyWay Amplified	455 jours																	
Other galaxies shapes	195 jours																	
Multi-wavelength visualisation of models	520 jours																	
SubSystem Shapes	195 jours																	
Global MilkyWay dynamic	390 jours																	
SubSystem dynamic	195 jours																	
Integration of Local Dynamic to Global Dynamic	65 jours																	
T3: Representation, Amplification & rendering	1040 jours																	
Static Heavy volume data representation	1040 jours																	
Volume Data amplification	1040 jours																	
Heavy volume data in motion representation	1040 jours																	
Multi-scale Amplification	1040 jours																	
Dynamic models amplification	1040 jours																	
Animated Multiple Light inside Gaz&dust rendering	1040 jours																	
T4: Integration & Didactic	848 jours																	
Integration of models phase 1	65 jours																	
Integration of models phase 2	65 jours																	
Integration of models phase 3	65 jours																	
Integration of models phase 4	65 jours																	

Calendrier des livrables de la 1ère Année :

- 1^{er} mois :
 - o Compte-rendu de la réunion de lancement du projet
- 6^{ème} mois :
 - o Compte-rendu de la réunion semestrielle
 - o Mémoire sur les données, modèles, représentation et algorithmes utilisables pour peupler notre Galaxie en étoiles et en gaz (GÉPI & LERMA)
 - o Livraison d'un Catalogue d'étoiles réelles proches avec 3D, cinématique et photométrie avec simulation des données manquantes (GÉPI & LERMA)
- 12^{ème} mois :
 - o Compte-rendu de la réunion semestrielle
 - o Mémoire sur les données, modèles, représentation et algorithmes utilisables pour modéliser de manière simpliste mais réaliste le comportement de la lumière dans le milieu interstellaire (GÉPI & LERMA)
 - o Mémoire sur les phénomènes émergents devant être visibles sur le modèle statique de notre Galaxie (GÉPI & LERMA)
 - o Rapport de stage sur les technologies exploitables permettant de générer procéduralement des distributions de points potentiellement animés en respectant des distributions probabilistes et des données existantes (ARTIS & EVASION)
 - o Rapport de stage sur les technologies exploitables permettant l'amplification de données hétérogènes (ARTIS & EVASION)
 - o Rapport de stage sur les technologies exploitables permettant le rendu réaliste de larges bases de données contenant des nuages de gaz & poussières et un nombre massif de sources lumineuses de caractéristiques variées. (ARTIS & EVASION)
 - o Livraison de la génération logicielle d'un catalogue 3D réduit permettant de simuler les étoiles simples des grandes structures de la galaxie, leur cinématique et leur photométrie. (GÉPI & LERMA)
 - o **Fin de la Phase 1 : modèle statique de notre Galaxie**
 - Démonstrateurs logiciels stables développés par RSA Cosmos
 - Documentation logicielle sur la méthodologie utilisée pour réaliser la forme globale de la Galaxie (RSA Cosmos)

Calendrier des livrables de la 2^{ème} Année :

- 6^{ème} mois :
 - Compte-rendu de la réunion semestrielle
 - Mémoire sur les données, modèles, représentation et algorithmes utilisables pour modéliser de manière simpliste mais réaliste les autres formes de galaxies (GÉPI & LERMA)
 - Livraison de certaines sous-structures statiques de la Galaxie (amas), orbites des étoiles multiples (ou bien dues aux systèmes planétaires ou trous noirs) (GÉPI & LERMA)
- 12^{ème} mois :
 - Compte-rendu de la réunion semestrielle
 - Mémoire sur les données, modèles, représentation et algorithmes utilisables pour représenter de manière simpliste mais réaliste la dynamique de notre Galaxie (GÉPI&LERMA)
 - Mémoire sur les données, modèles, représentation et algorithmes utilisables pour représenter les données dans d'autres longueurs d'ondes (GÉPI & LERMA)
 - *Fin de la Phase 2 : Amplification des données du modèle statique de Galaxie*
 - Démonstrateurs logiciels stables développés par RSA Cosmos
 - Documentation logicielle sur la méthodologie utilisée pour réaliser l'amplification des données de la Galaxie (RSA Cosmos)

Calendrier des livrables de la 3^{ème} Année :

- 6^{ème} mois :
 - Compte-rendu de la réunion semestrielle
 - Mémoire sur les phénomènes émergents devant être visible sur le modèle prenant en compte la cinématique de notre Galaxie (GEPI & LERMA)
 - Mémoire sur les phénomènes émergents devant être visibles sur les différents modèles morphologiques de galaxies (GEPI & LERMA)
- 12^{ème} mois :
 - Compte-rendu de la réunion semestrielle
 - *Fin de la Phase 3 : modèle pluri-morphologique & visualisation dans diverses longueurs d'ondes*
 - Démonstrateurs logiciels stables développés par RSA Cosmos
 - Documentation logicielle sur la méthodologie utilisée pour réaliser les différentes morphologies de galaxies (RSA Cosmos)
 - Documentation logicielle sur la méthodologie utilisée pour réaliser une visualisation dans diverses longueurs d'onde de galaxies (RSA Cosmos)
 - *Fin de la Phase 4 : modèle de rendu animé de la Galaxie*
 - Démonstrateurs logiciels stables développés par RSA Cosmos
 - Documentation logicielle sur la méthodologie utilisée pour animer le modèle global de notre Galaxie (RSA Cosmos)

Calendrier des livrables de la 4^{ème} Année :

- 6^{ème} mois :
 - Compte-rendu de la réunion semestrielle
 - Mémoire sur les données, modèles, représentation et algorithmes utilisables pour représenter de manière simpliste mais réaliste les objets particuliers (binaires contact, nébuleuses) de notre Galaxie (GÉPI & LERMA)
 - Mémoire sur les phénomènes émergents des sous-systèmes de notre Galaxie (GEPI & LERMA)
- 12^{ème} mois :
 - Compte-rendu de la réunion semestrielle
 - *Fin de la Phase 5 : modèle statique de la Galaxie avec visualisation de sous-systèmes*
 - Démonstrateurs logiciels stables développés par RSA Cosmos
 - Documentation logicielle sur la méthodologie utilisée pour réaliser les formes de sous-systèmes de notre Galaxie (RSA Cosmos)
 - *Fin de la Phase 6 : Intégration des modèles de rendu animé (la Galaxie) et local (des objets de la Galaxie) avec visualisation des sous-systèmes*
 - Démonstrateurs logiciels stables développés par RSA Cosmos
 - Documentation logicielle sur la méthodologie utilisée pour animer les sous-systèmes de notre Galaxie au sein de l'animation globale de la Galaxie (RSA Cosmos),

Le projet comportant des recherches menées par un doctorant, il est entendu que lorsque le projet le permettra, nous proposerons des soumissions d'articles à la communauté scientifique pour d'éventuelles publications à l'international.

Nous prévoyons d'ailleurs que la thèse ne démarre que la deuxième année du projet, la première année étant utilisée pour faire un état de l'art le plus complet possible avec un travail d'ingénieur pour analyser les techniques existantes, leurs limites et les verrous technologiques à lever.

5. STRATÉGIE DE VALORISATION DES RÉSULTATS ET MODE DE PROTECTION ET D'EXPLOITATION DES RÉSULTATS

L'INRIA et l'Observatoire de Paris communiqueront dans leur domaine respectif auprès de la communauté scientifique les résultats des travaux menés.

La communication auprès du grand public se fera notamment par l'intermédiaire des salles de planétariums qui bénéficieront de ces nouvelles technologies et qui les utiliseront lors de leurs spectacles.

L'Observatoire de Paris aura à sa disposition des logiciels simplifiés de vulgarisation lui permettant de montrer ses résultats au grand public.

Certains de ces logiciels simplifiés seront mis en ligne sur Internet et téléchargeables gratuitement par le grand public. Nous profiterons de la structure mise en place sur un autre projet (Projet RSA Cosmos, Open COSMOS, labellisé AMA09) pour cette mise en ligne à la communauté.

Depuis plusieurs années, une action internationale de développement de ce que l'on appelle « l'Observatoire Virtuel » a été engagée, et qui est directement soutenue au niveau national par l'INSU/CNRS via la reconnaissance d'une Action Spécifique OV-France. L'OV vise à fédérer les centres de données par une standardisation des requêtes permettant ainsi de disposer des données ou des outils mondiaux pour les objets interrogés. L'utilisation du planétarium serait extrêmement valorisée si elle permettait l'interrogation des objets visualisés via l'Internet et ces standards OV. Il sera donc envisagé dans les modèles la mise en place d'une telle communication.

Ce projet a une place importante dans la stratégie industrielle de RSA Cosmos à plusieurs titres. :

- D'une part RSA Cosmos bénéficiera d'une fonctionnalité technologiquement plus avancée que celle proposée par ses concurrents étrangers : SkyScan et Evans & Sutherland – deux sociétés américaines, Zeiss – une société allemande, SCISS – une société suédoise, GOTO et MINOLTA, deux sociétés japonaises. (i.e. l'ANR aura financé une percée économique et prestigieuse française, et non une concurrence entre acteurs économiques internes).
- D'autre part RSA Cosmos pourra utiliser les technologies mises en œuvre pour d'autres fonctionnalités visées dans son application (par exemple la gestion des queues de comètes).

- RSA Cosmos souhaite aussi inscrire son travail dans le cadre mis en place par ce projet : des liens étroits avec les scientifiques de l'astronomie et les scientifiques de l'infographie 3D temps interactif. La structure de travail mise en place pourra être réutilisée pour travailler sur d'autres fonctionnalités.

RSA Cosmos communiquera sur ces nouvelles fonctionnalités sur les différents salons connexes à l'activité planétariums : IPS - International Planetarium Society, APLF – Association des Planétariums de Langue Française, ADP – Association of Dutch Planetarium, BAP – British Association of Planetarium, IPFA – Italian Planetarium Friends Associations, NPA – Nordic Planetarium Association, - TechnoPlanetario – Salon espagnol...

RSA Cosmos prévoit aussi de présenter ses travaux lors d'un SIGGRAPH.

Les règles de répartition de la propriété intellectuelle entre les partenaires du projet collaboratif **RTI Galaxy for Edutainment** seront discutées et finalisées avec les représentants des directions juridiques du CNRS et de l'INRIA après validation du présent dossier par les experts du comité de sélection de l'ANR. Les informations ci-après sont fournies à titre indicatif, mais pourront subir des modifications en cohérence avec la répartition définitive des tâches.

- Chacun reste propriétaire du code qu'il a développé
- Les laboratoires sont autorisés à publier leurs résultats de recherche, après en avoir informé l'intention au partenaire industriel au minimum un mois à l'avance. Ces derniers peuvent demander que les articles soient amendés.
- Chaque partenaire peut utiliser en interne la technologie : les laboratoires pour leurs activités de recherche et RSA Cosmos pour ses solutions
- Chacun des partenaires fournit aux autres le support sur le code qu'il a développé
- RSA Cosmos commercialisera indirectement la technologie en l'intégrant dans sa solution pour salles de planétarium In Space System.
- Les autres partenaires pourront commercialiser les codes développés à toutes entreprises autres que celles pouvant entrer en compétition avec RSA Cosmos sur le marché des planétariums.
- Les logiciels simplifiés développés par RSA Cosmos seront mis en ligne et distribués à l'Observatoire de Paris par RSA Cosmos. Les sources de ces logiciels pourront être mis en ligne et dans le domaine libre ou non, RSA Cosmos en sera seul décideur.
- Les partenaires seront libres d'utiliser et de diffuser les images produites par ce projet, à condition d'en parler aux partenaires qui pourront demander à être référencés sur l'image.
- Les données retravaillées fournies par l'Observatoire de Paris dans le cadre de la tâche n°1 seront librement utilisables par les collaborateurs au-delà de la collaboration, mais ne pourront être distribuées sans un accord du partenaire avec l'Observatoire de Paris.

6. ORGANISATION DU PARTENARIAT

6.1. DESCRIPTION, ADÉQUATION ET COMPLÉMENTARITÉ DES PARTENAIRES

RSA Cosmos : Spécialiste Planétarium Français

RSA Cosmos conçoit des équipements planétariums optiques et numériques pour une grande variété de projets : Musées, Parcs à Thèmes, Casinos, Cinémas Numériques 360°, Observatoires, Ecoles...

Utilisant des technologies de pointe depuis 1986, RSA Cosmos développe des applications informatiques pour proposer aux visiteurs des planétariums une expérience visuelle époustouflante. Spécialisé dans les systèmes de projection et les systèmes informatiques, RSA Cosmos réalise des solutions de simulation astronomique 3D Temps-réel sur dôme complet.

De par la nature des utilisateurs de son logiciel, des médiateurs scientifiques, **RSA Cosmos est particulièrement impliqué dans la démarche pédagogique de l'enseignement de l'astronomie.**

De la conception à la maintenance, en passant par des développements innovants et l'intégration multimédia, RSA Cosmos est un fabricant présent dans le monde entier qui fournit des solutions clés en main.



EVASION : Environnement Virtuels pour l'Animation et la Synthèse d'Images d'Objets Naturels

Le Groupe EVASION a été créé en 2003 pour s'attaquer à la modélisation, l'animation et le rendu de scènes et de phénomènes naturelles: il a développé des représentations et des outils pour modéliser des phénomènes, fondés a priori sur la connaissance d'autres disciplines, et pour visualiser ces scènes de manière efficace et plausible. Plus récemment, le groupe a concentré ses recherches sur la création de contenu numérique pour l'animation des mondes virtuels, et sur le développement des techniques interactives pour le contrôle intuitif des éléments de ces mondes, telle que l'utilisation d'interfaces avec des croquis pour créer des arbres et des nuages.

Les projets récents inclus :

- **ANR NatSim** (Nature simulation : hybrid representations for its modelling, simulation and visualisation)
- **ANR Kameleon** (Modeling of small animals), **ANR Chêne-Roseau** (modelling of tree resistance under the wind)
- **ANR Vulcain** (vulnerability of buildings)
- **Pole de Compétitivité Imaginove GENAC 2** (procedural generation of models for computer games)
- **Pole de Compétitivité Imaginove & Pégase MarketSimGame** (serious Game project on aircraft simulation over landscape)
- **Région Rhône Alpes projects LIMA** (loisirs & images) and **DEREVE 1 & 2** (real time techniques for virtual reality applications).

ARTIS : Acquisition, Representation and Transformations for Image Synthesis

ARTIS est à la fois une équipe de recherche de l'INRIA Rhône-Alpes et une équipe du laboratoire LJK, ainsi qu'une unité mixte de recherche du CNRS, l'INRIA, l'INPG et l'UJF. Elle est située à l'INRIA Rhône-Alpes à Mont-Bonnot, France

Le projet a été créé en Janvier 2003, et repose sur le constat que les méthodes classiques de génération d'image de synthèse semblent limitées en ce qui concerne la variété des applications actuelles. En particulier, l'approche typique consistant à modéliser séparément une géométrie 3D et un ensemble de propriétés photométriques (réflexion, conditions d'éclairage), puis dans le calcul de leur interaction pour produire une image, est trop restrictive. Tout d'abord, cette approche limite sévèrement la capacité d'adaptation à des contraintes particulières ou libertés permises dans toute application (par exemple, la précision, en temps réel, l'interactivité, l'incertitude sur les données d'entrée ...); d'autre part, elle restreint la possibilité des classes de l'image et ne se prête pas facilement elle-même à de nouveaux usages dans un cadre plus «expressif», telles que des illustrations, où une forme de hiérarchie sur les composants de l'image doit être construit.

Un des objectifs du projet est la définition d'un cadre générique pour la création d'images de synthèse, l'intégration des éléments de géométrie 3D, de géométrie 2D (construits à partir de ces éléments), de l'apparence (photométrie, textures ...), du style de rendu et de l'importance ou pertinence pour une application donnée. Le projet ARTIS traite donc de multiples aspects de l'image de synthèse: modèle de création puis différentes sources de données, les transformations entre ces modèles, algorithmes de rendu et d'imagerie, et de l'adaptation des modèles et des algorithmes à diverses contraintes ou contextes d'application.

Les projets récents incluent :

- **ANR GENAC:** Un projet de recherche conjointe avec deux équipes de recherche: EVASION (INRIA Rhône-Alpes), GeoMod (LIRIS) et deux compagnies de jeux vidéo de Lyon: Eden Games et WideScreen Games. Dans ce projet, ARTIS développe des algorithmes pour la simulation temps-réel de l'illumination globale. GENAC a démarré en Septembre 2007, et se poursuit sur deux années.
- **ANR HFIBMR:** projet de recherche conjointe avec les équipes de recherches WILLOW (ENS, ENPC et INRIA Rocquencourt) et LASMEA (UMR 6602, UBP et CNRS). Notre objectif commun est l'acquisition, le traitement et le rendu de modèles basés images de haute fidélité.
- **ANR ATROCO:** Un projet de recherche conjointe avec LIRIS et LSIT, sur l'acquisition, le traitement et le rendu d'objets du monde réel pour l'utilisation dans des scènes virtuelles.

GÉPI : Galaxie , Étoiles, Physique et Instrumentation

Le GÉPI est l'un des cinq départements de l'Observatoire de Paris, un établissement fondé en 1667, riche de plus de 700 personnes couvrant l'ensemble du panorama de la recherche et de l'enseignement en astronomie et astrophysique. Ayant statut d'Université, l'Observatoire propose différents parcours scientifiques et professionnels dans le cadre du LMD.

Les recherches aux GÉPI ont un but essentiel, comprendre la formation des étoiles, de notre Galaxie et des nombreuses galaxies qui constituent la matière baryonique de l'Univers. La devise résumant les activités du GÉPI est « de la conception instrumentale vers l'exploitation des données et leur modélisation ». Son champ d'activité, de la physique stellaire à la physique des galaxies, rassemble des compétences uniques, de la spectroscopie à haute résolution à la spectroscopie 3D ou de l'analyse détaillée de la chimie des étoiles à l'analyse multi longueurs d'onde des galaxies. Nous avons ainsi eu une très forte contribution pour le plus large catalogue de parallaxes (distances) stellaires obtenu avec le satellite astrométrique européen Hipparcos [Pal97], c'est-à-dire comment obtenir la troisième dimension dans notre Galaxie [TuAr09] de manière directe ou non, y compris les méthodes statistiques à mettre en œuvre [ArLu99]. Depuis 10 ans déjà, nous avons une implication forte [ArBa99] dans les simulations des objets qui seront observés par le satellite Gaia (lancement 2012) dont le but est de cartographier un milliard d'étoiles de notre Galaxie (soit moins de 1% de ces étoiles seulement !).

Dans le même temps, nous avons eu une contribution à la modélisation des composantes stellaires de la Galaxie dans le cadre du modèle maintenant connu sous le nom de « modèle de Besançon » [HRC97a,b, RRDP03], y compris pour son évolution chimique [Hay08], c'est-à-dire le seul moyen de pouvoir visualiser notre galaxie faite d'observation suffisamment nombreuses et précises (seules les distances des étoiles dans la banlieue du soleil sont connues suffisamment précisément). En outre, nous avons été amenés à développer un modèle numérique tridimensionnel de l'extinction interstellaire [AGG92] et à modéliser les systèmes d'étoiles binaires [Are07] qui seront nécessaires pour compléter les simulations des caractéristiques des étoiles de la Galaxie.

LERMA : Laboratoire d'Étude du Rayonnement et de la Matière en Astrophysique

L'équipe de l'Observatoire de Paris (LERMA) est spécialisée dans la dynamique des galaxies, que ce soit au niveau de la théorie, des modèles, des simulations numériques, et des observations. L'équipe est experte en simulations N-corps, incluant non seulement la gravité, mais aussi l'hydrodynamique du gaz, la formation d'étoiles, et tous les processus de feedback associés, comme le vent stellaire, la perte de masse, la masse et l'énergie réinjectée au milieu interstellaire par l'explosion de supernovae, l'augmentation de métallicité, etc.. L'équipe a établi le cycle dynamique des barres dans les galaxies, le gaz étant précipité vers le centre par les couples de la barre, et ainsi détruisant la barre. L'accrétion externe de gaz permet de rajeunir le disque galactique qui formera ensuite une autre barre. Notre Galaxie est barrée, et possède aussi une barre nucléaire imbriquée. Ces barres secondaires permettent de continuer l'action de la barre primaire vers le centre, et ainsi d'alimenter le trou noir central. L'équipe a notamment effectué récemment des modèles de l'écoulement de gaz dans la Voie Lactée (Rodriguez-Fernandez & Combes 2008), et se propose de simuler entièrement de façon self-consistante la Voie Lactée, en vue du satellite GAIA. L'équipe est aussi experte en observations du gaz interstellaire, et notamment du gaz moléculaire en millimétrique (instruments de l'IRAM).

Complémentarité des partenaires

Le partenariat mis en place est particulièrement intéressant car il regroupe des spécialistes d'un domaine scientifique avec des spécialistes de l'infographie 3D temps interactif ainsi qu'un industriel spécialisé dans la commercialisation d'un logiciel de vulgarisation scientifique pour salles de spectacles hémisphériques.

- *Les équipes GÉPI et LERMA* de l'Observatoire de Paris en tant que spécialistes dans le domaine de l'astrophysique auront la mission *d'étudier, de mettre au point et de rassembler les éléments scientifiques à visualiser et à vulgariser*. Elles travailleront en étroite *collaboration avec les équipes EVASION et ARTIS* sur les problématiques *d'adaptation des modèles physiques* aux contraintes de l'infographie 3D temps interactif. Elles travailleront avec RSA Cosmos sur *les notions de vulgarisations*, et validera les développements réalisés du point de vue de la *validité scientifique*.
- *Les équipes EVASION et ARTIS* de l'INRIA Rhône-Alpes *travailleront sur les méthodes et technologies permettant de lever les verrous technologiques liés à ce sujet*, notamment les problématiques *d'illuminations, de représentations et d'amplification de masses de données*. Elles travailleront en *collaboration étroite avec les équipes GÉPI et LERMA* et *conseilleront* sur les orientations à avoir en matière de *simplification des modèles* en vue de leur intégration en *infographie 3D temps interactif*. Elles assureront une *veille scientifique sur les technologies pouvant être exploitées dans le cadre du projet* et fourniront à RSA Cosmos l'accès et le support à l'intégration de ces technologies.
- La société *RSA Cosmos intégrera* dans une simulation opérationnelle les données fournies par les équipes GÉPI et LERMA de l'Observatoire de Paris et les technologies mises au point par les équipes EVASION et ARTIS. La société *RSA Cosmos ajoutera* dans la simulation tous *les outils permettant la vulgarisation scientifique*. RSA Cosmos sera *le coordinateur du projet*.

6.2. QUALIFICATION DU COORDINATEUR DU PROJET

RSA Cosmos sera le coordinateur du projet. Précédemment RSA Cosmos a déjà travaillé individuellement avec l'équipe GÉPI de l'Observatoire de Paris ainsi qu'avec les équipes de l'INRIA Rhône-Alpes. C'est donc de par l'historique des liens entre les différents partenaires que RSA Cosmos a naturellement cette position au sein du projet.

De plus RSA Cosmos aura bien un rôle central dans le projet du fait de son rôle d'intégrateur, des données et modèles fournis par l'équipe GÉPI et des technologies développées par les équipes EVASION et ARTIS.

Enfin, RSA Cosmos, du fait des contraintes concurrentielles liées à son marché, a toujours dû développer une R&D forte. Ce projet, bien qu'ambitieux, se situe bien dans la continuité des projets de R&D habituellement gérés par les équipes techniques de RSA Cosmos. (*Projet PIC-PME & OSEO/ANVAR & DRIRE 1998* – durée 3 ans – « SN98 » développement d'un planétarium nouvelle génération ; *Projet ANVAR 2007* – durée 2 ans – « De l'Atome à l'Univers » simulateur astronomique nouvelle génération)

7. JUSTIFICATION SCIENTIFIQUE DES MOYENS DEMANDÉS

7.1. PARTENAIRE 1 : SOCIÉTÉ RSA COSMOS

- *Personnel*

Personnel permanent	Grade	Affectation	Implication
Stéphane Lamoliatte	Ingénieur senior	Chef de Projet Ingénieur R&D, RSA Cosmos	100%
Arnaud Zdziobeck	Ingénieur junior	Ingénieur R&D, RSA Cosmos	100%

*Soit 48 mois * 7 150+ 48 mois * 6 450 = 652 800€*

Pour la réalisation de ce projet, nous recruterons temporairement sur financement ANR :

1 an et demi d'ingénieur junior (1 CDD de 18 mois)

*Soit 18 mois * 4 500€ = 81 000€*

Pour ce CDD, nous recherchons un profil d'ingénieur junior avec si possible 1 à 2 ans d'expériences en infographie 3D temps interactif, programmeur expérimenté en C++ & OpenGL (voir OpenSceneGraph), maîtrisant la programmation GPU, sensibilisé à l'astronomie et à la vulgarisation scientifique, ayant une pratique correcte de l'anglais.

Nous comptons aussi recevoir des stagiaires et alternant dans l'entreprise (stagiaires et contrat d'alternance de l'IUT d'imagerie numérique du Puy en Velay, stagiaires ingénieurs de l'UTBM...). Nous ne demandons pas de financement ANR pour ces personnels non permanents.

- *Missions*

Nous prévoyons d'accueillir les réunions semestrielles en nos locaux, donc pas de frais prévus pour ces réunions en ce qui concerne RSA Cosmos.

Nous prévoyons de nous déplacer régulièrement chez les autres partenaires pour des réunions de travail n'impliquant qu'un des partenaires :

- Réunion de travail de 2 jours à l'Observatoire de Paris : 1 réunion par semestre pour travailler sur les aspects didactiques, soit 8 réunions sur l'ensemble du projet
- Semaine de travail de 5 jours à l'INRIA : 2 semaines de travail par an seront nécessaires à l'intégration des technologies développées par l'INRIA, la dernière année ces semaines de travail augmenteront au nombre de 4.

Localisation de la réunion	Frais de déplacement	Frais d'hébergement	Total Unitaire	Nombre de réunions	Total
Observatoire de Paris	200 € (aller retour en train)	135 € (1 * 135 €)	335 €	8	2 680 €
INRIA	160 € (300 km, à raison de 0.521€ le km)	540 € (4 * 135 €)	700 €	10	7 000 €

Nous prévoyons la participation d'un ingénieur au salon SIGGRAPH pour une présentation des résultats la dernière année.

Salon	Frais de déplacement	Frais d'hébergement et frais divers	Total Unitaire	Nombre de réunions	Total
SIGGRAPH	3 000 € (aller retour en avion)	1 750 € (5 * 150 € hébergement+ 1000 € inscription)	4 750€	1	4 750 €

mission = 14 430 €

• *Autres dépenses de fonctionnement*

- Nous prévoyons l'achat de 2 stations de développement avec carte graphique performante (prix unitaire <4000€). En effet un de nos ingénieurs de développement possède déjà une machine à jour. Nous avons donc besoin de renouveler la machine du deuxième ingénieur et d'acheter une nouvelle machine pour le poste temporaire.
- Nous prévoyons l'achat d'un ordinateur portable avec carte graphique performante pour l'ingénieur responsable de la coordination et du suivi du projet, pour pouvoir faire des développements graphiques et montrer l'avancement des travaux lors des déplacements chez les partenaires et (prix unitaire <4000€).
- Nous prévoyons aussi l'achat de disques dur externes de forte capacité pour stocker les bases de données. (prix unitaire <4000€)
- Nous ne demandons pas de financement ANR pour le financement des stagiaires que nous recevrons dans l'entreprise.

Matériel	Prix Unitaire HT	Quantité	Total HT
Station graphique	3 500 €	2	7 000 €
PC portable graphique	2 000 €	1	2 000 €
Disques dur externes forte capacité	600 €	3	1 800 €
TOTAL HT			10 800 €

Fonctionnement : 10 800€

7.2. PARTENAIRE 2 : ÉQUIPE ARTIS & EVASION DE L'INRIA RHÔNE-ALPES

• *Personnel*

Pour ARTIS

Personnel permanent	Grade	Affectation	Implication
Nicolas Holzchuch	CR1	ARTIS, INRIA Grenoble	20%
Fabrice Neyret	DR2	ARTIS, INRIA Grenoble	50%

*soit 24 mois * 7 900 + 10 mois * 6 000 = 249 600 €*

Nous estimons les moyens nécessaires à 3 homme.ans de thèse (ou de complément de thèse ou de postdocs) et 1 homme.ans d'ingénieur débutant (issue de Master ou d'école ingénieur). L'encadrement de la thèse sera assurée par Fabrice Neyret, DR2.

Pour la réalisation de ce projet, nous recruterons spécifiquement sur financement ANR :

3 ans de thèse (ou de complément de thèses ou postdocs)

1 H-année d'ingénieur débutant

*soit 36 mois * 3 770 + 12 * 3 500 = 177 720 €*

Pour EVASION

Personnel permanent	Grade	Affectation	Implication
Eric Bruneton	CR1	EVASION, INRIA Grenoble	50%

*soit 24 mois * 6 000 = 144 000 €*

Nous estimons les moyens nécessaires à 3 homme.ans d'ingénieur expert (ou de postdocs) et 1 homme.ans d'ingénieur débutant (issue de Master ou d'école ingénieur). Ces ingénieurs seront encadrés par Eric Bruneton, CR1.

Pour la réalisation de ce projet, nous recruterons donc spécifiquement sur financement ANR :

3 ans de postdocs (ou d'ingénieur expert)

*soit 36 mois * 4 350 = 156 600 €*

• *Missions*

Une réunion semestrielle est prévue avec les autres partenaires sur au sein de la société RSA Cosmos. Pour chaque rencontre, on comptera 2 jours pour 2 personnes.

Localisation de la réunion	Frais de déplacement	Frais d'hébergement	Total Unitaire	Nombre de réunions	Total
RSA Cosmos	200 € (280 km aller retour en voiture + péage)	300 € (2 * 150 €)	500 €	9	4 500€

L'INRIA aura un rôle important dans le projet en terme de veille technologique sur les technologies en images de synthèse, cette veille technologique sera ensuite répercutée à RSA Cosmos.

La participation de l'INRIA chaque année à des conférences internationales en synthèse d'image pour faire de la veille technologique et puis en fin de projet pour présenter les résultats, conjointement avec RSA Cosmos, est donc prévue.

Salon	Frais de déplacement	Frais d'hébergement	Total Unitaire	Nombre de réunions	Total
EURO-GRAPHICS	1 200 € (aller retour en avion)	300 € (2 * 150 €)	1 500€	4	6 000 €
SIGGRAPH	3 000 € (aller retour en avion)	1 750 € (5 * 150€ hébergement + 1000€ inscription)	4 750€	4	19 000 €

mission = 29 500€.

• *Autres dépenses de fonctionnement*

Pour respecter les contraintes temps-réel avec les masses de données considérées dans ce projet il sera nécessaire d'exploiter la puissance et la programmabilité des cartes graphiques modernes. Nous aurons donc besoin de quatres PCs de développement avec de bonnes capacité de stockage (taille et latence), avec des cartes graphique de dernière génération, et avec les licences logiciels de développement et de production associés. Nous prévoyons un upgrade de ces machines lors de la dernière année du projet, les cartes graphiques étant primordiales aux développement du projet et les capacités de ces dernières évoluant rapidement.

Fonctionnement : 23 800€ (4 PC de développement, avec carte graphique renouvelées au bout de 3 ans, et logiciels de développement et de production associés, coûts unitaires < 4000€)

7.3. PARTENAIRE 3 : ÉQUIPE GÉPI & LERMA DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS

• *Personnel*

Personnel permanent	Grade	Affectation	Implication
Frédéric Arenou	Ingénieur de recherche	GEPI, CNRS, Observatoire de Paris	20%
Carine Babusiaux	Chargé de recherche Astronome-Adjoint	GEPI, Observatoire de Paris	10%
Misha Haywood	Chargé de recherche Astronome-Adjoint	GEPI, Observatoire de Paris	20%
Françoise Combes	Astronome CE	LERMA, Observatoire de Paris	20%

*Soit 20 mois * 7 240 + 15 mois * 6 285 = 239 075€*

Pour la réalisation de ce projet, il est indispensable de recruter spécifiquement sur financement ANR un poste, chargé de rechercher l'ensemble de la bibliographie puis de modéliser ou de simplifier les modèles, de contacter et d'interfacer les partenaires internes et externes de l'Observatoire. Compte tenu de la complexité de la tâche à effectuer, le poste est un plein temps sur les trois premières années de contrat.

Le profil du poste demandé est de niveau post-doc en astrophysique, ne recherchant pas un recrutement sur poste permanent, et désireux d'enrichir sa formation généraliste, ayant des aptitudes et un goût en communication, diffusion des connaissances et développement logiciel. Les stages de mise à niveau dans l'un ou l'autre de ces thèmes seront pris en charge dans le cadre de la formation permanente.

3 ans de postdoc

soit 36 mois 4 500 = 162 000€*

• *Missions*

Une réunion semestrielle est prévue avec les autres partenaires au sein de la société RSA Cosmos. Pour chaque rencontre, on comptera 2 jours pour 2 personnes.

Localisation de la réunion	Frais de déplacement	Frais d'hébergement	Total Unitaire	Nombre de réunions	Total
RSA Cosmos	400 € (2 aller retour en train)	270 € (2 * 135 €)	670 €	9	6 030€

D'autre part, l'utilisation scientifique et la valorisation des développements effectués donneront lieu à des présentations dans des rencontres internationales comme l'Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS), deux personnes une fois par an pour 3000€, soit 12 000€ au total.

Salon	Frais de déplacement	Frais d'hébergement	Total Unitaire	Nombre de réunions	Total
ADASS	2000 € (2 aller retour en avion)	1000 € (2 * 5 *100 €)	3000€	4	12 000 €

mission = 18 030€.

• *Autres dépenses de fonctionnement*

La génération des modèles physiques permettant de simuler les différents aspects de structure et de cinématique stellaire ou galactique nécessite des volumes de calcul conséquents. Nous demandons le financement d'un système formé de 4 quadri-cœurs avec 16 Go et deux systèmes RAID de 10 To pour l'archivage des grands relevés et des images simulées, pour un coût total, incluant installation et support sur la durée de cette ANR, de 20k€.

Fonctionnement: 20 000€

Nous encourageons la formation par la recherche qui présente un aspect motivant pour les étudiants. Ceux-ci apportent en retour une aide précieuse pour débroussailler différentes thématiques nécessitant une implication dédiée, pour autant que les sujets de stage soient bien délimités et les stagiaires bien encadrés. Nous demandons des gratifications pour un stagiaire de M2 pour 4 mois, chaque année. sauf la première où nous avons déjà budgétisé cette somme, quelle que soit l'issue de cette demande.

Fonctionnement : 4 800€.

TOTAL Fonctionnement : 24 800€

8. ANNEXES

8.1. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bibliographie sur les recherches relatives au projet :

[MHLH05] M. Magnor, K. Hildebrand, A. Lintu, A. Hanson, *Reflection Nebula Visualization*, Proc. IEEE Visualization (Vis'05), Minneapolis, USA, pp. 255-262, October 2005
<http://www.mpi-inf.mpg.de/~magnor/publications/vis05.pdf>

[NGNPEWD01] D. R. Nadeau, J. D. Genetti, S. Napear, B. Pailthorpe, C. Emmart, E. Wesselak, D. Davidson, *Visualizing Stars and Emission Nebulae*, Computer Graphics Forum, 20(1):27?33, March 2001.
<http://www.sdsc.edu/~nadeau/PhD/VisualizingStarsAndEmissionNebulas.pdf>

[LL08] Sergey Levine & Edward Luong, *Rendering a Nebula*,
<https://graphics.stanford.edu/wikis/cs348b-08/slelfinalwriteup?action=AttachFile&do=get&target=nebula.pdf>

[MKHD04] M. Magnor, G. Kindlmann, C. Hansen, N. Duric, *Constrained Inverse Volume Rendering for Planetary Nebulae*, Proc. IEEE Visualization (Vis'04), Austin, USA, pp.83-90, October 2004
<http://www.mpi-inf.mpg.de/~magnor/publications/vis04-final.pdf>

[MKHD05] M. Magnor, G. Kindlmann, C. Hansen, N. Duric, *Reconstruction and Visualization of Planetary Nebulae*, IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics, vol.11, no.5, pp.485-496, September 2005
<http://www.mpi-inf.mpg.de/~magnor/publications/tvcg05.pdf>

[WFMM09] Stephan Wenger, Juan Aja Fernandez, Christophe Morisset, Marcus Magnor, *Algebraic 3D Reconstruction of Planetary Nebulae*, January 2009
<http://www.cg.cs.tu-bs.de/people/wenger/3dnebula/wscg.pdf>

[LHLMES07] Andrei Lintu, Hendrik P.A. Lensch, Marcu Magnor, Sascha El-Abeb, Hans-Peter Seidel, *3D Reconstruction of Emission and Absorption in Planetary Nebulae*
<http://www.mpi-inf.mpg.de/~lensch/Papers/VG2007-Lintu-planetary-nebulae.pdf>

Bibliographie des équipes EVASION et ARTIS de l'INRIA Rhône Alpe relative au projet :

[CNLE09] Crassin, Cyril and Neyret, Fabrice and Lefebvre, Sylvain and Eisemann, Elmar, [GigaVoxels : Ray-Guided Streaming for Efficient and Detailed Voxel Rendering](#), ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games (I3D), 2009.

[BN08] Eric Bruneton and Fabrice Neyret, [Precomputed Atmospheric Scattering](#), Proceedings of the 19th Eurographics Symposium on Rendering, volume 27, pages 1079-1086, 2008.

[AN05] Angelidis, Alexis and Neyret, Fabrice, [Simulation of Smoke based on Vortex Filament Primitives](#), ACM-SIGGRAPH/EG Symposium on Computer Animation (SCA), 2005.

[DN09] Philippe Decaudin and Fabrice Neyret, [Volumetric Billboards](#), Comput. Graph. Forum, volume 28, 2009.

[BB08] Sébastien Barbier and Georges-Pierre Bonneau, [GPU Improvements on the sorting and projection of tetrahedral meshes for direct volume rendering](#), Pacific Visualization Symposium 2008.

[VMD08] Vincent Vidal and Xing Mei and Philippe Decaudin, [Simple Empty-Space Removal for Interactive Volume Rendering](#), J. Graphics Tools, volume 13, pages 21-36, 2008.

[BNMBC08] Antoine Bouthors and Fabrice Neyret and Nelson Max and Eric Bruneton and Cyril Crassin, [Interactive multiple anisotropic scattering in clouds](#), ACM Symposium on Interactive 3D Graphics and Games, I3D, 2008.

[ANSN06] Alexis Angelidis and Fabrice Neyret and Karan Singh and Derek Nowrouzezahrai, [A Controllable, Fast and Stable Basis for Vortex Based Smoke Simulation](#), Symposium on Computer Animation, 2006.

Bibliographie générale sur les techniques de rendu et d'animation relatives au projet :

[Reeves83] W. T. Reeves, *Particle Systems -- a Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects*, ACM Trans. Graphics, volume 2, pages 91-108, 1983

[Reeves85] William T. Reeves and Ricki Blau, *Approximate and Probabilistic Algorithms for Shading and Rendering Structured Particle Systems*, Computer Graphics (SIGGRAPH '85 Proceedings), volume 19, pages 313-322, 1985.

[Perlin89] Ken Perlin and Eric M. Hoffert, *Hypertexture*, Computer Graphics (SIGGRAPH '89 Proceedings), volume 23, pages 253-262.

[Bridson07] Bridson Robert and Houriham Jim and Nordenstam Marcus, *Curl-noise for procedural fluid flow*, ACM Trans. Graph., volume 26, 2007.

[CG92] Michael McCool. Eugene Fiume , *hierarchical poisson disk sampling distributions* Graphics Interface 1992.

<http://www.dgp.toronto.edu/~elf/misc/poissondisk.pdf>

[J06] Thouis R. Jones, *Efficient Generation of Poisson-Disk Sampling Patterns* journal of graphics, gpu, and game tools 2006.

<http://people.csail.mit.edu/thouis/JonesPoissonPreprint.pdf>

[LD05] ARES LAGAE and PHILIP DUTRE, *A Procedural Object Distribution Function* ACM Transactions on Graphics (TOG), 2005.

<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1095888>

[KCDL06] Johannes Kopf and Daniel Cohen-Or and Oliver Deussen and Dani Lischinski, *Recursive Wang Tiles for Real-Time Blue Noise* SIGGRAPH 2006

<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1141911.1141916>

[CSHD03] Michael F. Cohen Jonathan Shade Stefan Hiller Oliver Deussen, *Wang Tiles for Image and Texture Generation* SIGGRAPH 2003

SIGGRAPH 2003

<http://research.microsoft.com/en-us/um/people/cohen/wangfinal.pdf>

[SRNN05] Bo Sun, Ravi Ramamoorthi, Srinivasa G. Narasimhan, Shree K. Nayar, *A Practical Analytic Single Scattering Model for Real Time Rendering* SIGGRAPH 2005

SIGGRAPH 2005

<http://www.eecs.berkeley.edu/~ravir/papers/singlescat/scattering.pdf>

[APKG07] ADAMS B., PAULY M., KEISER R., GUIBAS L. J.: *Adaptively sampled particle fluids*. ACM Transactions on Graphics 26, 3 (2007).

[BHN07] BRIDSON R., HOURIHAM J., NORDENSTAM M.:
Curl-noise for procedural fluid flow.
ACM Transactions on Graphics 26, 3 (2007).

[SDE05] Schpok, J., Dwyer, W., Ebert, D. S., *Modeling and Animating Gases with Simulation Features*,
ACM Symposium on Computer Animation (SCA 2005), pp. 97-106, 2005.

[SB08] H. Schechter and R Bridson, *Evolving sub-grid turbulence for smoke animation*
Symposium on Computer Animation 2008

[KTJG08] Theodore Kim, Nils Thürey, Doug James, Markus Gross, *Wavelet Turbulence for Fluid Simulation*
SIGGRAPH 2008

[NSCL08] Rahul Narain Jason Sewall Mark Carlson Ming Lin, *Fast Animation of Turbulence Using Energy Transport and Procedural Synthesis*
SIGGRAPH Asia 2008

[AN05] Alexis Angelidis, Fabrice Neyret, *Simulation of Smoke based on Vortex Filament Primitives*
ACM-SIGGRAPH/EG Symposium on Computer Animation (SCA) - 2005

[DH06] Daniel Dunbar and Greg Humphreys. *A spatial data structure for fast poisson-disk sample generation*.
ACM Trans. Graph., 25(3):503–508, 2006.

[VBTS07] Vanderhaeghe, David and Barla, Pascal and Thollot, Jo and Sillion, Francois: *Dynamic point distribution for stroke-based rendering*.
In Rendering Techniques 2007 (Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering), pp 139--146

[MB95] MAX N., BECKER B.: *Flow visualization using moving textures*.
In Proceedings of the ICASW/LaRC Symposium on Visualizing Time-Varying Data (1995), pp. 77–87.

[Ney03] NEYRET F.: *Advected textures*.
In Symposium on Computer Animation (2003), pp. 147–153.

[PH98] Ken Perlin and Eric M. Hoffert :[Hypertexture](#).
In SIGGRAPH (1989), pp 253-262

[YNBH09] Qizhi Yu, Fabrice Neyret, Eric Bruneton, and Nicolas Holzschuch. [Scalable realtime animation of rivers](#).
Computer Graphics Forum (Proceedings of Eurograph-ics 2009), 28(2), mar 2009.

[M88] J. J. Monaghan. [An introduction to SPH](#).
Computer Physics Communications, 48:89–96, January 1988

[CNLE09] Cyril Crassin, Fabrice Neyret, Sylvain Lefebvre, Elmar Eisemann, [GigaVoxels : Ray-Guided Streaming for Efficient and Detailed Voxel Rendering](#)
ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games (I3D) - feb 2009

Bibliographie de l'équipe GÉPI de l'Observatoire de Paris relative au projet :

[Are07] Arenou F., 2007, [Les multiples étoiles doubles](#), Cahier Thématique, Guide de données astronomiques pour l'observation du ciel 2008: Annuaire du Bureau des Longitudes, p. 337, ISBN : 978-2-7598-0027-8, IMCCE-BDL, EDP Sciences ed.

[ArLu99] Arenou F., Luri X., 1999, [Distances and absolute magnitudes from trigonometric parallaxes](#), Invited paper in Haguenau colloquium 'Harmonizing Cosmic Distance Scales', ASP Conference Series 167, p. 13, D. Egret and A. Heck ed., 1999ASPC..167...13A (29 citations)

[ArBa99] Arenou F., Babusiaux C., 1999, [Simulations et algorithmes de détection pour Gaia](#), Atelier Gaia, M. Froeschlé ed, (GAIA-C2-CP-OPM-FA-003-1), p. 159

[AGG92] Arenou F., Grenon M., Gómez A.E., 1992, [A tridimensional model of the galactic interstellar extinction](#), Astronomy&Astrophysics 258, p. 104-111, 1992A&A...258..104A (117 citations)

[HRC97a] Haywood M., Robin A., Crézé M., 1997a, [The evolution of the milky way galactic disc: I - Vertical structure and local constraints](#), A&A 320, p. 428 (44 citations)

[HRC97b] Haywood M., Robin A., Crézé M., 1997b, [The evolution of the milky way galactic disc: II - Star counts at the galactic poles](#), A&A 320, p. 440 (67 citations)

[Hay08] Haywood M., 2008, [Radial mixing and the transition between the thick and thin Galactic discs](#), Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 388, Issue 3, pp. 1175

[Pal97] Perryman M.A.C., et al., 1997, The Hipparcos Catalogue, A&A 323, p. 49, 1997A&A...323L..49P (981 citations)

[TuAr09] Turon C., Arenou F., 2009, Troisième dimension: de plus en plus loin dans notre Galaxie, n13, février 2009, L'Astronomie 123, p. 10-15

Bibliographie en astrophysique relative au projet :

[FUX1999] 3D Self-consistent N-body barred models of the Milky Way.
http://arxiv.org/PS_cache/astro-ph/pdf/9903/9903154v1.pdf

[GEORGELIN1979] The Spiral Structure of Our Galaxy determined from HII Regions
<http://adsabs.harvard.edu/full/1976A&A....49...57G>

[BINNEY1991] Is Galactic Structure Compatible with Microlensing Data ?
<http://www.iop.org/EJ/article/1538-4357/537/2/L99/005245.text.html>

[RRDP03] A. C. Robin, C. Reylé, S. Derrière and S. Picaud. A synthetic view on structure and evolution of the Milky Way, 2003, *Astron. Astrophys.*, 409:523
http://cdsads.u-strasbg.fr/cgi-bin/nph-bib_query?bibcode=2003A%26A...409..523R

[RODRIGUEZCOMBES2008] Dynamique du gaz dans la Voie lactée en présence de deux barres
<http://www.obs-besancon.fr/AtelierGalaxie/2008/supports/RodriguezBesancon2008.pdf>

[POHL2008] The Milky Way Spiral Arm Pattern
http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0812/0812.3491v1.pdf

[SC2002] B. Semelin, F. Combes, Formation and evolution of galactic disks with a multiphase numerical model, *Astronomy and Astrophysics*, 2002, v.388, p.826

« Dynamique Stellaire – Théorie des ondes de densité spirales »

Observatoire de Paris - LERMA

<http://aramis.obspm.fr/~combes/post-master/PDEA1.ppt>

« Évolution le long de la séquence de Hubble »

Observatoire de Paris - LERMA

<http://aramis.obspm.fr/~combes/post-master/PDEA2.ppt>

« Formation des Galaxies »

Observatoire de Paris - LERMA

<http://aramis.obspm.fr/~combes/post-master/PDEA4.ppt>

« Dynamique des Galaxies – Observations »

Observatoire de Paris - LERMA

<http://aramis.obspm.fr/~combes/post-master/Eric.ppt>

« Cinématique interne des amas de galaxies et des galaxies elliptiques »

Observatoire de Paris - LERMA

<http://aramis.obspm.fr/~combes/post-master/Gary.ppt>

« L'évolution des galaxies »

Observatoire de Paris - LERMA

http://interstices.info/jcms/c_19147/levolution-des-galaxies?portal=j_97&printView=true

Projets & logiciels référencés dans le document :

[DUAMNH] Projet Digital Univers & Partiview, développé par l'American Museum of Natural History de New York, <http://www.haydenplanetarium.org/universe/>

[4D2U] Projet 4D2U développé par le National Astronomical Observatory of Japan, <http://4d2u.nao.ac.jp/>

[MITAKA] logiciel MITAKA développé dans le cadre du projet 4D2U http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/index_E.html

[CAS] Center for Astrophysics & Supercomputing, <http://astronomy.swin.edu.au/supercomputing/>

[SPIRALGALAXIE] logiciel démontrant une partie de la dynamique de la galaxie développé par M GUGLIOMETTI, <http://drgoulu.wordpress.com/2008/02/08/galaxie-spirale-et-sequence-principale>

[NASAGALAXIE] Logiciel de vulgarisation sur la structure de la galaxie mis en ligne par la NASA, http://planetquest.jpl.nasa.gov/SIMGuide2Galaxy_launch_page.html

[NASAIMAGE] Vue d'artiste de la Galaxie proposée par la NASA, http://solarsystem.nasa.gov/multimedia/gallery/Milky_Way_Annotated.jpg

[INFINITY] Infinity, The Quest for Earth est un projet de jeu massivement multijoueur travaillant sur des solutions de génération procédurale. <http://www.infinity-universe.com/Infinity/>
(vidéo de galaxie procédurale : <http://www.youtube.com/watch?v=P0-lsyo28SU>)

[CELESTIA] logiciel libre de vulgarisation de l'astronomie <http://www.shatters.net/celestia/>

8.2. CAHIER DES CHARGES

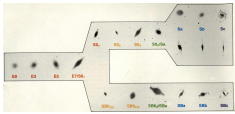
Ce cahier des charges ne correspond pas précisément à celui développé dans le projet. Il s'agit du cahier des charges du logiciel auquel RSA Cosmos souhaiterait idéalement aboutir au terme de cette collaboration. RSA Cosmos est conscient que dans ce cahier des charges « idéaliste » des parties de développement sont à l'heure actuelle impossible, notamment du fait du manque de données scientifiques. Ce cahier des charges est donc présenté juste afin de préciser d'avantage les besoins.

- MORPHOLOGIES

Le but de cette tâche est de spécifier les formes, configurations et distributions des différents objets astrophysiques.

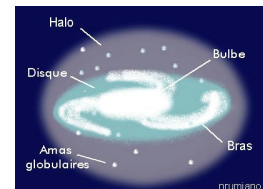
En prenant notamment en compte la répartition en densité (information x,y,z , densité) des différents objets astronomiques:

- Réalisation d'un modèle statique de galaxies permettant de représenter tous les types de galaxies de la séquence de Hubble
- Réalisation de différents modèles de nuages de gaz et poussière permettant d'obtenir les différentes formes de nébuleuses (obscur, réfraction HII, planétaire, explosion de Supernovae, Wolf-Rayet) aussi bien en vision locale, qu'en vision globale. (forme nuageuse, forme diffuse, formes filamenteuses...)
- Il devra être possible en temps interactif de modifier la forme des volumes de gaz et de poussière
- Amplification des données : génération procédurale d'instances à partir des données ou modèles statistiques



Pour notre Galaxie, la spécification des formes devra comprendre pour l'échelle globale :

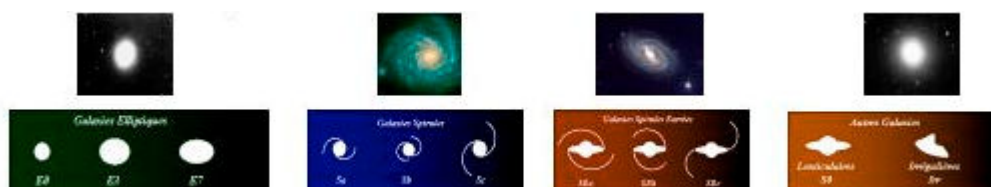
- Bulbe
- Disque mince
- Disque épais
- Halo
- Gauchissement du disque
- barre



Pour toutes les échelles, les objets suivant devront être placés, en respectant les probabilités de positionnement, ou les données connues si existantes :

- Étoiles (points)
- Nuages de gaz et de poussières (enveloppes avec information de distribution)

Les objets catalogués devront être placés à leur position estimée.



- **RENDU DYNAMIQUE**

Objets diffus :

A partir d'un nuage de gaz homogène en densité, en introduisant certains paramètres (vent stellaire, passage d'un élément provoquant une attraction gravitationnelle, onde de densité...) provoquer:

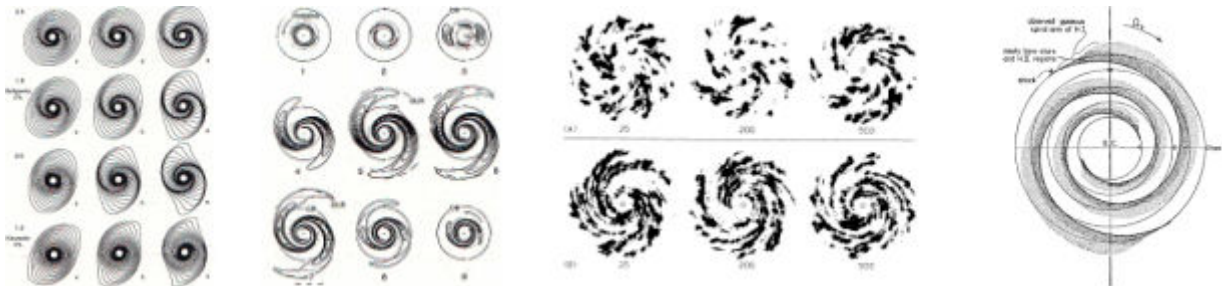
- Concentration, formation de structures filamenteuse
- Dissipation
- Déformation
- Dislocation, effilochement



Exemple de « structures filamenteuses »

Travail sur le modèle de la dynamique globale de la Galaxie :

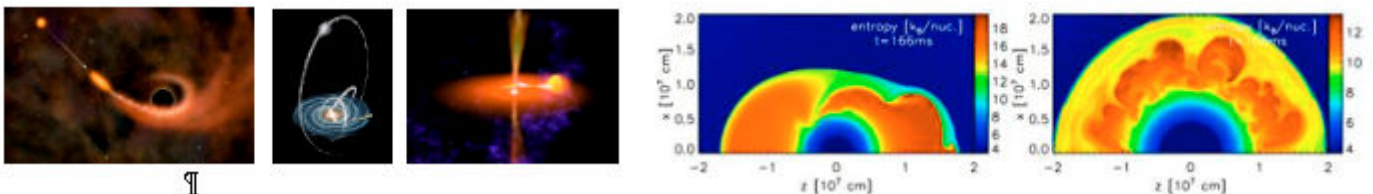
- Bras spiraux
- Barre
- Courants stellaires



Objets ponctuels :

Travail sur la dynamique locale de la galaxie :

- Interactions gravitationnelles autour du trou noir central supermassif
- Interactions gravitationnelles entre étoiles (systèmes multiples)

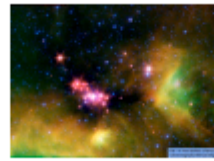
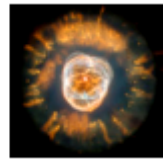
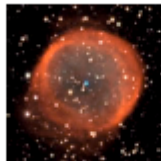
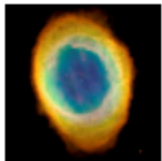
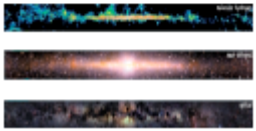
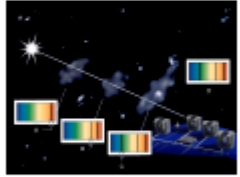


Partant d'un résultat issu du LOT 1, en fonction du type de corps, les mouvements se répercuteront de manière différente.

- **RENDU ET REPRESENTATION**



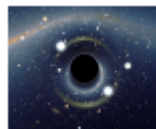
- Représentation de distributions lourdes de données (point ou volume)
- Représentation compatible avec le volume de données et le contexte interactif
- Cas des données en mouvements
- Rendu de l'éclairage globale dans les données de type gaz volumique (Gaz et de poussières) : Sources, Absorption, Ionisation, Réflexion, Diffusion
- Il devra être possible de placer des étoiles de types différents à proximité et à l'intérieur du nuage et de vérifier alors le comportement du nuage (Placement de sources différentes avec animation de la position de ces sources)
- Il devra être possible de forcer la concentration, de forcer la dissipation ou bien d'effiloche le nuage en temps interactif. (Possibilité de modifier la distribution en densité des nuages)
- Application aux amas d'étoiles, aux nuages de gaz interstellaires et aux nébuleuses planétaires dans la galaxie
- Rendu de zones lumineuses diffuses composées en fonction d'une densité d'étoiles et de leur type



Exemple de gaz se dissipant après l'explosion d'une étoile

Exemple de gaz se concentrant permettant la formation de jeunes étoiles

- Rendu des effets de lentilles gravitationnelles : Il devra être possible de se déplacer autour d'un trou noir et d'observer les effets de lentille gravitationnelle sur la lumière émise par les corps situés derrière le trou noir.



- INTEGRATION & DIDACTIQUE
 - Analyse des points essentiels à démontrer
 - Intégration et modification des modèles pour inclure une interaction permettant de traiter les points didactiques
 - Intégration des différents modèles validés dans un unique objet
 - Adaptation des données aux formats nécessaire à l'application
 - Possibilité de modifier les paramètres principaux des modèles afin d'en montrer l'essence
 - Possibilité de mettre dans des couleurs particulières des zones d'intérêt
 - Possibilité de définir un objet comme centre d'intérêt de la caméra
 - Possibilité de charger les différentes bases de données à la demande
 - Ajout d'objets spécifiques pour les explications
 - Possibilité de placer des labels
 - Possibilité de faire apparaître des zones de détournage
 - Possibilité de faire apparaître des repères, des vecteurs et autres formes basiques pour localiser et définir les forces en présences

**8.3. SCREEN SHOT DE LA GALAXIE TELLE QUE REPRÉSENTÉE DANS LES LOGICIELS
POUR PLANÉTIUMS**

