



UNIVERSITÉ DE REIMS CHAMPAGNE-ARDENNE

RAPPORT DE STAGE MASTER 1

Etude et évaluation de la structure de donnée SVDAG et ses variantes pour le RayTracing en visualisation scientifique

Auteur : ANTOINE ROCHE

Tuteur de stage : JÉRÔME DUBOIS

Tuteur enseignant : MICKAEL KRAJECKI

08/04/2019 — 30/08/2019

CEA, DAM, DIF, F-91297, Arpajon, France

Sommaire

1 Présentation CEA	3
2 Introduction	10
3 Contexte du stage	11
4 Objet du stage	12
4.1 Structures de données	12
4.1.1 Sparse Voxel Octree	12
4.1.2 Sparse Voxel Directed Acyclic Graph	13
4.1.3 Adaptive Mesh Refinement	14
4.2 Performance et analyse du SVDAG	15
4.2.1 Résultats	15
4.2.2 Analyse	16
5 Collaboration et contribution	17
6 Problèmes rencontrés	18
7 Travaux futurs	19
8 Conclusion	20
9 Remerciements	21
10 Glossaire	22
11 Bibliographie	23

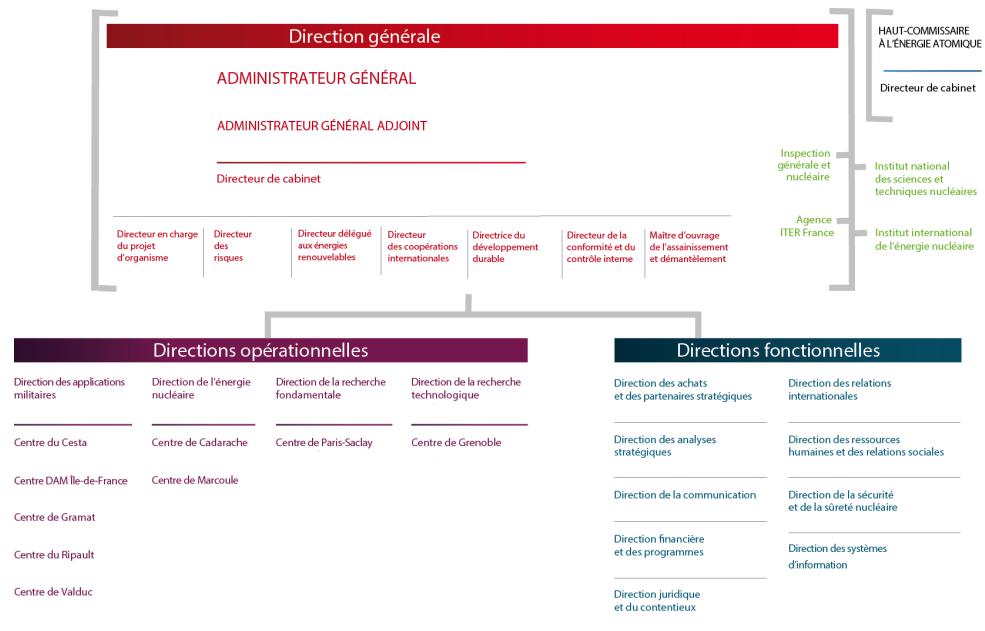
1 Présentation CEA

Acteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives intervient dans quatre domaines :

- La défense et la sécurité. ;
- Les énergies bas carbone (nucléaires et renouvelables). ;
- La recherche technologique pour l'industrie. ;
- La recherche fondamentale (sciences de la matière et sciences de la vie).

S'appuyant sur une capacité d'expertise reconnue, le CEA participe à la mise en place de projets de collaboration avec de nombreux partenaires académiques et industriels. Le CEA est implanté sur 9 centres répartis dans toute la France. Il développe de nombreux partenariats avec les autres organismes de recherche, les collectivités locales et les universités. A ce titre, le CEA est partie prenante des alliances nationales coordonnant la recherche française dans les domaines de l'énergie (ANCRE), des sciences de la vie et de la santé (AVIESAN), des sciences et technologies du numérique (ALLISTENE), des sciences de l'environnement (ALIEnvi) et des sciences humaines et sociales (ATHENA).

Reconnu comme un expert dans ses domaines de compétence, le CEA est pleinement inséré dans l'espace européen de la recherche et exerce une présence croissante au niveau international. Le CEA compte 15 942 techniciens, ingénieurs, chercheurs et collaborateurs pour un budget de 5 milliards d'euros (chiffres publiés fin 2017).



La direction des applications militaires

Une direction au service de la dissuasion

La Direction des applications militaires (DAM) du CEA, a pour mission de concevoir, fabriquer, maintenir en condition opérationnelle, puis démanteler les têtes nucléaires qui équipent les forces nucléaires aéroportée et océanique françaises.

La DAM est chargée de la conception et de la réalisation des réacteurs et de coeurs nucléaires équipant les bâtiments de la Marine nationale, sous-marins et porte-avions. Elle apporte son soutien à la Marine nationale pour le suivi en service et le maintien en condition opérationnelle de ces réacteurs.

La DAM est également responsable de l'approvisionnement des matières nucléaires stratégiques pour les besoins de la dissuasion.

Dans un monde en profonde mutation, la DAM contribue aussi à la sécurité nationale et

internationale à travers l'appui technique qu'elle apporte aux autorités, pour les questions de lutte contre la prolifération nucléaire et le terrorisme et de désarmement.

Depuis le transfert du centre de Gramat en 2010 de la Direction générale de l'armement au CEA, la DAM apporte son expertise à la Défense dans le domaine de l'armement conventionnel.



Une direction ouverte à la recherche

Le partage national et international des connaissances (lorsqu'il est possible), la confrontation à l'évaluation scientifique extérieure, l'intégration à des réseaux de compétences constituent des gages de crédibilité scientifique.

Les équipes de la DAM réalisent chaque année environ 2000 publications et communications scientifiques. Cette ouverture de la DAM passe également par la mise à la disposition de la communauté des chercheurs de ses moyens expérimentaux et par la contribution de ses équipes à d'autres programmes de recherche.

Une direction actrice de la politique industrielle française

La DAM partage très largement son activité avec l'industrie française : c'est ainsi que le montant des achats, auprès de celle-ci, représente plus des deux tiers de son budget ; le dernier tiers se répartit entre les salaires des personnels (un cinquième) et les taxes.

La politique industrielle de la DAM est originale à plus d'un titre :

- d'abord parce que la DAM conserve la maîtrise d'œuvre d'ensemble de la grande majorité des systèmes dont elle a la responsabilité : elle veille ainsi au juste équilibre entre les grands groupes industriels de la Défense et les PME souvent innovantes, en contractualisant directement avec ces dernières, leur permettant ainsi de recevoir la juste rémunération de leur production ;
- ensuite, parce que la répartition de son budget est sous-tendue par une répartition des travaux : la DAM conduit la recherche dans ses laboratoires grâce à son personnel de haut niveau scientifique et technologique. Une fois la définition d'un produit acquise, la DAM transfère la définition et les procédés vers les industriels qui en réalisent le développement, puis la production.

La DAM a également pour objectif que ses centres participent à la vie économique locale par leur implication dans les pôles de compétitivité. Hors de son propre champ d'utilisation, elle valorise ses recherches par le transfert de technologies vers l'industrie et le dépôt de nombreux brevets.

Le format

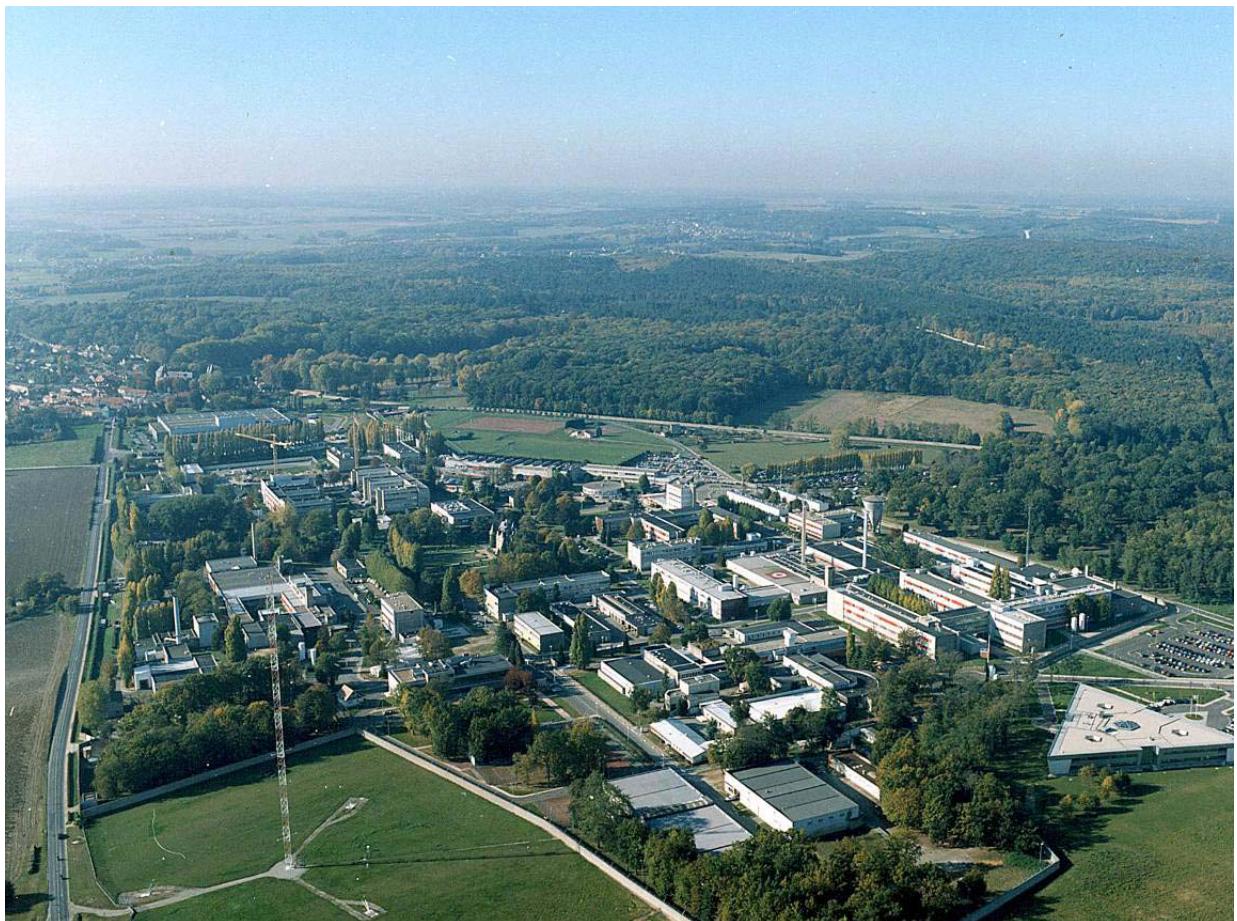
La DAM comprend cinq centres aux missions homogènes, dont les activités se répartissent entre la recherche de base, le développement et la fabrication :

- **DAM Ile-de-France (DIF)**, à Bruyères-le-Châtel, où sont menés les travaux de physique des armes, les activités de simulation numérique et de lutte contre la prolifération nucléaire ; DIF est aussi le centre responsable de l'ingénierie à la DAM ; enfin, au centre DIF est rattachée l'INBS-Propulsion Nucléaire du centre CEA/Cadarache, en région Provence Alpes-Côte d'Azur, où sont implantées les installations d'essais à terre et une partie des fabrications de la propulsion nucléaire ;



- **Le Cesta**, en Aquitaine, consacré à l'architecture des armes, aux tests de tenue à l'environnement. Il met en oeuvre le Laser Mégajoule, équipement majeur de la Simulation ;
- **Valduc**, en Bourgogne, dédié aux matériaux nucléaires et à l'installation expérimentale Epure du programme Simulation ;
- **Le Ripault**, en région Centre, dédié aux matériaux non nucléaires (explosifs chimiques...) ;
- **Gramat**, (ex-DGA) en Midi-Pyrénées, qui conduit au profit de la Défense des activités en vulnérabilité des systèmes et efficacité des armements. ;

Le centre DAM Ile-de-France



Centre DAM Île-de-France

Le CEA/DAM - Île de France (DIF) est l'une des directions opérationnelles de la DAM. Le site de la DIF compte environ 2000 salariés CEA et accueille quotidiennement environ 600 salariés d'entreprises extérieures. Il est situé à Bruyères-le-Châtel à environ 40 km au sud de Paris, dans l'Essonne.

Les missions de la DIF comprennent :

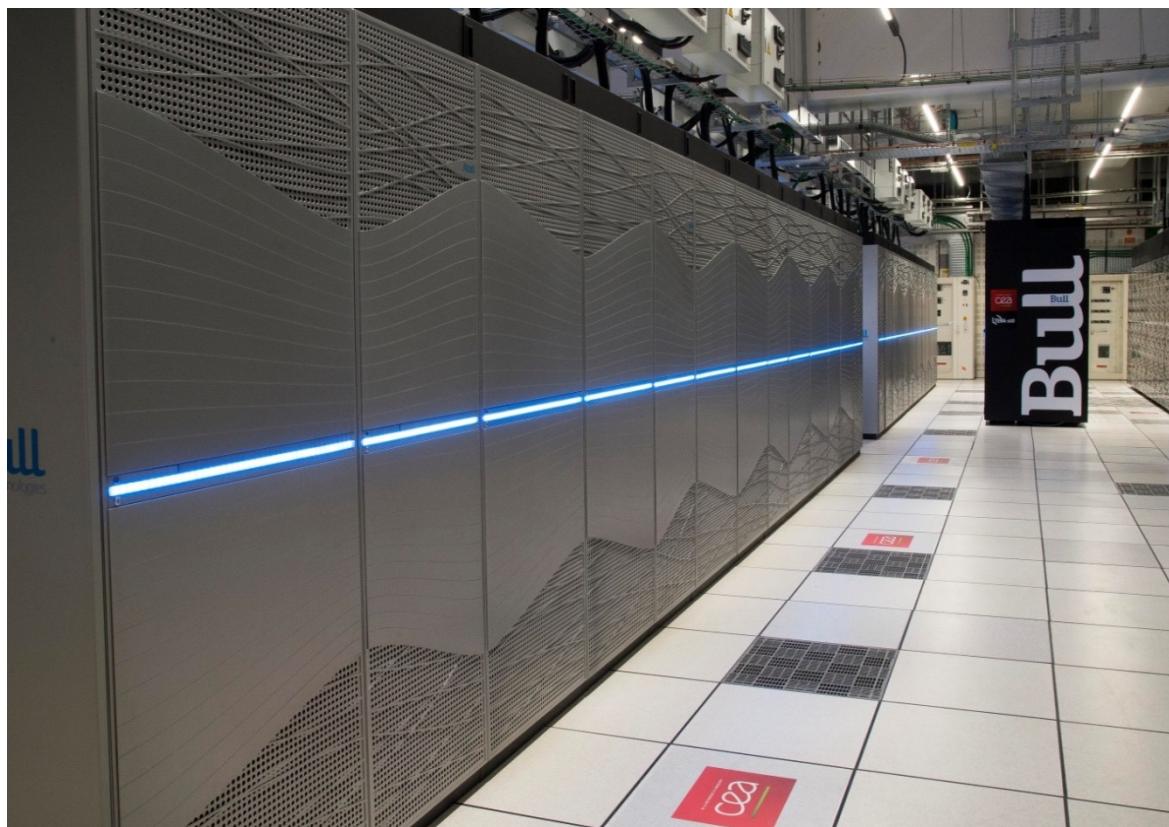
- La conception et garantie des armes nucléaires, grâce au programme Simulation. L'enjeu consiste à reproduire par le calcul les différentes phases du fonctionnement d'une arme nucléaire et à confronter ces résultats aux mesures des tirs nucléaires passés et aux résultats expérimentaux obtenus sur les installations actuelles (machine radiographique, lasers de puissance, accélérateurs de particules). ;
- La lutte contre la prolifération et le terrorisme, en contribuant notamment au programme de garantie du Traité de Non-Prolifération et en assurant l'expertise tech-

nique française pour la mise en œuvre du Traité d’Interdiction Complète des Essais Nucléaires (TICE).

- L’expertise scientifique et technique, dans le cadre de la construction et du démantèlement d’ouvrages complexes ainsi que pour la surveillance de l’environnement et les sciences de la terre.
- L’alerte des autorités, mission opérationnelle assurée 24h sur 24, 365 jours par an, en cas d’essai nucléaire, de séisme en France ou à l’étranger, et de tsunami dans la zone Euro-méditerranéenne. La DIF fournit aux autorités les analyses et synthèses techniques associées.

Depuis 2003, le centre DAM-Île-de-France héberge le complexe de calcul scientifique du CEA, qui regroupe l’ensemble des supercalculateurs du CEA, et qui comprend à ce jour :

- Le supercalculateur Tera1000-1 pour les besoins du programme Simulation du CEA/-DAM, mis en service en 2016, dispose d’une puissance de calcul de 2,5 petaflops, c’est à dire capable d’effectuer 2,5 millions de milliards d’opérations par seconde. Il est complété en 2018 par Tera1000-2, autre composante du projet Tera1000, qui préfigure les architectures et technologies du futur supercalculateur qui sera installé à l’horizon 2020. Sa puissance de calcul est de 12,5 petaflops.



- Le supercalculateur Cobalt du Centre de Calcul pour la Recherche et la Technologie (CCRT), ouvert à la communauté civile de la recherche et de l'industrie, pour une puissance globale de 1,5 petaflops.



- Le supercalculateur IRENE, d'une puissance de 9 petaflops, deuxième élément d'un réseau de supercalculateurs de classe petaflopique destiné aux chercheurs de la communauté scientifique européenne. Ce supercalculateur est hébergé au TGCC (Très Grand Centre de Calcul) et exploité par les équipes du CEA, qui apporte ainsi sa contribution à la participation de la France au projet PRACE (Partnership for Advanced Computing in Europe)

2 Introduction

Le domaine de la visualisation, que ce soit dans le secteur scientifique ou multimédia, nécessite une qualité de rendu toujours plus grande.

3 Contexte du stage

4 Objet du stage

4.1 Structures de données

4.1.1 Sparse Voxel Octree

Le Sparse Voxel Octree (SVO) est une représentation de données en arbre. Sa structure permet d'accéder à une information rapidement. Il est construit à partir d'une scène 3D non structurée, qui est ensuite découpée en grille dont les cases contenant un élément sont à leur tour découpées jusqu'à atteindre le niveau défini. Chaque feuille du dernier niveau devient alors un voxel.

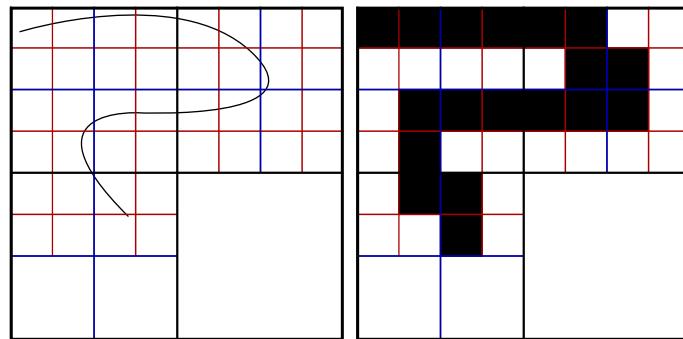


FIGURE 1: Découpage d'une scène 2D avec 3 niveaux et représentation des "voxels" obtenus

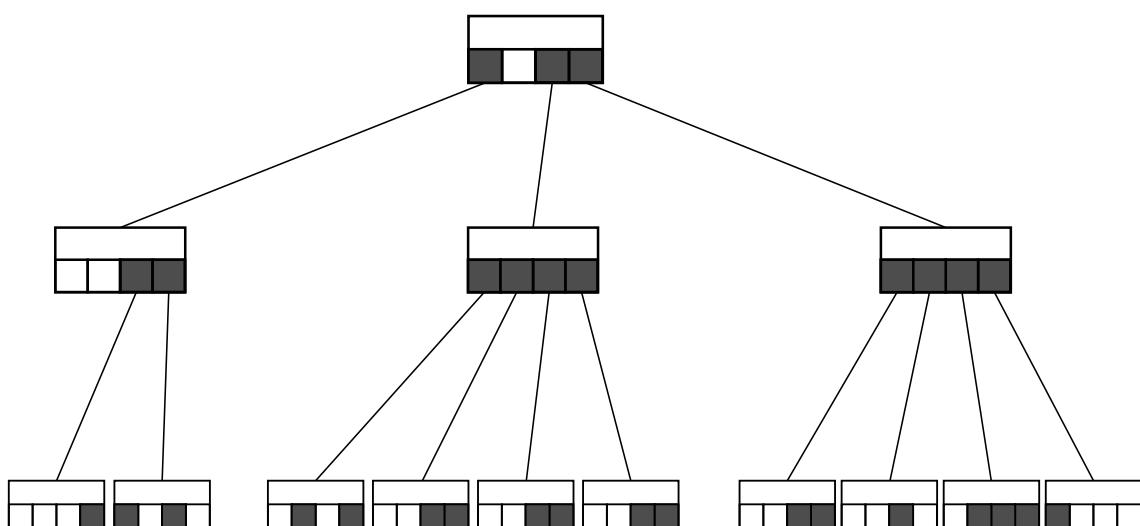


FIGURE 2: Représentation de l'arbre construit

4.1.2 Sparse Voxel Directed Acyclic Graph

Le Sparse Voxel Directed Acyclic Graph (SVDAG) est un arbre de voxel compressé. Il peut être construit à partir d'un SVO. Sa particularité est qu'un noeud peut être pointé par plusieurs parents, évitant ainsi de stocker plusieurs noeuds s'ils sont identiques. Il est également acyclique, nous pouvons descendre dans l'arbre mais pas remonter. Cela offre un gain de stockage supplémentaire en ne spécifiant pas les parents des noeuds. Tout cela permet de faire tenir en mémoire des structures trop volumineuses à la base et de rendre les accès mémoires plus rapides.

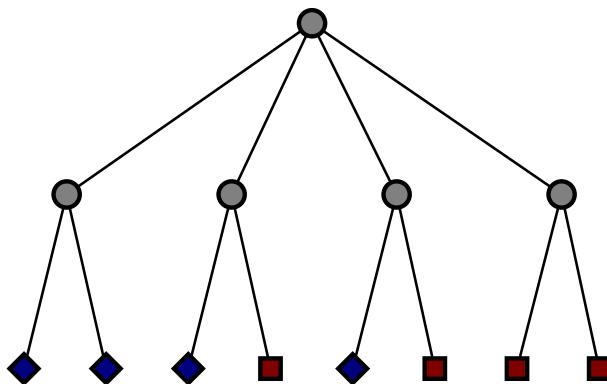


FIGURE 3: Représentation d'un arbre de données

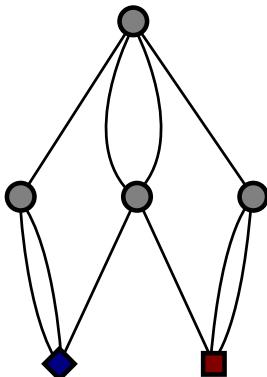


FIGURE 4: Représentation de l'arbre après compression via SVDAG

4.1.3 Adaptive Mesh Refinement

L'Adaptive Mesh Refinement (AMR) est un arbre semblable au SVO, à la grande différence que les voxels peuvent se situer à des niveaux différents dans l'arbre. Ceci implique qu'une scène peut contenir des voxels plus grossiers que d'autres si un affinage n'est pas nécessaire. En contrepartie, des zones peuvent être très détaillées sans allourdir la mémoire de façon excessive.

De plus, il est aisément de diminuer le niveau maximal des voxels pour obtenir une scène moins détaillée mais beaucoup plus fluide (voire en temps réel) afin de configurer rapidement les différents paramètres pour le rendu final.

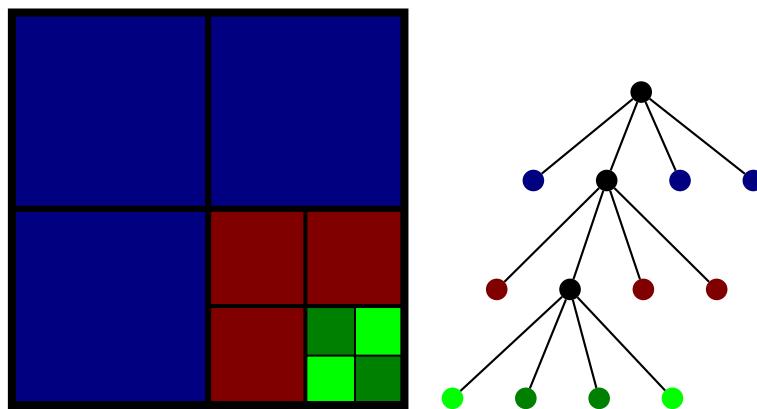


FIGURE 5: Grille de type AMR de niveau 3 avec son arbre associé

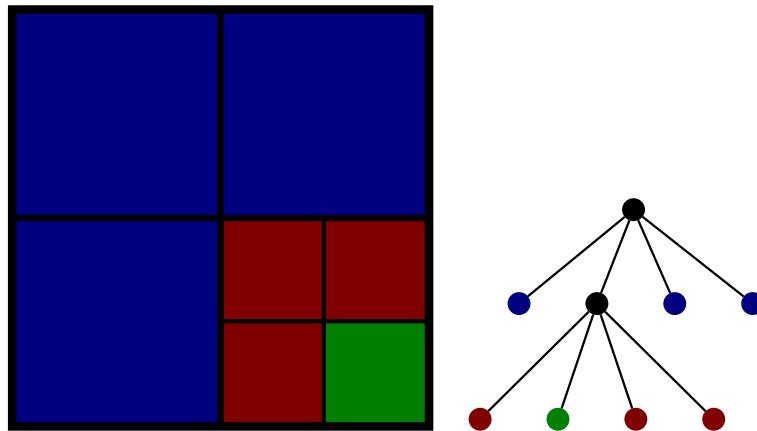


FIGURE 6: Grille de type AMR de niveau 2 avec son arbre associé

4.2 Performance et analyse du SVDAG

4.2.1 Résultats



FIGURE 7: Rendu de modèles avec du raycasting sur SVDAG
De gauche à droite : Bunny (Stanford), Dragon (Stanford), Hairball (NVIDIA Research), Lucy (Stanford)

	Nombre Triangles	Taille non-structuré	Temps construction SVO	Temps construction SVDAG
Bunny	69 451	3.0 Mo	3.9s	4.3s
Dragon	871 414	33.8 Mo	5.7s	3.0s
Hairball	2 880 000	236.1 Mo	58.7s	47.7s
Lucy	28 055 742	533.1 Mo	77.5s	1.7s

	Nombre voxels	Taille SVO Structure + grandeurs	Taille SVDAG Structure + grandeurs	Taux compression
Bunny	3 591 666	14.4 + 57.5 Mo	1.3 + 8.5 Mo	86.3%
Dragon	2 688 970	10.8 + 43.0 Mo	1.0 + 6.4 Mo	86.2%
Hairball	41 521 450	166.1 + 664.3 Mo	13.3 + 94.6 Mo	87.0%
Lucy	1 540 004	6.2 + 24.3 Mo	0.6 + 3.6 Mo	86.3%

TABLE 1: Résultats avec des scènes voxélisées de résolution $1K^3$

4.2.2 Analyse

Tout d'abord, les modèles sont ordonnés selon le nombre de triangles qui les composent. Nous pouvons en premier lieu constater que la taille des modèles non-structurés dépend du nombre de triangles. Cependant, le nombre de voxels obtenus, quant à lui, dépend du volume du modèle dans le cube. Par exemple, la boule de poil est sphérique et "pleine" tandis que Lucy est un modèle creux et haut, rendant une grosse partie du cube vide.

Concernant le SVO, sa taille dépend du nombre de voxels, tandis que son temps de construction dépend du nombre de triangles.

La taille et le temps de construction du SVDAG sont liés au nombre de voxels. De plus, sa taille dépend également de la régularité des modèles. Dans notre cas, les modèles sont tous autant réguliers car la couleur est distribuée avec le même procédé.

La structure du SVDAG est environ 10 fois moins volumineuse que le SVO, et les grandeurs 85% plus légères. Ce qui donne un taux de compression total d'environ 86% ;

5 Collaboration et contribution

6 Problèmes rencontrés

7 Travaux futurs

8 Conclusion

9 Remerciements

Obligatoire dans le rapport

10 Glossaire

Obligatoire dans le rapport

11 Bibliographie

Obligatoire (il existe des solutions pour générer automatiquement les bib)