

N. d'ordre : 583

THESE

Présentée devant

l'Université de Rennes 1

**INSTITUT DE FORMATION SUPÉRIEURE EN INFORMATIQUE ET
COMMUNICATION**

pour obtenir

**Le Titre de Docteur de l'Université de Rennes I
Mention INFORMATIQUE**

par

Philippe SCHMOUKER

**Réalisation d'un environnement pour
le lancer de rayons sur machine
parallèle.**

Soutenue le Mardi 17 septembre 1991 devant la commission
d'examen

MM. :	Jean-Pierre	BANATRE	Président
	Kadi	BOUATOUCH	Rapporteurs
	Bernard	PEROCHE	
	Christian	BOUVILLE	Examineurs
	Franck	CHAPUIS	
	Jean-Luc	JUMPERTZ	
	Patrice	QUINTON	

Table des Matières

Introduction	1
I L'environnement de synthèse	5
1 Introduction	5
2 Les outils de modélisation	7
2.1 Les objets facettes	7
2.2 Les modèles numériques de terrain	8
2.3 Les textures	8
3 Le calcul du rendu	12
4 Les outils de visualisation	12
5 Conclusion	13
II M³ – Un modelleur 3D orienté CSG	15
1 Introduction	15
2 Constructive Solid Geometry	15
2.1 Description rapide du modèle	16
2.2 CSG et lancer de rayons	18
2.2.1 Etiquetage des intersections	18
2.2.2 Les algorithmes de classification	19
3 Un langage de génération pour le lancer de rayons – LGRC	22
3.1 Pourquoi un tel langage ?	22
3.2 Brève description du langage	22
3.2.1 Déclarations préliminaires	23
3.2.2 Déclarations de primitives manipulées	23
3.2.3 Construction d'objets composés	24
3.2.4 Le placement des objets	25
3.2.5 La description de l'environnement	26
3.3 Ses capacités	27

3.3.1	Un langage structuré	27
3.3.2	L'opérateur assemblage	28
3.3.3	Une optimisation de la structure de l'arbre	28
3.4	Ses limitations	28
3.4.1	Un point de vue unique	29
3.4.2	Des paramètres photométriques dupliqués	29
3.4.3	Pas de texturage	29
3.4.4	Pas d'interface avec une base de données	29
3.4.5	Arbre généré non optimal	30
4	M³ – Une extension de LGRC	31
4.1	Pourquoi une telle extension ?	31
4.2	Ses capacités nouvelles	32
4.2.1	Encore plus d'objets	32
4.2.2	Interfaçage avec une base de données	33
4.2.3	Le mouvement et les modifications d'aspects	33
4.2.4	La notion de capteurs	33
4.2.5	De nouveaux modèles photométriques	34
4.2.6	De nouveaux types de sources lumineuses	36
4.2.7	Le texturage	36
4.2.8	Un environnement plus réaliste	38
4.2.9	Le hasard	38
4.3	Ses limitations actuelles	40
4.3.1	Arbre généré non optimal	40
4.3.2	Pas de subdivision spatiale	40
4.3.3	Pas d'interactivité	40
4.3.4	Une syntaxe un peu lourde	41
4.4	Vers un "Modeleur++"	41
4.4.1	Un interprète de commandes	42
4.4.2	Un logiciel de rendu simplifié	42
4.4.3	Une syntaxe simplifiée	43
5	Un exemple de description de scène sous M³	45
5.1	Le texte	45
5.2	L'image	47
6	Références bibliographiques	48
III	Le lancer de rayons	51
1	Introduction	51

2	Rappels	51
2.1	Présentation de l'algorithme	51
2.2	Accélération des calculs	55
2.2.1	Des calculs d'intersection plus rapides	55
2.2.2	Diminution du nombre des rayons lancés	57
2.2.3	Parallélisation de l'algorithme	59
2.3	Amélioration du réalisme	62
2.3.1	Antialiasage des images	62
2.3.2	Mode de lancer des rayons	63
2.3.3	Texturage des surfaces et des volumes	65
2.3.4	Modèles photométriques	67
2.3.5	Simulation d'effets spéciaux	69
3	Choix pour la mise en œuvre	69
3.1	Le modèle photométrique	70
3.2	Le lancer de rayons	72
3.3	Les textures	73
3.4	Le parallélisme	73
3.5	Calculs particuliers	75
4	Conclusion	76
5	Références Bibliographiques	76
IV	Mise en œuvre parallèle du lancer de rayons	79
1	La machine parallèle et l'environnement de développement	79
1.1	Le processeur de base	79
1.2	La machine parallèle	79
1.3	L'environnement de développement	80
1.3.1	La programmation en OCCAM	80
1.3.2	Moyens de compilation	82
1.3.3	Chargement d'une application	83
1.3.4	Scrutation de l'état du réseau	83
2	Mise en œuvre	83
2.1	Présentation générale	83
2.2	La structure logicielle du programme de lancer de rayons	85
2.2.1	Structure interne du programme pilote	85
2.2.2	Structure interne du lancer de rayons parallèle	86
2.2.3	Le canevas de cette structure	86

2.2.4	Le morcellement de cette structure	86
2.2.5	Le routeur	87
2.2.6	L'exécuteur des commandes	88
2.2.7	Le chargement d'une base de données	88
2.2.8	Le calcul d'un bloc d'image	90
2.2.9	Le multiplexage des messages émis	91
2.2.10	L'émission de messages de déverminage	91
2.3	Description de quelques cas particuliers	92
2.3.1	Antialiassage, calculs en mode filaire	93
2.3.2	Sous-échantillonnage en quinconce	94
2.4	Résultats	95
2.4.1	Les scènes de test	95
2.4.2	Efficacité du process-farming étendu	98
2.4.3	Temps de synthèse et taille des blocs	99
2.4.4	Efficacité de la subdivision spatiale	101
2.4.5	Résultats particuliers	102
3	Distribution des textures	103
3.1	Introduction	103
3.2	Utilisation d'un cache mémoire et d'un serveur centralisé	103
3.3	Mémoire virtuelle distribuée et distribution des textures	106
3.3.1	Mise en œuvre	106
3.3.2	Résultats	109
3.4	Proposition d'une extension à plusieurs serveurs de données	111
V	Interprète de commandes et lancer de rayons	113
1	Introduction	113
2	Les commandes et leurs fonctionnalités	113
2.1	De l'aide, initialiser, quitter	113
2.2	Le contrôle du capteur actif	114
2.3	Le contrôle du milieu environnant	115
2.4	Le contrôle de l'affichage vidéo	115
2.5	Le contrôle des processeurs du réseau	116
2.6	Le contrôle de la base de données	116
2.7	Animations, fichiers de commandes et sauvegardes	116
2.8	Calcul du rendu	117
2.9	Un exemple d'utilisation	117
3	De nouvelles commandes	117

3.1	Justification	117
3.2	Les commandes	117
3.2.1	Constructions et modifications d'objets	117
3.2.2	Modifications des paramètres photométriques	118
3.2.3	Modifications des textures	119
3.3	Remarque	119
4	Conclusion	119
VI	Simulation de sources surfaciques	121
1	Description du problème	121
2	Répartition des sources ponctuelles et calcul d'éclairement	121
3	Conclusion	126
VII	Conclusion	129
VIII	Bibliographie	135
ANNEXES		174
A	Un exemple d'utilisation de l'interprète de commandes	175
A.1	Chargement d'une scène et calcul d'une image	175
A.2	Exécution d'un fichier de commandes, calcul d'une image statique . .	175
A.3	Modification de certains paramètres de calcul, liste des caractéristiques du capteur actif	176
A.4	Statistiques de calcul et de routage	176
A.5	Calculs avec et sans antialiasage, et en mode filaire	178
A.6	Fichiers de commandes et animations	179
A.7	Le texte complet de l'exemple	180
B	L'interprète des commandes du lancer de rayons	187
B.1	De l'aide, Réinitialiser, Quitter	187
B.2	Le contrôle du capteur actif	187
B.2.1	Changement de capteur actif, Affichage du capteur actif . . .	188
B.2.2	Positionnement du capteur	188
B.2.3	Les dimensionnements de l'écran et de l'image à calculer . . .	189

B.2.4	Les différents modes de calcul et leur contrôle	189
B.2.5	Le contrôle du temps	190
B.3	Le contrôle du milieu environnant	190
B.4	Le contrôle de l'affichage vidéo	192
B.5	Le contrôle des processeurs du réseau	192
B.6	Le contrôle de la base de données	192
B.7	Animations, Fichiers de commandes et Sauvegardes	193
B.8	Exécution du calcul du rendu	193
B.9	Propositions pour des modifications de scènes	193
B.9.1	Modifications d'objets	193
B.9.2	Modifications de paramètres photométriques	194
B.9.3	Modifications de textures	194
C	Les règles de grammaire du langage M³	196
C.1	Description globale de la scène à visualiser	196
C.2	Les paramètres photométriques	196
C.2.1	Leur déclaration en entête de description	196
C.2.2	Leur déclaration en cours de description d'un objet	196
C.2.3	Les composantes d'un paramètre photométrique	196
C.3	La déclaration des objets primaires	197
C.3.1	Les déclarations elles-mêmes	197
C.3.2	Les types primaires	198
C.3.3	Et leurs dimensionnements	198
C.3.4	Le texturage	199
C.4	La composition des objets complexes	202
C.4.1	L'ensemble des ces compositions	202
C.4.2	La description de la composition de deux sous-objets	202
C.4.3	La description d'un sous-objet	202
C.4.4	Le positionnement des objets et sous-objets	203
C.5	Le positionnement des objets dans l'espace	203
C.5.1	L'ensemble des ces positionnements	203
C.5.2	Le positionnement d'un objet	203
C.6	La déclaration de l'environnement de visualisation	203
C.6.1	Les sources lumineuses	204
C.6.2	Les différents capteurs	205
C.6.3	Le milieu ambiant	207
C.6.4	La zone des textures	208
C.6.5	Les optimisations sur la construction de l'arbre CSG	208
C.7	Identificateurs, expressions et commentaires	208
C.8	Une nouvelle syntaxe pour la composition d'objets	209

Table des matières

vii

D Les images des principales scènes

210

Liste des Figures

I.1	La synthèse d'image est un processus pipeline	5
I.2	L'environnement de synthèse	6
I.3	KRT : un outil de saisie interactive de modèles numériques de terrains.	8
I.4	Saisie d'altitudes et enrichissement d'un MNT à l'aide de l'outil KRT.	9
I.5	Un exemple de texture par dégradés	10
I.6	Un exemple de texture altitude	11
II.1	Construction d'un arbre CSG	17
II.2	Classification sans singularités	20
II.3	Classification avec singularités	21
II.4	Réflexions et réfractions, d'après Whitted	23
II.5	arbre équilibré et déséquilibré	27
II.6	Réduire les volumes englobants le plus tôt possible	30
II.7	Texture aléatoire uniforme.	35
II.8	Texture fractale.	35
II.9	Texture 2D utilisée par placage – Principe.	37
II.10	Texture 2D utilisée par placage – Résultat.	37
II.11	Texture par placage 2D.	39
II.12	Texture solide 3D.	39
II.13	Schéma actuel de mise au point d'une scène sous M^3	41
II.14	Schéma souhaitable de mise au point d'une scène sous M^3	42
II.15	Résultats rendus par les trois opérateurs ensemblistes	47
III.1	Le lancer de rayons	52
III.2	Principe du lancer de rayons	53
III.3	Un arbre photométrique	53
III.4	Calcul des ombres portées	54
III.5	Types d'éclairément non détectés par le lancer de rayons inverse	64
III.6	Coefficients de réflexion de Fresnel pour deux composants distincts	68
III.7	Les vecteurs et valeurs d'éclairéments utilisés par le modèle photométrique.	71
III.8	Topologie linéaire proposée par Packer pour le <i>process-farming</i>	74
IV.1	L'architecture générale de la machine parallèle.	81
IV.2	Les différentes tâches internes du lancer de rayons parallèle.	87
IV.3	Le chargement de la base de données sur un processeur.	89
IV.4	Les communications internes lors du calcul d'un bloc d'image.	90
IV.5	Un cas de figure particulier : les communications en phase de test.	92
IV.6	Suréchantillonnage régulier pour l'antialiasage	93
IV.7	la scène "X-29".	97
IV.8	la scène "Montre".	97
IV.9	la scène "Crypte"	98

IV.10	L'efficacité du <i>process-farming</i> étendu.	100
IV.11	Les temps de synthèse, en fonction des dimensions des blocs.	101
IV.12	Principe de la séquence animée utilisant une surface texturée.	105
IV.13	Partage de la zone de mémoire virtuelle	107
IV.14	Serveurs de données et distribution de responsabilité.	112
VI.1	Calcul d'éclairement à partir d'une source volumique	123
VI.2	Répartition régulière des rayons éclairants dans un plan de projection	126
VI.3	Répartition surfacique régulière de sources ponctuelles	127
VII.1	Représentation de l'outil de synthèse développé	129
VII.2	Représentation de la part de l'outil développé au sein de la génération d'images	131
A.1	Une scène test, composée de 1024 sphères	176
A.2	La même scène, représentée en mode filaire	177
A.3	La numérotation des processeurs	177
D.1	Le principe du lancer de rayons.	211
D.2	Opérateurs ensemblistes appliqués à deux objets.	212
D.3	La scène "Whitted".	213
D.4	La scène "Bicentenaire".	214
D.5	La scène "Avions".	215
D.6	La scène "Cœur".	216
D.7	La scène "Chambre".	217
D.8	La scène "Sphères".	218
D.9	La scène "Théière".	219