

M. BRET

images de synthèse

BIBLIOTHEQUE DU CERIST



méthodes et algorithmes
pour la réalisation d'images numériques

DUNOD

informatique

BO-PRÉ

C 2168

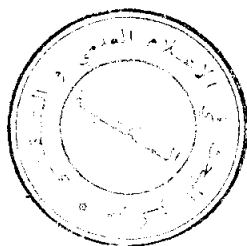
images de synthèse

méthodes et algorithmes
pour la réalisation d'images numériques

par

Michel BRET

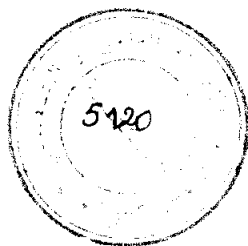
Maître assistant
à l'Université Paris VIII
(départements d'informatique et d'arts plastiques)



BO-PRÉ

DUNOD

informatique



ISBN : 2-04-016999-7

© BORDAS, Paris, 1988

«Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants-droit ou ayants-cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration»

Préface

Les images produites par ordinateur ont envahi notre vie quotidienne. Il n'est que de regarder la plupart des génériques des émissions de télévision, ou quelques séquences de publicité pour s'en convaincre. La preuve est ainsi faite que la synthèse d'image a atteint l'âge adulte. Les progrès qui ont été réalisés ces dernières années permettent d'envisager l'usage d'illustrations réalistes dans des domaines d'application de plus en plus nombreux.

Il est donc naturel que de nombreuses personnes souhaitent comprendre comment ces images sont produites, qu'il s'agisse de l'amateur désireux de connaître les grandes lignes des traitements à réaliser ou du spécialiste en informatique voulant développer une nouvelle application utilisant des procédés graphiques.

Le livre de Michel Bret répond à cette demande en présentant un panorama complet des techniques de synthèse d'image par ordinateur. Les différentes étapes de la création d'une image numérique sont expliquées en détail, accompagnées de l'exposé des méthodes les plus modernes. Ainsi, les modèles géométriques décrits vont des facettes polygonales planes à la modélisation de particules, en passant par les surfaces de tout type. La visualisation fait l'objet d'un exposé complet, mettant en valeur les différents chemins conduisant à l'image réaliste : simples projections en vue d'une présentation de type fil-de-fer, élimination des parties cachées et enfin modélisation de la lumière et de ses effets.

La lecture de cet ouvrage permet à l'amateur d'être rapidement au fait de l'état de l'art dans ce domaine fascinant. Le spécialiste pourra prolonger cette entrée en matière grâce à l'imposante bibliographie qui couronne l'ensemble. Ainsi, le livre de Michel Bret va contribuer à la diffusion rapide de connaissances de pointe. Il faut remercier l'auteur d'avoir pris le temps de l'écrire.

Michel Lucas

BIBLIOTHEQUE DU CERIST

Table des matières

1. L'IMAGE	1
1.1. IMAGE ET COMMUNICATION	1
1.1.1. La parole	1
1.1.2. L'écrit	1
1.1.3. L'image	2
1.1.4. Discours, image et ordinateur	2
1.2. LA PERCEPTION VISUELLE	4
1.2.1. Pensée et vision	4
1.2.2. Les mécanismes de la photoréception	4
1.2.3. Les voies optiques	5
1.2.4. Le traitement de l'information visuelle	5
1.2.5. Multiplexage des messages sensoriels	6
1.3. DIFFÉRENTS ASPECTS DE L'IMAGE	8
1.3.1. Essai de définition du concept d'image	8
1.3.2. L'image physique	9
1.3.3. L'image psychique	9
1.3.4. Le statut particulier de l'image numérique	10
2. L'IMAGE NUMÉRIQUE	11
2.1. IMAGE ET ORDINATEUR	11
2.1.1. L'image comme mémoire	11
2.1.1.1. Image psychique et mémoire	11
2.1.1.2. Codage/décodage de l'image	12

Images de synthèse

2.1.2. Représentations	12
2.1.2.1. Représentation analogique	12
2.1.2.2. Représentation numérique	13
2.1.3. L'image numérique	14
2.1.3.1. Mémoire d'écran	14
2.1.3.2. Mémoire de vecteurs	14
2.2. LES PÉRIPHÉRIQUES GRAPHIQUES	15
2.2.1. Unité centrale et périphériques	15
2.2.2. Périphériques de sortie graphique	16
2.2.2.1. Historique	16
2.2.2.2. Imprimantes, perforateurs de rubans et de cartes	16
2.2.2.3. Les tables traçantes	17
2.2.2.4. Les tubes à rayons cathodiques	19
2.2.2.5. Les COM	20
2.2.2.6. Les écrans plats	20
2.2.2.7. Les techniques laser	20
2.2.3. Périphériques de saisie graphique	21
2.2.3.1. Le crayon optique	21
2.2.3.2. La tablette de saisie graphique	23
2.2.3.3. La souris	25
2.2.3.4. Digitaliseurs d'images	26
2.2.3.5. Autres	26
2.2.4. L'interaction	28
2.3. LES TUBES À RAYONS CATHODIQUES	28
2.3.1. Historique	28
2.3.2. Principe de fonctionnement	29
2.3.3. Modes de balayages	30
2.3.4. Processeur graphique	31
2.3.5. Tubes à balayage cavalier	32
2.3.6. Tubes à mémoire (ou à entretien d'image)	34
2.3.7. Tubes à balayage récurrent	35
2.3.8. Les écrans couleurs	36
2.3.9. Linéarisation des niveaux d'intensité	37
2.3.10. Tables de transcodage	38
2.3.10.1. Principe	38
2.3.10.2. Applications	38
2.3.10.3. Digitaliseurs d'images	41
2.4. LES ÉCRANS PLATS	42
2.5. LA PROGRAMMATION DES PROCESSEURS GRAPHIQUES	44
 3. PROBLÈMES DE MODÉLISATION	 47
3.1. IMAGE ET FORMALISME	47
3.1.1. Image et modèle	47
3.1.2. L'ordinateur, outil de création	48
3.1.3. Les différents niveaux de description	48

Table des matières

3.2. LA MODÉLISATION DES IMAGES	50
3.2.1. Traitement de l'image numérique	50
3.2.2. La synthèse	51
3.2.3. L'image plane abstraite	52
3.2.4. L'image plane figurative	52
3.2.5. L'image tridimensionnelle	53
3.2.6. L'image réaliste	54
3.3. LA GÉOMÉTRIE CONSTRUCTIVE	57
3.3.1. Structures modulaires	57
3.3.2. Opérateurs d'Euler	58
3.3.3. Applications	59
3.4. MODÈLE POLYÉDRIQUE	60
3.4.1. Approximation polyédrique d'une surface courbe	60
3.4.1.1. Modélisation par facettes	60
3.4.1.2. Méthodes de triangulation	61
3.4.2. Structures de données associées à une description polyédrique	63
3.4.3. Domaines d'applications	63
3.5. COURBES ET SURFACES	64
3.5.1. Primitives graphiques	64
3.5.2. La génération de courbes planes	65
3.5.2.1. Approximation polygonale	65
3.5.2.2. Réduction des courbes planes numérisées	66
3.5.3. Courbes et surfaces paramétriques	70
3.5.3.1. Les cubiques	70
3.5.3.2. Les surfaces de Coons	75
3.5.3.3. Courbes et surfaces de Bézier	76
3.5.3.4. Courbes et surfaces B-Splines	80
3.5.3.5. Les Bêta-Splines	82
3.5.4. Visualisation des courbes et surfaces	84
3.6. LES OBJETS FRACTALS	85
3.6.1. Les objets fractals selon Benoît Mandelbrot	85
3.6.1.1. Continuité et réalité	85
3.6.1.2. La notion de dimension	86
3.6.1.3. Mesure	87
3.6.1.4. La notion d'homothétie interne	88
3.6.1.5. Dimension d'homothétie	89
3.6.1.6. Modèles stochastiques	90
3.6.1.7. Modèles de terrains	91
3.6.2. Algorithmes de génération d'objets fractals tridimensionnels	93
3.6.2.1. Image numérique et dimension fractale	93
3.6.2.2. Itération de fonctions	94
3.6.2.3. Modèles stochastiques	96
3.6.2.4. Primitives stochastiques	98
3.6.2.5. Mouvements stochastiques	104
3.7. SYSTÈMES DE PARTICULES	105
3.7.1. Modélisation d'objets flous	105
3.7.2. Les systèmes de particules	106
3.7.3. Application à la modélisation de feux et d'explosions	107

Images de synthèse

3.8. LA MODÉLISATION DES VAGUES	108
3.8.1. Exposition du problème	108
3.8.2. Le modèle de Peachey	108
3.8.3. Le modèle de Fournier et Reeves	113
3.9. LA SYNTHÈSE DE TISSUS	116
3.9.1. Exposition du problème	116
3.9.2. Le modèle de Weil	117
3.9.2.1. Les conditions	117
3.9.2.2. Approximation de la surface	117
3.9.2.3. Approche itérative	118
3.10. MODÉLISATION DE COQUILLAGES ET DE PLANTES	119
3.10.1. Exposition du problème	119
3.10.2. Kawaguchi et la mer	120
3.10.3. Plantes et langages formels	122
3.10.4. Modèles arborescents de plantes	124
3.10.5. AMAP	125
 4. PROBLÈMES DE VISUALISATION	 127
4.1. VISUALISATION DE L'IMAGE NUMÉRIQUE	127
4.1.1. L'image numérique	127
4.1.2. Codage de l'image numérique	128
4.1.2.1. Codage run-length	128
4.1.2.2. Codage de Freeman	129
4.1.2.3. Codage par des arbres quaternaires	129
4.2. L'IMAGE 2D	130
4.2.1. Primitives graphiques	130
4.2.1.1. Le point	130
4.2.1.2. Le segment	131
4.2.1.3. Figures simples	137
4.2.2. Coupage 2D	138
4.2.2.1. Exposition du problème	138
4.2.2.2. Coupage d'un segment par une fenêtre rectangulaire droite	139
4.2.2.3. Coupage par une fenêtre quelconque	141
4.2.2.4. Le coupage de polygones	144
4.2.2.5. Fenêtre concave	148
4.2.3. Coloriage de surfaces	149
4.2.3.1. Exposition du problème	149
4.2.3.2. Algorithmes travaillant dans la mémoire d'image	150
4.2.3.3. Algorithmes utilisant une structure de données associées	159
4.2.4. Utilisation des dégradés	163
4.2.4.1. Principe	163
4.2.4.2. Dégradés définis à partir de pôles	165
4.2.4.3. Méthode des points de couleur	167

Table des matières

4.3. PROJECTION PERSPECTIVE	167
4.3.1. L'image 3D	167
4.3.1.1. Espace objet et espace image	167
4.3.1.2. La perception de l'espace	169
4.3.1.3. Projection perspective	169
4.3.1.4. Le problème de la rentrée des données	172
4.3.2. Coordonnées homogènes	173
4.3.3. Matrice associée à une transformation linéaire	176
4.3.3.1. Matrice d'une transformation linéaire	176
4.3.3.2. Produit de transformations linéaires	177
4.3.3.3. Exemples	178
4.3.4. Transformation perspective	179
4.3.5. Coupage	182
4.3.6. Repère de l'écran et matrice de projection perspective	184
4.4. ALIASAGE	186
4.4.1. Exposition du problème	186
4.4.2. Le filtrage de l'image numérique	188
4.4.3. Augmentation de la résolution	189
4.4.4. Échantillonnage aléatoire	190
4.4.5. La méthode de partage du pixel	191
4.5. MOTIFS, mappages	192
4.5.1. Exposition du problème	192
4.5.2. Les motifs	193
4.5.3. Les mappages	194
4.6. TEXTURES	197
4.6.1. Définition de la notion de texture	197
4.6.2. Analyse et synthèse de textures	198
4.6.3. La méthode de Blinn	199
4.6.4. Texture 3D	200
5. ÉLIMINATION DES PARTIES CACHÉES	203
5.1. LE PROBLÈME DES PARTIES CACHÉES	203
5.1.1. Exposition du problème	203
5.1.2. Principe	204
5.2. ÉLÉMENTS DE GÉOMÉTRIE	204
5.2.1. Tests de boîte	204
5.2.2. Appartenance à l'intérieur d'un polygone	206
5.2.3. Équations de plans	207
5.2.4. Problèmes de tris	208
5.2.5. Cohérence	209
5.3. CLASSIFICATION DES ALGORITHMES	209
5.4. ALGORITHME DE L'HORIZON MOBILE	210
5.4.1. Principe	211
5.4.2. Algorithme	211
5.4.3. Implémentation	211

Images de synthèse

5.5. L'ALGORITHME DE Roberts	214
5.5.1. Principe	214
5.5.2. Élimination des facettes arrières	215
5.5.3. Élimination des arêtes restantes	215
5.6. L'ALGORITHME DE Schumacker	217
5.7. L'ALGORITHME DE Newell-Newell-Sancha	218
5.7.1. Principe	218
5.7.2. L'algorithme de Newell	220
5.8. L'ALGORITHME DE Warnock	221
5.8.1. Principe	221
5.8.2. Optimisation	223
5.9. ALGORITHMES scan-line	223
5.10. APPLICATION DE LA PROGRAMMATION AUTOMATIQUE : L'ALGORITHME DE Goad	224
5.11. UTILISATION DE LA COHÉRENCE	224
5.12. L'ALGORITHME DU z-buffer	226
5.12.1. Principe	226
5.12.2. Implémentation	226
5.12.3. Limitations de la méthode	227
5.12.4. Scan-line et z-buffer	227
5.13. L'ALGORITHME DU LANCÉ DE RAYON	227
5.13.1. Principe	227
5.13.2. Implémentation	228
5.13.3. Calculs d'intersections	228
5.13.4. Hiérarchisation des objets	230
6. MODÈLES D'ÉCLAIREMENTS	231
6.1. ÉCLAIREMENT D'UNE SCÈNE	231
6.2. LES MODÈLES DE Phong ET DE Blinn	232
6.2.1. Illumination diffuse (ou éclairage ambiant)	232
6.2.2. La loi de Lambert	233
6.2.3. Réflexion spéculaire	234
6.2.4. Sources multiples	235
6.3. LE MODÈLE DE Cook	236
6.3.1. Le modèle	236
6.3.2. Distribution bidirectionnelle de la lumière réfléchie	238
6.3.3. Composition spectrale de la lumière réfléchie	239
6.4. TRANSPARENCE	240
6.5. MÉTHODES DE LISSAGE	241
6.5.1. Le problème du lissage	241
6.5.2. Le lissage de Gouraud	243
6.5.3. Le lissage de Phong	245
6.5.4. Comparaison des deux méthodes	246

Table des matières

6.6. LES OMBRES PORTÉES	247
6.6.1. Exposition du problème	247
6.6.2. Méthode par projection	248
6.6.3. Méthode du z-buffer	249
6.6.4. Méthode du lancé de rayon	249
6.7. RADIOSITÉ	252
6.7.1. Le problème de l'éclairement	252
6.7.2. Le principe de la radiosité	253
6.7.3. Calcul des coefficients de forme	254
6.7.4. Le demi-cube de Cohen	256
6.8. LE LANCÉ DE RAYON	258
6.8.1. Principe	258
6.8.2. Le modèle de Whitted	258
6.8.3. Calculs des rayons lancés secondaires	260
6.8.4. Antialiasage	262
6.8.5. Optimisation	264
6.8.5.1. Tests de boîtes	264
6.8.5.2. Optimisation selon le test des primitives	266
6.8.6. Lancé de faisceau	274
6.8.6.1. Rayon et faisceau	274
6.8.6.2. Représentation d'un rayon dans un faisceau	275
6.8.6.3. Matrices associées à des systèmes optiques	276
6.8.6.4. Évaluation de l'écart	277
6.9. SIMULATION DE NUAGES ET DE SURFACES FLOCON- NEUSES	279
6.9.1. Modèle de dispersion dans un nuage	280
6.9.2. Fonctions de phase	285
6.10. SIMULATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE	287
6.10.1. Exposition du problème	287
6.10.2. Le modèle de Nishita	287
Bibliographie	293
Glossaire	303
Index des termes	309
Index des noms cités	313