

# Table des matières

---

À propos de l'auteur .....	xiv
<b>Avant-propos .....</b>	<b>1</b>
1. Pourquoi ce livre ? .....	1
2. Remerciements .....	2
3. Codes sources des exemples .....	2
<b>Bases d'OpenGL .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Présentation et histoire .....</b>	<b>4</b>
1.1. La synthèse d'images et OpenGL .....	4
1.2. Brève histoire d'OpenGL .....	7
1.3. Versions d'OpenGL .....	10
Versions .....	10
Variantes .....	10
<b>2. Principes généraux .....</b>	<b>13</b>
2.1. Définition des objets à dessiner .....	13
Formes et matériaux .....	13
Algorithmes de synthèse d'images .....	15
2.2. Pipeline OpenGL .....	16
Pipeline et parallélisme dans le GPU .....	17
Images matricielles et vectorielles .....	19
Étapes du calcul .....	20
2.3. Modèle de programmation .....	23
Structure de classes .....	23
Schéma de programmation .....	25
Implémentation .....	27
<b>3. Développer pour différentes plates-formes.....</b>	<b>28</b>
3.1. Comparaison de C++, Java et JavaScript .....	28
Appel à une fonction OpenGL .....	30
Types des variables .....	31
Définition d'un tableau de données .....	32
Modifications de la norme OpenGL .....	33
Bibliothèques de fonctions supplémentaires .....	34
3.2. Programmation OpenGL avec C++ .....	35
3.3. OpenGL ES sur Android .....	39

Classes pour créer une activité OpenGL .....	40
Classes de dessin OpenGL .....	43
3.4. WebGL2 dans HTML5 .....	46
Programme HTML5 .....	46
<b>4. Premiers programmes OpenGL .....</b>	<b>51</b>
4.1. Dessin en 2D .....	51
Dessiner un simple triangle .....	51
Triangle avec un dégradé de couleurs .....	71
Triangle déformé et recoloré .....	76
4.2. Dessin en 3D .....	80
Superposition dans l'ordre du dessin .....	80
Superposition indépendante de l'ordre de dessin .....	81
4.3. Transformations géométriques .....	92
Rotation dans l'espace .....	92
Animation .....	96
Conflit en Z .....	98
4.4. Assemblages de triangles .....	99
Structure du tétraèdre .....	100
Méthode 1 : Triangles indépendants .....	101
Méthode 2 : Sommets indexés .....	103
Dessiner les arêtes du tétraèdre .....	106
Superposer deux tracés .....	108
<b>Forme des objets .....</b>	<b>114</b>
<b>Ce qui définit la forme .....</b>	<b>115</b>
<b>5. Maillages .....</b>	<b>116</b>
5.1. Définitions et concepts généraux .....	116
Aspects géométriques .....	118
Aspects topologiques .....	120
5.2. Modélisation informatique .....	127
Représentation par triangles-sommets .....	127
Représentation par demi-arêtes .....	130
5.3. Exemple .....	139
5.4. Mise en œuvre .....	141
Classe MeshVertex .....	142
Classe MeshTriangle .....	146
Classe MeshHalfEdge .....	148

Classe MeshEdge .....	152
Classe Mesh .....	152
5.5. Affichage par OpenGL .....	155
Dessin de triangles .....	155
Gestion des associations entre VBO et variables attributs .....	158
Stockage des attributs de vertex .....	162
Vertex Array Objects .....	171
<b>6. Optimisation du dessin .....</b>	<b>174</b>
6.1. Primitives de dessin .....	174
Points isolés .....	175
Lignes indépendantes .....	176
Ligne brisée .....	177
Ligne fermée .....	177
Triangles indépendants .....	178
Éventail de triangles .....	179
Ruban de triangles .....	180
Quadrilatères .....	180
Ruban de quadrilatères .....	181
6.2. Dessin optimisé d'un maillage .....	182
Groupement de primitives .....	183
Redémarrage de primitives .....	184
Construction de rubans .....	187
6.3. Caractéristiques du dessin .....	192
Largeur des tracés .....	192
Pointillés et hachures .....	194
Triangles de face, triangles de dos .....	199
Remplissage ou non des triangles .....	200
6.4. Dessin des arêtes et sommets .....	201
<b>7. Utiliser un maillage externe .....</b>	<b>207</b>
7.1. Principe général .....	207
7.2. Contenu d'un fichier OBJ .....	209
Structure de base d'un fichier OBJ .....	210
Subtilités .....	211
7.3. Chargeur minimal .....	213
Mise en œuvre en C++ .....	216
Mise en œuvre sous Android .....	219
Mise en œuvre en WebGL .....	220
<b>8. Transformations géométriques .....</b>	<b>227</b>

8.1. Matrices, points et vecteurs .....	229
Changement de repère .....	231
Coordonnées homogènes .....	235
Inversion d'une matrice .....	237
Produit de matrices .....	238
Transposition .....	241
Produit scalaire .....	242
Produit vectoriel .....	244
8.2. Matrices et OpenGL .....	246
Vecteurs et matrices dans le programme principal .....	246
Vecteurs et matrices en GLSL .....	252
Envoi de vecteurs et matrices à un shader .....	253
Exemple complet .....	257
Application d'une matrice à un maillage .....	262
8.3. Transformations usuelles .....	263
Changement de position .....	263
Changement de taille .....	266
Matrice de rotation .....	270
Projection caméra .....	278
Projection sur un plan .....	284
Symétries .....	287
Cisaillement .....	289
<b>9. Construction d'une scène complexe .....</b>	<b>290</b>
9.1. Utilisation des matrices .....	290
9.2. Positionnement des éléments d'une scène .....	296
Définition de la taille de l'objet .....	296
Orientation de l'objet .....	297
Calculs complets .....	300
9.3. Définition d'une caméra .....	302
Scène type plateau tournant .....	304
Caméra en vue subjective .....	307
Scène type <i>trackball</i> .....	310
Construction directe d'une caméra .....	314
9.4. Hiérarchie d'éléments pour représenter une scène .....	316
Création des éléments de la scène .....	317
Positionnement des éléments .....	320
Dessin de la hiérarchie .....	321

<b>Matériaux .....</b>	<b>323</b>
<b>Ce qui donne l'apparence .....</b>	<b>324</b>
<b>10. Mise en œuvre des matériaux .....</b>	<b>325</b>
10.1. Relations entre maillages et matériaux .....	325
Maillages et matériaux .....	325
Plusieurs matériaux pour un objet .....	329
Matériaux d'un fichier OBJ .....	332
10.2. Définition d'un matériau .....	334
Constructeur et propriétés de base .....	334
Compilation du shader du matériau .....	335
Création du VBOset .....	337
Activation et désactivation du matériau .....	338
Autres méthodes .....	340
10.3. Conclusion .....	340
<b>11. Textures .....</b>	<b>342</b>
11.1. Définition d'une texture .....	344
11.2. Exemple introductif .....	345
Maillage .....	345
Matériau .....	348
Dessin .....	350
11.3. Textures basées sur une image .....	351
Textures et unités de texture .....	351
Création de la texture .....	352
Répétition de la texture .....	356
Mise à l'échelle de la texture .....	359
Accès à la texture par un shader .....	366
Classe Texture2D .....	368
11.4. Textures procédurales .....	368
Distances .....	371
Fonctions affines .....	373
Fonctions d'interpolation .....	374
Fonctions trigonométriques .....	375
Fonction puissance .....	377
Autres fonctions .....	379
Textures aléatoires .....	380
11.5. Textures dessinées .....	386

11.6. Textures Cube .....	391
<b>12. Géométrie de surface .....</b>	<b>395</b>
12.1. Repère de Frenet .....	395
12.2. Normales dans un maillage .....	397
Normales de facettes et normales de sommets .....	397
Calcul des normales des facettes .....	398
Calcul des normales des sommets .....	401
Processus complet .....	403
Transformation des normales .....	404
Interpolation des normales .....	408
12.3. Calcul des coordonnées de texture .....	409
Principe général .....	409
Un exemple .....	410
Placage par un cylindre .....	412
Placage par une sphère .....	416
Transformation des coordonnées .....	418
12.4. Construction du repère de Frenet .....	420
<b>13. Calculs d'éclairément .....</b>	<b>424</b>
13.1. Éclairéments réalistes .....	428
Éclairément diffus .....	431
Reflét spéculaire .....	437
13.2. Éclairéments non réalistes .....	446
Matériau des surfaces .....	447
Contours .....	448
13.3. Interpolation des éclairéments .....	449
Interpolation de Phong .....	451
Interpolation de Gouraud .....	453
Aucune interpolation .....	455
13.4. Sources de lumière .....	456
Lampe directionnelle ou positionnelle .....	456
Lampe spot .....	458
Transformation des lampes .....	459
<b>14. Calcul différé des éclairéments .....</b>	<b>464</b>
14.1. Premier passage sur la scène .....	466
Contenu du g-buffer .....	466
Remplissage du g-buffer .....	468
14.2. Ajout des éclairéments .....	470
14.3. Mise en œuvre des calculs différés .....	478

Exemple de traitement d'image .....	479
Application au calcul des éclairagements .....	482
Classe SceneBase .....	487
<b>Techniques avancées .....</b>	<b>491</b>
<b>15. Calculs sur les maillages .....</b>	<b>492</b>
15.1. Vérification d'un maillage .....	492
15.2. Mesures sur un maillage .....	494
Volumes englobants .....	494
Volume et masse .....	497
15.3. Opérations sur les maillages .....	497
Mettre un sommet en premier .....	497
Demi-arêtes le long d'un contour .....	499
Triangles délimités par une liste de points .....	500
Clonage d'un sommet .....	502
Remplacement d'un sommet par un autre .....	503
Interpolation .....	504
15.4. Modifications géométriques .....	508
Extrusion .....	508
Subdivision .....	514
Simplification .....	525
Opérations ensemblistes .....	528
<b>16. Objets paramétriques .....</b>	<b>530</b>
16.1. Principes de construction .....	530
Nappes rectangulaires .....	532
Nappes hexagonales .....	534
Nappes circulaires .....	537
16.2. Objets standards .....	538
Disque .....	539
Cône .....	542
Cylindre .....	546
Sphères .....	553
Tores .....	561
16.3. Génération par balayage .....	566
Rotation d'un contour .....	567
Contour défini par une équation .....	569
Parcours d'un contour .....	571

<b>17. Animation d'un maillage .....</b>	<b>576</b>
17.1. Interpolation de formes clés .....	576
17.2. Déformation d'un objet par une image .....	581
17.3. Animation par squelette .....	584
Enchaînement de rotations .....	586
Mélange de positions .....	589
Détermination des poids .....	594
Utilisation du squelette .....	596
<b>18. Matériaux réalistes .....</b>	<b>597</b>
18.1. Relief par une texture de normales .....	597
18.2. Calcul de relief .....	602
<b>19. Ombres portées .....</b>	<b>613</b>
19.1. Volumes d'ombres .....	613
19.2. Cartes d'ombre .....	615
Visibilité d'un fragment de la lampe .....	617
Mise en œuvre .....	620
19.3. Ombres douces .....	631
Échantillonnage autour du fragment .....	631
Rayon d'exploration .....	635
19.4. Occlusion ambiante .....	639
<b>20. Effets de transparence .....</b>	<b>643</b>
20.1. Mélange de couleurs .....	643
Un exemple .....	645
Opérateur et facteurs de mélange .....	646
20.2. Transparence en avant .....	650
Dessin de panneaux .....	652
Dessin d'un panneau animé .....	658
Dessin d'une multitude de panneaux .....	660
Transparence prémultipliée .....	665
20.3. Transparence en arrière .....	666
Principe .....	666
Transparence indépendante de l'ordre de dessin .....	670
<b>21. Reflets .....</b>	<b>677</b>
21.1. Reflets plans .....	677
Calculs géométriques .....	679
Stencil .....	681
Plan de coupe .....	688



21.2. Lampes, ombres et reflets .....	691
21.3. Reflets d'eau .....	693
Terrain et fond .....	694
Réflexion et réfraction .....	694
Déroulement des calculs .....	697
Matériau pour l'eau .....	698
Brume de distance .....	703
21.4. Reflets à l'aide d'une texture cube .....	704
<b>22. Post-traitement des images .....</b>	<b>710</b>
22.1. Mise en œuvre des traitements .....	710
22.2. Traitements simples .....	718
Altération des couleurs .....	718
Seuillages et tramages .....	720
Altération des coordonnées de texture .....	724
Altération des coordonnées par une texture .....	726
22.3. Filtrage par produit de convolution .....	728
Flou gaussien .....	731
Séparation d'une convolution .....	732
Flou par échantillonnage .....	734
Flou de profondeur de champ .....	734
Effet d'éblouissement .....	737
Flou de mouvement .....	738
22.4. Qualité du dessin .....	739
Anticrénelage spatial .....	739
Couleurs étendues .....	747
<b>Annexes .....</b>	<b>753</b>
<b>Installer les outils sur différentes plates-formes .....</b>	<b>754</b>
1. OpenGL 3 et 4 sur PC .....	754
Outils de développement .....	754
Bibliothèques de fonctions nécessaires .....	759
2. OpenGL ES sur Android .....	761
3. WebGL .....	762
<b>Mise au point d'un logiciel OpenGL .....</b>	<b>764</b>
1. Vérifier les algorithmes .....	764
2. Vérifier les fonctions OpenGL .....	766
3. Vérifier l'affichage .....	768

4. Dépanner un shader .....	771
Vecteurs .....	771
Réels .....	775
5. Mise au point avec WebGL .....	776
<b>Différences entre les versions d'OpenGL .....</b>	<b>778</b>
1. Entrées et sorties des shaders .....	778
2. Emplacement des variables .....	779
3. Accès aux textures .....	780
<b>Glossaire .....</b>	<b>782</b>
Liste des illustrations .....	789
Liste des tableaux .....	799
Liste des exemples .....	800
Index .....	809