

# Table des matières

---

<b>Avant-propos .....</b>	<b>1</b>
1. Pourquoi ce livre ? .....	1
2. Remerciements .....	2
3. Codes sources des exemples .....	2
4. Galerie d'images en ligne et QRcode .....	2
<b>Bases d'OpenGL .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Présentation et histoire .....</b>	<b>5</b>
1.1. La synthèse d'images et OpenGL .....	5
1.2. Brève histoire d'OpenGL .....	8
1.3. Versions d'OpenGL .....	11
Versions .....	11
Variantes .....	11
<b>2. Principes généraux .....</b>	<b>15</b>
2.1. Définition des objets à dessiner .....	15
Formes et matériaux .....	15
Algorithmes de synthèse d'images .....	17
2.2. Pipeline OpenGL .....	18
Pipeline et parallélisme dans le GPU .....	19
Images matricielles et vectorielles .....	21
Étapes du calcul .....	22
2.3. Modèle de programmation .....	25
Structure de classes .....	25
Schéma de programmation .....	27
Implémentation .....	29
<b>3. Développer pour différentes plates-formes.....</b>	<b>31</b>
3.1. Comparaison de C++, Java et JavaScript .....	31
Appel à une fonction OpenGL .....	33
Types des variables .....	34
Définition d'un tableau de données .....	35
Modifications de la norme OpenGL .....	36
Bibliothèques de fonctions supplémentaires .....	37
3.2. Programmation OpenGL avec C++ .....	38
3.3. OpenGL ES sur Android .....	42

Classes pour créer une activité OpenGL .....	43
Classes de dessin OpenGL .....	46
3.4. WebGL2 dans HTML5 .....	49
Programme HTML5 .....	49
<b>4. Premiers programmes OpenGL .....</b>	<b>55</b>
4.1. Dessin en 2D .....	55
Dessiner un simple triangle .....	55
Triangle avec un dégradé de couleurs .....	75
Triangle déformé et recoloré .....	80
4.2. Dessin en 3D .....	84
Superposition dans l'ordre du dessin .....	84
Superposition indépendante de l'ordre de dessin .....	86
4.3. Transformations géométriques .....	97
Rotation dans l'espace .....	97
Animation .....	101
Conflit en Z .....	102
4.4. Assemblages de triangles .....	104
Structure du tétraèdre .....	104
Méthode 1 : Triangles indépendants .....	106
Méthode 2 : Sommets indexés .....	107
Dessiner les arêtes du tétraèdre .....	111
Superposer deux tracés .....	113
<b>Forme des objets .....</b>	<b>119</b>
<b>Ce qui définit la forme .....</b>	<b>121</b>
<b>5. Maillages .....</b>	<b>123</b>
5.1. Définitions et concepts généraux .....	123
Aspects géométriques .....	125
Aspects topologiques .....	127
5.2. Modélisation informatique .....	134
Représentation par triangles-sommets .....	134
Représentation par demi-arêtes .....	137
5.3. Exemple .....	146
5.4. Mise en œuvre .....	148
Classe MeshVertex .....	149
Classe MeshTriangle .....	153
Classe MeshHalfEdge .....	155

Classe MeshEdge .....	159
Classe Mesh .....	159
5.5. Affichage par OpenGL .....	162
Dessin de triangles .....	162
Gestion des associations entre VBO et variables attributs .....	165
Stockage des attributs de vertex .....	169
Vertex Array Objects .....	178
<b>6. Optimisation du dessin .....</b>	<b>181</b>
6.1. Primitives de dessin .....	181
Points isolés .....	182
Lignes indépendantes .....	183
Ligne brisée .....	184
Ligne fermée .....	184
Triangles indépendants .....	185
Éventail de triangles .....	186
Ruban de triangles .....	187
Quadrilatères .....	187
Ruban de quadrilatères .....	188
6.2. Dessin optimisé d'un maillage .....	189
Groupement de primitives .....	190
Redémarrage de primitives .....	191
Construction de rubans .....	194
6.3. Caractéristiques du dessin .....	199
Largeur des tracés .....	199
Pointillés et hachures .....	201
Triangles de face, triangles de dos .....	206
Remplissage ou non des triangles .....	207
6.4. Dessin des arêtes et sommets .....	208
<b>7. Utiliser un maillage externe .....</b>	<b>215</b>
7.1. Principe général .....	215
7.2. Contenu d'un fichier OBJ .....	217
Structure de base d'un fichier OBJ .....	218
Subtilités .....	219
7.3. Chargeur minimal .....	221
Mise en œuvre en C++ .....	224
Mise en œuvre sous Android .....	227
Mise en œuvre en WebGL .....	228
<b>8. Transformations géométriques .....</b>	<b>235</b>

8.1. Matrices, points et vecteurs .....	237
Changement de repère .....	239
Coordonnées homogènes .....	243
Inversion d'une matrice .....	245
Produit de matrices .....	246
Transposition .....	249
Produit scalaire .....	250
Produit vectoriel .....	252
8.2. Matrices et OpenGL .....	253
Vecteurs et matrices dans le programme principal .....	254
Vecteurs et matrices en GLSL .....	259
Envoi de vecteurs et matrices à un shader .....	261
Exemple complet .....	265
Application d'une matrice à un maillage .....	270
8.3. Transformations usuelles .....	271
Changement de position .....	271
Changement de taille .....	274
Matrice de rotation .....	278
Projection caméra .....	286
Projection sur un plan .....	291
Symétries .....	294
Cisaillement .....	296
<b>9. Construction d'une scène complexe .....</b>	<b>297</b>
9.1. Utilisation des matrices .....	297
9.2. Positionnement des éléments d'une scène .....	303
Définition de la taille de l'objet .....	303
Orientation de l'objet .....	304
Calculs complets .....	307
9.3. Définition d'une caméra .....	309
Scène type plateau tournant .....	311
Caméra en vue subjective .....	314
Scène type <i>trackball</i> .....	317
Construction directe d'une caméra .....	321
9.4. Hiérarchie d'éléments pour représenter une scène .....	323
Création des éléments de la scène .....	324
Positionnement des éléments .....	327
Dessin de la hiérarchie .....	328

<b>Matériaux .....</b>	<b>331</b>
<b>Ce qui donne l'apparence .....</b>	<b>333</b>
<b>10. Mise en œuvre des matériaux .....</b>	<b>335</b>
10.1. Relations entre maillages et matériaux .....	335
Maillages et matériaux .....	335
Plusieurs matériaux pour un objet .....	339
Matériaux d'un fichier OBJ .....	342
10.2. Définition d'un matériau .....	344
Constructeur et propriétés de base .....	344
Compilation du shader du matériau .....	345
Création du VBOset .....	347
Activation et désactivation du matériau .....	348
Autres méthodes .....	350
10.3. Conclusion .....	350
<b>11. Textures .....</b>	<b>353</b>
11.1. Définition d'une texture .....	355
11.2. Exemple introductif .....	356
Maillage .....	356
Matériau .....	359
Dessin .....	361
11.3. Textures basées sur une image .....	362
Textures et unités de texture .....	362
Création de la texture .....	363
Répétition de la texture .....	367
Mise à l'échelle de la texture .....	370
Accès à la texture par un shader .....	377
Classe Texture2D .....	379
11.4. Textures procédurales .....	379
Distances .....	382
Fonctions affines .....	384
Fonctions d'interpolation .....	385
Fonctions trigonométriques .....	387
Fonction puissance .....	389
Autres fonctions .....	390
Textures aléatoires .....	391
11.5. Textures dessinées .....	397

11.6. Textures Cube .....	403
<b>12. Géométrie de surface .....</b>	<b>407</b>
12.1. Repère de Frenet .....	407
12.2. Normales dans un maillage .....	409
Normales de facettes et normales de sommets .....	409
Calcul des normales des facettes .....	410
Calcul des normales des sommets .....	413
Processus complet .....	415
Transformation des normales .....	416
Interpolation des normales .....	420
12.3. Calcul des coordonnées de texture .....	421
Principe général .....	422
Un exemple .....	422
Placage par un cylindre .....	424
Placage par une sphère .....	428
Transformation des coordonnées .....	430
12.4. Construction du repère de Frenet .....	432
<b>13. Calculs d'éclairément .....</b>	<b>437</b>
13.1. Éclairéments réalistes .....	441
Éclairément diffus .....	444
Reflet spéculaire .....	450
13.2. Éclairéments non réalistes .....	459
Matériau des surfaces .....	460
Contours .....	461
13.3. Interpolation des éclairéments .....	462
Interpolation de Phong .....	464
Interpolation de Gouraud .....	466
Aucune interpolation .....	468
13.4. Sources de lumière .....	469
Lampe directionnelle ou positionnelle .....	469
Lampe spot .....	471
Transformation des lampes .....	472
<b>14. Calcul différé des éclairéments .....</b>	<b>477</b>
14.1. Premier passage sur la scène .....	479
Contenu du g-buffer .....	479
Remplissage du g-buffer .....	481
14.2. Ajout des éclairéments .....	483
14.3. Mise en œuvre des calculs différés .....	491

Exemple de traitement d'image .....	492
Application au calcul des éclaircissements .....	495
Classe SceneBase .....	500
<b>Techniques avancées .....</b>	<b>505</b>
<b>15. Calculs sur les maillages .....</b>	<b>507</b>
15.1. Vérification d'un maillage .....	507
15.2. Mesures sur un maillage .....	509
Volumes englobants .....	509
Volume et masse .....	512
15.3. Opérations sur les maillages .....	512
Mettre un sommet en premier .....	512
Demi-arêtes le long d'un contour .....	514
Triangles délimités par une liste de points .....	515
Clonage d'un sommet .....	517
Remplacement d'un sommet par un autre .....	518
Interpolation .....	519
15.4. Modifications géométriques .....	523
Extrusion .....	523
Subdivision .....	529
Simplification .....	540
Opérations ensemblistes .....	543
<b>16. Objets paramétriques .....</b>	<b>545</b>
16.1. Principes de construction .....	545
Nappes rectangulaires .....	547
Nappes hexagonales .....	549
Nappes circulaires .....	552
16.2. Objets standards .....	553
Disque .....	554
Cône .....	557
Cylindre .....	561
Sphères .....	568
Tores .....	576
16.3. Génération par balayage .....	581
Rotation d'un contour .....	582
Contour défini par une équation .....	584
Parcours d'un contour .....	586

<b>17. Animation d'un maillage .....</b>	<b>591</b>
17.1. Interpolation de formes clés .....	591
17.2. Déformation d'un objet par une image .....	596
17.3. Animation par squelette .....	599
Enchaînement de rotations .....	601
Mélange de positions .....	604
Détermination des poids .....	609
Utilisation du squelette .....	611
<b>18. Matériaux réalistes .....</b>	<b>613</b>
18.1. Relief par une texture de normales .....	613
18.2. Calcul de relief .....	618
<b>19. Ombres portées .....</b>	<b>629</b>
19.1. Volumes d'ombres .....	629
19.2. Cartes d'ombre .....	631
Visibilité d'un fragment de la lampe .....	633
Mise en œuvre .....	636
19.3. Ombres douces .....	647
Échantillonnage autour du fragment .....	647
Rayon d'exploration .....	651
19.4. Occlusion ambiante .....	655
<b>20. Effets de transparence .....</b>	<b>659</b>
20.1. Mélange de couleurs .....	659
Un exemple .....	661
Opérateur et facteurs de mélange .....	662
20.2. Transparence en avant .....	666
Dessin de panneaux .....	668
Dessin d'un panneau animé .....	674
Dessin d'une multitude de panneaux .....	676
Transparence prémultipliée .....	681
20.3. Transparence en arrière .....	682
Principe .....	682
Transparence indépendante de l'ordre de dessin .....	686
<b>21. Reflets .....</b>	<b>693</b>
21.1. Reflets plans .....	693
Calculs géométriques .....	695
Stencil .....	697
Plan de coupe .....	704



21.2. Lampes, ombres et reflets .....	707
21.3. Reflets d'eau .....	709
Terrain et fond .....	709
Réflexion et réfraction .....	710
Déroulement des calculs .....	713
Matériau pour l'eau .....	714
Brume de distance .....	719
21.4. Reflets à l'aide d'une texture cube .....	720
<b>22. Post-traitement des images .....</b>	<b>727</b>
22.1. Mise en œuvre des traitements .....	727
22.2. Traitements simples .....	735
Altération des couleurs .....	735
Seuillages et tramage .....	737
Altération des coordonnées de texture .....	741
Altération des coordonnées par une texture .....	743
22.3. Filtrage par produit de convolution .....	745
Flou gaussien .....	748
Séparation d'une convolution .....	749
Flou par échantillonnage .....	750
Flou de profondeur de champ .....	751
Effet d'éblouissement .....	754
Flou de mouvement .....	755
22.4. Qualité du dessin .....	755
Anticrénelage spatial .....	756
Couleurs étendues .....	764
<b>Annexes .....</b>	<b>771</b>
<b>Installer les outils sur différentes plates-formes .....</b>	<b>773</b>
1. OpenGL 3 et 4 sur PC .....	773
Outils de développement .....	773
Bibliothèques de fonctions nécessaires .....	778
2. OpenGL ES sur Android .....	780
3. WebGL .....	781
<b>Mise au point d'un logiciel OpenGL .....</b>	<b>783</b>
1. Vérifier les algorithmes .....	783
2. Vérifier les fonctions OpenGL .....	785
3. Vérifier l'affichage .....	787

4. Dépanner un shader .....	790
Vecteurs .....	790
Réels .....	794
5. Mise au point avec WebGL .....	795
<b>Différences entre les versions d'OpenGL .....</b>	<b>797</b>
1. Entrées et sorties des shaders .....	797
2. Emplacement des variables .....	798
3. Accès aux textures .....	799
<b>Glossaire .....</b>	<b>801</b>
Index .....	809
À propos de l'auteur .....	821