Gestion dynamique de la lumière avec OpenGL - Partie 6 : éclairage complexe à base de shaders

par Michel de VERDELHAN

Date de publication : 06/09/2006

Dernière mise à jour :

Ce tutoriel représente le dernier de cette série de tutoriaux sur la gestion de l'éclairage dynamique en temps réel avec OpenGL. Dans ce tutoriel, je présente un système d'éclairage complexe à base de shaders. Nous y verrons notamment comment gérer la composante spéculaire de la lumière, mais aussi une méthode permettant une meilleure impression de relief sur nos textures : le parallax mapping. Attention : ce tutoriel requiert d'avoir bien compris les tutoriaux précédents ou d'être familier avec les concepts de la lumière pour être bien compris. De même, des notions sur le fonctionnement des vertex/fragments programs sont utiles pour une bonne compréhension. Ce tutoriel n'a pas pour but d'expliquer le fonctionnement de ces extensions.

I - Les concepts lié à la lumière.
- I-1 - L'éclairage spéculaire.
- I-2 - Les materials.
- I-3 - Le parallax mapping.

II - Modifications apportée au programme.
- II-1 - Gestion des extensions.
- II-2 - Modification du rendu des modèles.
- II-3 - Les vertex et fragment programs.
- II-4 - Le rendu final.

III - Réflexions sur la gestion de la lumière.

IV - Conclusions.

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

I - Les concepts lié à la lumière.

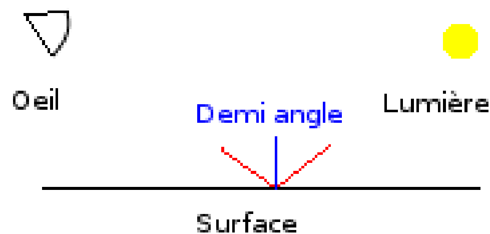
Dans cette partie, je vais (re)présenter les concepts fondamentaux du fonctionnement de la lumière, puis je parlerai d'une notion très liée à la lumière : la gestion des materials, et finalement, je parlerai du parallax mapping.

I-1 - L'éclairage spéculaire.

Nous avons déjà vu dans les tutoriaux précédents une grande partie du fonctionnement de la lumière. Nous savons donc comment calculer l'atténuation de la lumière via une texture 3D d'atténuation. Nous avons aussi vu comment prendre en compte l'orientation de la face par pixel grâce au calcul du produit scalaire via l'extension env_dot3. Il ne nous reste plus qu'à voir comment fonctionne la composante spéculaire de la lumière.

La composante spéculaire de la lumière est en fait la capacité qu'a une surface à refléter la lumière. On parle souvent de reflets spéculaires. Pour bien voir ce que représente cette composante spéculaire, il suffit d'imaginer la différence entre une surface chromée et un pneu. Les deux surfaces seront noires en l'absence de lumière, mais si il y a une lumière, la surface chromée sera plus brillante que le pneu. Ceci est dû au fait que la surface chromée renvoi plus de lumière que le pneu qui, au contraire, en absorbe la majeur partie.

Pour calculer la composante spéculaire, il suffit de calculer le produit scalaire entre la normal à la surface et le vecteur de demi angle... qu'est ce que c'est que le vecteur de demi angle ? C'est tout simplement le vecteur représentant la moitié de l'angle entre le vecteur vers la lumière et le vecteur vers la camera. Comme ce vecteur dépend de la position de la camera, nous avons donc bien un calcul qui va changer en fonction de la camera et donc donner l'impression de reflet.



Le vecteur de demi angle représente le vecteur median au vecteurs vers la lumière et vers oeil.

Pour calculer le vecteur de demi angle, rien de plus simple, il suffit d'additionner le vecteur vers la lumière et le vecteur vers la camera, et on obtient notre vecteur. Il ne nous reste plus qu'a le normaliser et voila, on peut calculer notre produit scalaire pour obtenir la composante spéculaire. Malheureusement, si on effectue simplement le calcul comme cela, on obtient une surface bien trop réfléchissante. Pour réduire cet effet de surbrillance, on utilise une fonction puissance qui va réduire la réflexivité des pixels peu éclairés tout en préservant la luminosité des pixels fortement éclairés.

Voici le résultat de la composante spéculaire seule sans utiliser de fonction puissance :

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

Composante spéculaire sans utiliser de fonction puissance (et sans atténuation)

Et le résultat avec fonction puissance :

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

Composante spéculaire avec fonction puissance.

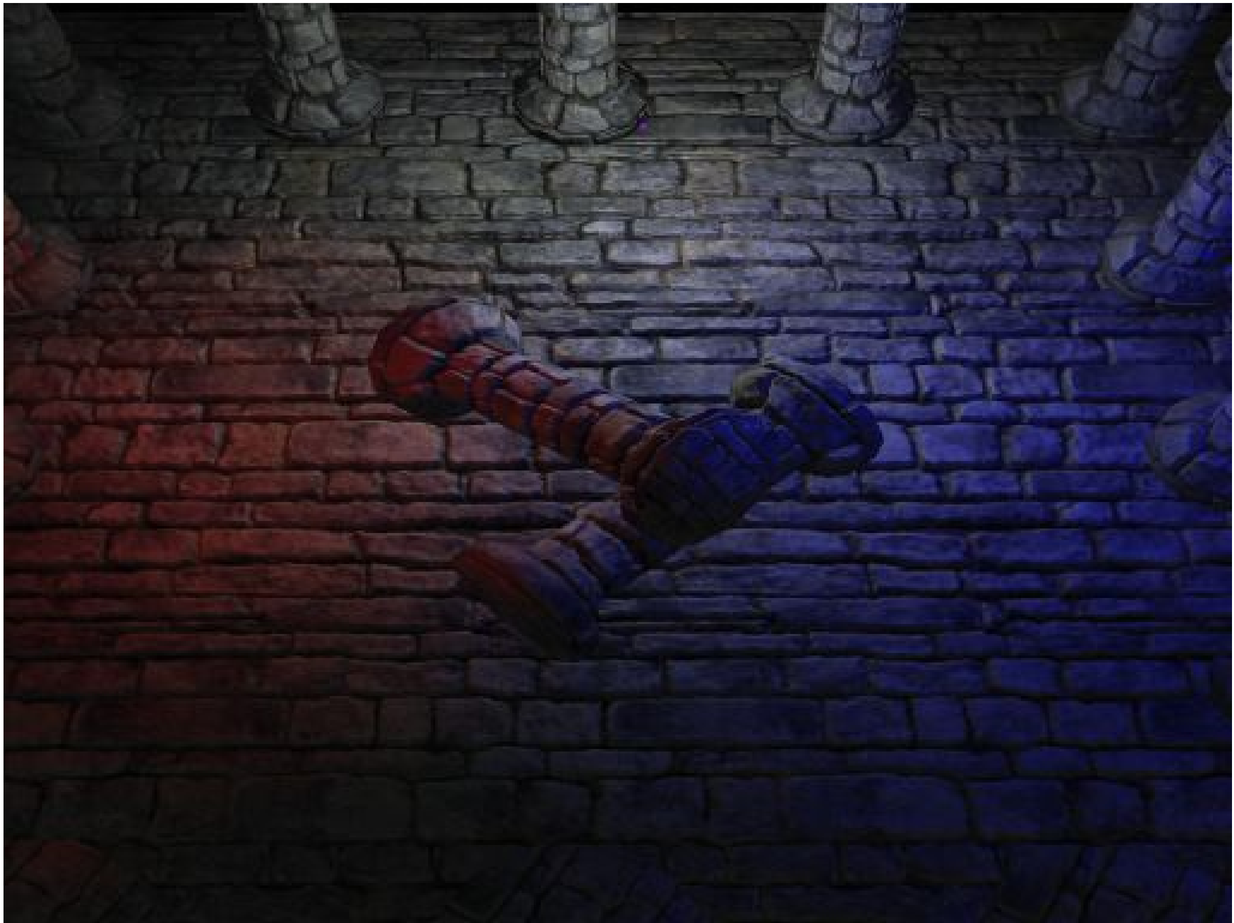
On perçoit nettement mieux l'impression que la lumière se reflète sur les surfaces avec une fonction puissance. Dans ce tutoriel, le reflet spéculaire est mis à la puissance 8.

Le but de la composante spéculaire étant de faire saturer la couleur des pixels aux endroits de forte réflexion, elle est donc additionnée aux autres composantes de la lumière. Le calcul de la luminosité finale devient donc :

*Luminosité = ambiante + ((diffuse + spéculaire) * atténuation)*

Le problème avec cette équation, c'est qu'elle impose d'avoir le même taux de reflets spéculaires sur toute la surface, or il est intéressant de pouvoir spécifier cela par pixel pour pouvoir, par exemple, simuler des surface brillantes par endroit et mat à d'autres endroits. Un bon exemple pour comprendre l'intérêt de pouvoir moduler la composante spéculaire est une plaque de métal rouillée. La ou le métal n'est pas rouillé, on a un reflet spéculaire maximum, mais la ou il est rouillé, il n'y a pas de reflets. Pour mieux illustrer l'intérêt de la composante spéculaire, voici deux images de notre scène finale : la première sans reflets spéculaires.

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.
http://mdeverdelhan.developpez.com/tutoriel/dynamiclight/tutoriel6/



Scène sans reflets spéculaires.

Et le deuxième avec des reflets spéculaires.

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

Scène avec reflets spéculaires.

Pour pouvoir effectuer cela, nous allons utiliser une gloss map, qui est une des composantes des materials que nous allons voir maintenant.

I-2 - Les materials.

Dans le model d'éclairage d'OpenGL, on peut spécifier à chaque vertex sa couleur ambiante, sa couleur diffuse, et sa couleur spéculaire, or maintenant, nous n'utilisons plus de l'éclairage par vertex mais par pixel. Il est dommage de devoir spécifier ces composantes par vertex alors que le reste des calculs d'éclairage va se faire par pixel. C'est pour cela que nous avons besoin de la même notion de materials qu'OpenGL, mais cette fois ci par pixel (pour pouvoir simuler l'effet de la plaque de métal rouillée vu plus haut par exemple.). Pour cela, nous allons utiliser plusieurs textures par materials.

Vous aurez peut être remarqué qu'il n'y a pas d'ambiante map... Cela est dû au fait que la lumière ambiante peut être obtenu à partir de la texture de diffuse.

I-3 - Le parallax mapping.

Bien qu'il ne soit pas directement lié à la gestion de la lumière, le parallax mapping n'est néanmoins utilisable qu'avec un système d'éclairage par pixel. En effet, le parallax mapping consiste à déformer les textures en fonction d'une height map pour obtenir un effet de volume plus prononcé qu'avec simplement du bump mapping. Il n'y a

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

donc aucun intérêt à utiliser du parallax mapping avec du simple light mapping par exemple.

Un gros avantage du parallax mapping est qu'il est très peu consommateur en ressources et qu'il est facile à mettre en oeuvre. En effet, il suffit d'avoir une height map (on peut la stocker dans la composante alpha de la normal map) et un vecteur du pixel vers la camera pour calculer les nouvelles coordonnées de textures déformées.

Le parallax mapping consiste simplement à calculer un décalage dans les coordonnées de textures en fonction de la direction du pixel par rapport à la camera et de la hauteur du pixel dans la height map. Ceci se résume à trois lignes supplémentaires dans le *fragment program*.Encore une fois, pour bien voir la différence, rien ne vaut des images comparatives avec/sans.

Scène sans parallax mapping.

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.
http://mdeverdelhan.developpez.com/tutoriel/dynamiclight/tutoriel6/

Scène avec parallax mapping.

On peut voir que les pierres on été déformées pour donner une meilleur impression de volume, mais surtout, cette déformation se fait par rapport à la position de la camera, donc si la camera bouge, la déformation va se modifier pour prendre en compte la nouvelle direction de la camera.

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

II - Modifications apportée au programme.

Dans cette partie, nous allons voir les modifications apportées au programme. Nous verrons d'abord la nouvelle gestion des extensions mise en place pour ce tutoriel, puis nous verrons les modifications apportées au rendu des modèles. Je détaillerais ensuite les *vertex* et *fragment program* utilisé dans le tutoriel, puis, finalement, nous verrons comment mettre en place le rendu final de nos lumières.

II-1 - Gestion des extensions.

Depuis le deuxième tutoriel, nous avons ajouté à chaque nouveau tutoriel de nouvelles extensions. Bien que nous n'ayons pas chargé toutes les fonctions liées à ces extensions, notre fonction de chargement des extensions devient de plus en plus grosse. Il nous faut aussi passer les fonctions aux classes qui vont les utiliser (la classe de modèles utilise les fonctions du multitextuing par exemple), ce qui implique l'utilisation de nombreuses variables externes. Pour faciliter la gestion des extensions, nous utiliserons désormais GLEW. GLEW est une bibliothèque qui permet de gérer facilement et de façon totalement transparente les extensions OpenGL. En utilisant GLEW, notre fonction de chargement des extensions devient simplement ça :

Fonction de chargement des extensions.

```
void initExtensions()
{
	GLenum err = glewInit();
	if (GLEW_OK != err)
	{
		// impossible d'initialiser glew
		fprintf(stderr, "Erreur a l'initialisation de GLEW : %s\n",
glewGetErrorString(err));
		exit(0);
	}
	if (!glewIsSupported("GL_ARB_multitexture"))
	{
		fprintf(stderr,"votre carte ne supporte pas l'extension GL_ARB_multitexture\n");
		exit(0);
	}
	if (!glewIsSupported("GL_EXT_texture3D"))
	{
		fprintf(stderr,"votre carte ne supporte pas l'extension GL_ARB_multitexture\n");
		exit(0);
	}
	if (!glewIsSupported("GL_ARB_texture_env_dot3"))
	{
		fprintf(stderr,"votre carte ne supporte pas l'extension GL_ARB_texture_env_dot3\n");
		exit(0);
	}
	if (!glewIsSupported("GL_ARB_texture_cube_map"))
	{
		fprintf(stderr,"votre carte ne supporte pas l'extension GL_ARB_texture_cube_map\n");
		exit(0);
	}
	if (!glewIsSupported("GL_ARB_vertex_program"))
	{
		fprintf(stderr,"votre carte ne supporte pas l'extension GL_ARB_vertex_program\n");
		exit(0);
	}
	if (!glewIsSupported("GL_ARB_fragment_program"))
	{
		fprintf(stderr,"votre carte ne supporte pas l'extension GL_ARB_fragment_program\n");
		exit(0);
	}
}
```

Ici, on vérifie simplement que la carte supporte bien les extensions, mais on ne les chargent pas, c'est la fonction glewInit qui s'en est chargé pour nous. Nous pouvons maintenant utiliser toutes nos fonctions supportées par la carte comme si elles étaient des fonctions standard OpenGL.

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

Lors de l'inclusion du header glew.h, bien vérifier que l'inclusion est placée avant celle du fichier gl.h.

II-2 - Modification du rendu des modèles.

Ici, pas de gros changements. Nous allons juste modifier la méthode d'ajout d'une lumière. Comme nous allons utiliser un *vertex program*, l'ensemble des calculs effectués par vertex se feront dans le *vertex program*, ce qui va réduire d'autant notre fonction d'ajout des lumières. La seule chose à bien comprendre ici, c'est que nous devons envoyer certaines informations au *vertex/fragment program* comme les trois vecteurs de l'espace local du vertex ou encore la position de la lumière et son rayon. Pour cela, j'utilise les coordonnées de textures, mais on aurai très bien pu passer par des tableaux d'attributs... A part cela, la méthode est assez simple à comprendre puisqu'il ne s'agit que d'envoyer la géométrie à la carte graphique, plus les informations nécessaires aux calculs. Le code de la méthode donne donc ça :

Méthode d'ajout des lumières à la scène.

```
void Model::addLightCubeMap(Light& light)
{
	Vecteur lightPos = light.getPosition();
	// on passe la couleur de la lumiere
	glColor3f(light.getColor().r,light.getColor().g,light.getColor().b);
	// on passe la position de la lumiere et son rayon dans la coordonnée de texture 1
	glMultiTexCoord4fARB(GL_TEXTURE1_ARB,lightPos.x,lightPos.y,lightPos.z,
	                                                1/light.getRadius());
	glBegin(GL_TRIANGLES);
	for(int i = 0;i < nbFaces; i++)
	{
		for (int j = 0; j < 3; j++)
		{
			int vertexIndex = faces[i].vertexIndex[j];
			// on passe les tangentes, binormales et normales dans
			// les coordonnees de textures 2,3 et 4
			glMultiTexCoord3fARB(GL_TEXTURE2_ARB,tangents[vertexIndex].x,
tangents[vertexIndex].y,tangents[vertexIndex].z);
			glMultiTexCoord3fARB(GL_TEXTURE3_ARB,binormals[vertexIndex].x,
binormals[vertexIndex].y,binormals[vertexIndex].z);
			glMultiTexCoord3fARB(GL_TEXTURE4_ARB,normals[vertexIndex].x,
normals[vertexIndex].y,normals[vertexIndex].z);
			// on passe les coordonnée de la scene dans la coordonnée de texture 0
			TexCoord &tc = texCoords[faces[i].texCoordIndex[j]];
			glMultiTexCoord2fARB(GL_TEXTURE0_ARB,tc.u,tc.v);
			Vecteur &v = vertex[vertexIndex];
			glVertex3f(v.x,v.y,v.z);
		}
	}
	glEnd();
}
```

Ici, je n'envoie pas le rayon de la lumière, mais l'inverse de son rayon. Cela permet de réduire les calculs car pour calculer l'atténuation j'ai besoin de faire une division par le rayon, or, il est plus rapide de multiplier par l'inverse du rayon que de faire cette division directement dans le vertex/fragment program.

Comme d'habitude, je suppose ici qu'OpenGL est bien configuré, c'est-à-dire que les *vertex/fragment programs* sont bien activé, le blending est en mode additif, et les unités de textures sont bien positionnées.

II-3 - Les vertex et fragment programs.

Dans cette partie, je vais présenter le *vertex program* et le *fragment program* utilisés dans le tutoriel pour calculer l'éclairage. J'ai préféré utiliser des *programs* assembleurs ARB au lieu de *vertex/fragment shaders* ARB car ceux-ci sont supporté par moins de cartes, mais aussi car les *programs* sont en assembleur, ce qui est plus compliqué à mettre en oeuvre, mais permet de mieux se rendre compte de l'étendu des calculs effectués par la carte graphique.

Dans un premier temps, il nous faut envoyer nos *programs* à OpenGL pour les compiler et les faire valider par la

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.
http://mdeverdelhan.developpez.com/tutoriel/dynamiclight/tutoriel6/

carte graphique. C'est le travail effectué par la méthode initShaders suivante.

Fonction d'envoi des shaders à la carte graphique

```
void initShaders()
{
        glGenProgramsARB(1, &fragmentProgramId);
        glBindProgramARB(GL_FRAGMENT_PROGRAM_ARB, fragmentProgramId);
        glProgramStringARB(GL_FRAGMENT_PROGRAM_ARB, GL_PROGRAM_FORMAT_ASCII_ARB,
                        strlen((char*) fragmentProgram), fragmentProgram);

        if(GL_INVALID_OPERATION == glGetError() )
        {
                //une erreur est detectee
                //recupere les informations sur l'erreur survenue
                const unsigned char* errorString;
                GLint errorPos = 0;
                errorString=glGetString(GL_PROGRAM_ERROR_STRING_ARB);
                glGetIntegerv(GL_PROGRAM_ERROR_POSITION_ARB,&errorPos);

                fprintf(stderr,"une erreur est survenue a la position : %d\n%s\n",
                                 errorPos, errorString);
                // on affiche le program jusqu'a l'erreur
                for (int i = 0; i < errorPos; i++)
                {
                        printf("%c", fragmentProgram[i]);
                }
                printf("\n");
        }

        // chargement du vertex program
        glGenProgramsARB(1, &vertexProgramId);
        glBindProgramARB(GL_VERTEX_PROGRAM_ARB, vertexProgramId);
        glProgramStringARB(GL_VERTEX_PROGRAM_ARB, GL_PROGRAM_FORMAT_ASCII_ARB,
                        strlen((char*) vertexProgram), vertexProgram);

        if(GL_INVALID_OPERATION == glGetError())
        {
                //une erreur est detectee
                //recupere les informations sur l'erreur survenue
                const unsigned char* errorString;
                GLint errorPos = 0;
                errorString=glGetString(GL_PROGRAM_ERROR_STRING_ARB);
                glGetIntegerv(GL_PROGRAM_ERROR_POSITION_ARB,&errorPos);

                fprintf(stderr,"une erreur est survenue a la position : %d\n%s\n",
                                 errorPos, errorString);
                // on affiche le program jusqu'a l'erreur
                for (int i = 0; i < errorPos; i++)
                {
                        printf("%c", vertexProgram[i]);
                }
                printf("\n");
        }
}
```

Maintenant que nous avons chargé nos *programs*, nous allons voir ce qu'ils contiennent. Les explications des *programs* sont contenues directement en tant que commentaires pour éviter d'avoir à les découper en petites parties. D'abord, voilà le *vertex program* utilisé. Il effectue tous les calculs par vertex que nous faisions avant sur le CPU.

Vertex program utilisé dans le tutoriel

```
# vertex program utilisé pour gérer l'éclairage
# il effectue la projection du vecteur vers la lumière et
# du vecteur vers la camera qui sont utilisé dans le fragment
# program par la suite.
# @param vertex.texcoord[0] : coordonnées de texture du polygone
# @param vertex.texcoord[1] : position de la lumiere + rayon dans w
# @param vertex.texcoord[2] : tangente
# @param vertex.texcoord[3] : binormal
# @param vertex.texcoord[4] : normale
# @param vertex.texcoord[5] : position de la camera
# @param vertex.color : couleur de la lumiere
#
```


Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

Vertex program utilisé dans le tutoriel

```
# @out result.texcoord[0] : coordonnée de texture du polygone
# @out result.texcoord[1] : vecteur du vertex vers la camera
# @out result.texcoord[2] : vecteur du vertex vers la lumiere
!!ARBvp1.0 OPTION ARB_position_invariant;

# mvit repesente l'inverse transposé de la matrice
# de modelview
PARAM mvit[4] = {state.matrix.modelview.invtrans};
# modelview est la matrice de modelview
PARAM modelView[4] = { state.matrix.modelview };
# camPos est la position de la camera
# note : pour récupérer la position de la camera,
# il suffit de prendre la quatrième ligne de l'inverse
# transposé de la matrice de modelview
PARAM camPos = state.matrix.modelview.invtrans.row[3];
# les texcoord 2 contienne la tangente
ATTRIB tangent = vertex.texcoord[2];
# les texcoord 3 contiennent la binormale
ATTRIB binormal = vertex.texcoord[3];
# les texcoord 4 contiennent la normale
ATTRIB normal         = vertex.texcoord[4];
# les texcoord 1 contiennent les informations sur
# la lumière, c-a-d : sa position et l'inverse de
# son rayon dans la composante w
ATTRIB lightInfo = vertex.texcoord[1];
TEMP vertexToLight;
TEMP vertexToCam;
TEMP temp;

# on projete le vecteur vers la lumière dans l'espace local
# du vertex
SUB temp, lightInfo, vertex.position ;
DP3 vertexToLight.x, temp, tangent;
DP3 vertexToLight.y, temp, binormal;
DP3 vertexToLight.z, temp, normal;
MOV vertexToLight.w, lightInfo.w;

# on projete le vecteur vers la camera dans l'espace local
# du vertex
SUB temp, camPos, vertex.position;
DP3 vertexToCam.x, temp, tangent;
DP3 vertexToCam.y, temp, binormal;
DP3 vertexToCam.z, temp, normal;

# ici, je ne normalise pas les vecteurs calculé, ce sera
# fait dans le fragment program pour améliorer la qualité
# de l'affichage (plus de problèmes de normalisation dû à
# l'interpolation)

# on copie les informations calculées sur les sortie du
# vertex program.
MOV result.texcoord[0], vertex.texcoord[0];
MOV result.texcoord[1], vertexToCam;
MOV result.texcoord[2], vertexToLight;
MOV result.color, vertex.color;
END
```

Et maintenant, voilà le *fragment program* qui calcul le résultat final de notre ajout de lumière.

Fragment program de calcul de la lumière.

```
# fragment program gérant l'affichage de la lumière
# ce fragment program calcul l'éclairage avec reflets
# spéculaires et avec du parallax mapping.
# @param texture[0] : normal map
# @param texture[1] : diffuse map
# @param texture[2] : height map
# @param texture[3] : gloss map
# @param texture[4] : attenuation map
# @param fragment.texcoord[0] : coordonnées de texture du polygone
# @param fragment.texcoord[1] : vecteur du fragment vers la camera
# @param fragment.texcoord[2] : vecteur de fragment vers la lumière
# @param fragment.color : la couleur de la lumiere
!!ARBfp1.0 OPTION ARB_precision_hint_fastest;
PARAM power = {8,0,0,0};
# la texture de normal map
```


Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.
http://mdeverdelhan.developpez.com/tutoriel/dynamiclight/tutoriel6/

Fragment program de calcul de la lumière.

```
TEMP normal;
# la texture d'attenuation
TEMP attenuation;
# la texture de diffuse
TEMP diffuse;
# la texture de gloss
TEMP gloss;
# la texture de height map
TEMP height;
# les coordonnées de textures modifiées par
# le parallax mapping
TEMP newTexcoord;
# le vecteur allant du fragment vers la lumière
TEMP toLight;
# la couleur final du fragment
TEMP final;
# le résultat du produit scalaire entre la normale
# et le vecteur vers la lumière
TEMP NdotL;
# vecteur temporaire
TEMP temp;
# le vecteur de demi angle pour le spéculaire
TEMP halfAngle;
# le vecteur du fragment vers la camera
TEMP toCamera;
# la composante spéculaire de la lumière
TEMP specular;

# on normalise le vecteur fragment->lumiere
# note : en l'absence d'extension permettant d'effectuer
# la normalisation d'un vecteur en une instruction, il faut
# utiliser la séquence suivante pour normaliser un vecteur
# (ici on normalise fragment.texcoord[2])
DP3 temp, fragment.texcoord[2], fragment.texcoord[2];
RSQ temp, temp.x;
MUL toLight, fragment.texcoord[2], temp;

# on normalise le vecteur fragment->camera
DP3 temp, fragment.texcoord[1], fragment.texcoord[1];
RSQ temp, temp.x;
MUL toCamera, fragment.texcoord[1], temp;

# on calcul les nouvelles coordonnées de textures pour le parallax mapping
TEX height, fragment.texcoord[0], texture[2], 2D;
MAD height, height, 0.04, -0.02;
MAD newTexcoord, height, toCamera, fragment.texcoord[0];

# on calcule l'attenuation
# on a texcoord[2] qui contient le vecteur vertex->lumiere
# on divise le vecteur par le rayon de la lumiere (w contient l'inverse du rayon)
# et on ajoute 0.5 pour partir du centre de la texture
# cf : calcul d'attenuation dans les tutoriaux sur le light mapping.
MAD attenuation, fragment.texcoord[2], fragment.texcoord[2].w, {0.5,0.5,0.5,0};
TEX attenuation, attenuation, texture[4], 3D;

# on charge la normal map
TEX normal, newTexcoord, texture[0], 2D;

# on remap la normal dans [0..1] au lieu de [0.5..1]
MAD normal, normal, 2, -1;

# on renormalise la normal pour maximiser la qualité
# d'affichage (plus d'interpolation, tout les vecteurs
# sont bien normalisé)
DP3 temp, normal, normal;
RSQ temp, temp.x;
MUL normal, normal, temp;

# on effectue le produit scalaire entre la
# normale à la surface et le vecteur transformé
# vers la lumière.
DP3 NdotL, normal, toLight;
MAX NdotL, NdotL, 0;
MUL_SAT final, NdotL, fragment.color;

# calcul de la composante spéculaire
# on calcul le vecteur de demi angle normalisé
ADD halfAngle, toCamera, toLight;
```


Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.
http://mdeverdelhan.developpez.com/tutoriel/dynamiclight/tutoriel6/

Fragment program de calcul de la lumière.
```
DP3 temp, halfAngle, halfAngle;
RSQ temp, temp.x;
MUL halfAngle, halfAngle, temp;

# on effectue le calcul du produit scalaire entre la
# normale à la surface et le vecteur de demi angle.
# on s'assure que la composante speculaire n'est pas
# inferieure à 0, ce qui entrainerai des problèmes lors
# de l'addition avec le rest du calcul. En effet, la
# composante spéculaire peut ajouter de la luminosité à un
# fragment mais ne doit pas en retirer.
DP3 specular, normal, halfAngle;
MAX specular, specular, 0;

# on met le resultat a la puissante en parametre
POW specular, specular.x, power.x;

# on multiplie par la couleur de la lumiere
MUL specular, specular, fragment.color;

# on recupere les textures restantes
TEX diffuse, newTexcoord, texture[1], 2D;
TEX gloss, newTexcoord, texture[3], 2D;

# on termine l'equation d'eclairage
# on multiplie la composante speculaire par le gloss
MUL specular, specular, gloss;

# on multiplie le bump par la texture de diffuse et
# on ajoute la composante spéculaire
MAD final, final, diffuse, specular;

# on attenue le tout
MUL final, final, attenuation;

# et on envoi le resultat du calcul en temps que couleur
# finale.
MOV result.color, final;
END
```

Si vous n'êtes pas familier avec les *vertex/fragment programs* ARB, ceux-ci peuvent vous sembler incompréhensibles, et pourtant ils ne font que des calculs assez simples à comprendre. Si vraiment vous ne comprenez pas, vous pouvez toujours aller regarder une doc sur les instructions des *programs* ARB.

Il faut bien se rendre compte que l'ensemble des calculs du *fragment program* sont effectué pour chaque pixel, même si le pixel est finalement noir. On obtient donc un *fragment program* relativement coûteux en terme de fill rate Le fill rate désigne le taux de remplissage de l'écran. Une méthode consommatrice en fill rate est une méthode qui va soit remplir fortement l'écran (c'est par exemple le cas des shadow volumes), ou bien dont le dessin des pixels est très consommateur en ressources comme c'est le cas ici. . On peut réduire ce coût en ne renormalisant pas la normal map et en effectuant les calculs de normalisation des vecteurs vers la lumière et la camera au niveau du *vertex program*, mais c'est au dépend de la qualité, et on retombe sur les problèmes d'interpolation si on utilise pas de cube map de normalisation comme c'est le cas ici.

II-4 - Le rendu final.

Maintenant que nous avons toutes les informations nécessaires, nous pouvons voir comment effectuer le rendu final de la scène. Le code nécessaire est assez semblable à celui du tutoriel précédent, mis a part qu'on a plus à activer l'extension env_dot3 pour l'unité de texture de la normal map, qu'on doit activer par contre les *vertex/fragment programs* et qu'on n'a pas à effectuer de deuxième passe pour avoir des lumières colorées. On ajoute aussi l'utilisation de la height map et de la gloss map, ce qui fait que nous utilisons maintenant 5 unités de textures pour notre rendu (et nous n'utilisons plus de cube map de normalisation). Le code de rendu de la scène donne donc :

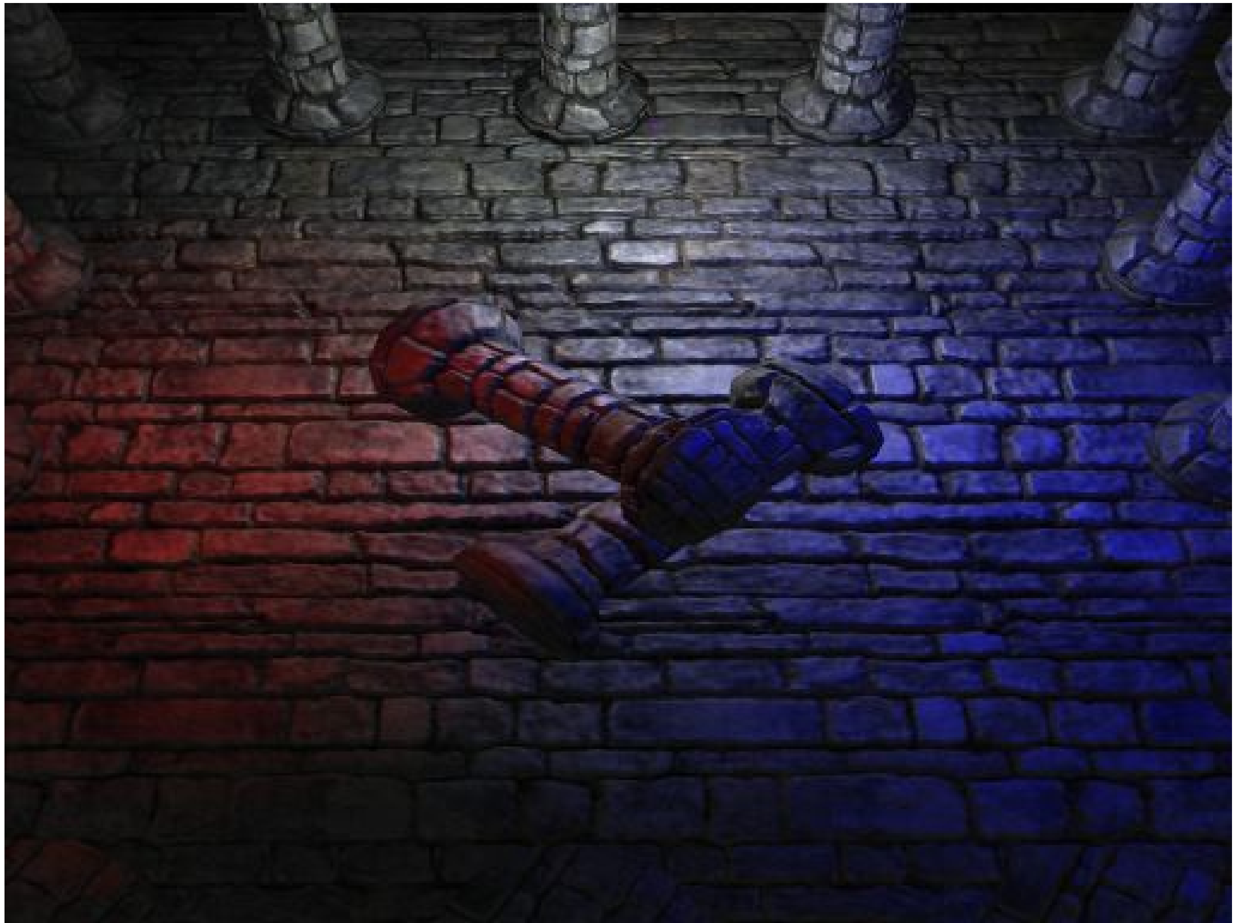
Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

Code de rendu de notre scène.

```
// on configure la premiere unite de texture :
// elle contient la texture de la scene
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE0_ARB);
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, textureId);
glTexEnvf(GL_TEXTURE_ENV,GL_TEXTURE_ENV_MODE,GL_MODULATE);

// on effectue le rendu de la lumiere ambiante
model->initLighting(ambiant);

// on doit reconfigurer les unites de textures
// la première unite de texture contient la normal map
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE0_ARB);
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D, normalMapId);

// la deuxieme contient la texture de diffuse
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE1_ARB);
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D,textureId );

// la troisieme contient la height map
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE2_ARB);
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D,heightMapId );

// la quatrieme contient la gloss map
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE3_ARB);
glEnable(GL_TEXTURE_2D);
glBindTexture(GL_TEXTURE_2D,glossMapId );

// la cinquieme contient la texture d'attenuation
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE4_ARB);
glEnable(GL_TEXTURE_3D_EXT);
glBindTexture(GL_TEXTURE_3D_EXT,lightmap );

// on doit activer le blending additif pour pouvoir utiliser
// ce mode d'eclairage
glEnable(GL_BLEND);
glBlendFunc(GL_ONE,GL_ONE);
glDepthMask(GL_FALSE);

// on active les vertex/fragment program
glEnable(GL_VERTEX_PROGRAM_ARB);
glBindProgramARB(GL_VERTEX_PROGRAM_ARB,vertexProgramId);
glEnable(GL_FRAGMENT_PROGRAM_ARB);
glBindProgramARB(GL_FRAGMENT_PROGRAM_ARB,fragmentProgramId);

// on ajoute nos lumieres
model->addLightCubeMap(light1);
model->addLightCubeMap(light2);

// on desactive les vertex/fragment program
glDisable(GL_VERTEX_PROGRAM_ARB);
glDisable(GL_FRAGMENT_PROGRAM_ARB);

// on desactive la cinquieme unite de texture
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE4_ARB);
glDisable(GL_TEXTURE_3D_EXT);
// on desactive la quatrieme unite de texture
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE3_ARB);
glDisable(GL_TEXTURE_2D);
// on desactive la troisieme unite de texture
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE2_ARB);
glDisable(GL_TEXTURE_2D);
// on desactive la seconde unite de texture
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE1_ARB);
glDisable(GL_TEXTURE_2D);
// on desactive la premiere unite de texture
glActiveTextureARB(GL_TEXTURE0_ARB);
glDisable(GL_TEXTURE_CUBE_MAP_ARB);

glDepthMask(GL_TRUE);
glDisable(GL_BLEND);
```

Et voila le résultat final en image.

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.



Le rendu final de la scène.

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

III - Réflexions sur la gestion de la lumière.

Nous avons vu au cours de cette série de tutoriaux comment gérer la lumière de plusieurs façons différentes. Cela va de la plus simple, avec l'éclairage par vertex, à des plus compliquée comme nous venons de le voir. Comme je le disais dans la conclusion du tutoriel précédent, l'utilisation d'une méthode d'éclairage ou d'une autre influe non seulement sur les performances du moteur 3D, mais aussi sur la quantité de ressources à fournir pour les artistes. En effet, avec un système complexe, le créateur de textures aura à crée :

- Une texture de diffuse standard. Elle correspond à la texture généralement crée pour un système d'éclairage simple. Ce n'est donc pas un surcoût ici.
- Une height map utilisée pour gérer l'effet de parallax mapping.
- Une normal map. Bien que généralement crée à partir de la height map, on peut parfois souhaiter avoir une normal map différente. C'est sans doute la texture la plus importante d'un material. Une normal map de mauvaise qualité, et l'ensemble du système de gestion de la lumière en subit les conséquences.
- Une gloss map qui permet de nuancer l'effet de l'éclairage spéculaire. C'est une des textures les plus difficiles à régler. Une gloss map qui atténue trop l'éclairage spéculaire, l'effet perd de son intérêt, au contraire, si la gloss map ne l'atténue pas assez, on se retrouve avec des surface qui ressembles à du plastique ou du métal trop brillant.
- Une texture émissive. Bien que je ne l'aie pas traitée dans ce tutoriel, on peut souhaiter avoir certaines parties de notre texture toujours éclairée. Par exemple un bouton lumineux ou un écran d'ordinateur émettent leur propre lumière. Pour cela on utilise une texture émissive qui est affichée durant la première passe de l'algorithme de rendu de la lumière (le rendu de la lumière ambiante).

Nous avons donc ici de nombreuses textures à créer pour nos artistes, ce qui peut considérablement alourdir le processus de création d'un jeu vidéo pour une équipe d'amateurs.

Un autre point important que je n'est pas traité ici est l'optimisation du rendu des lumières. Nos lumières étant des lumières sphériques ponctuelles, on peut effectuer de nombreuses optimisations avant de les afficher. En dehors des algorithmes de partitionnement (BSP, octree, portals), la première optimisation qui vient à l'esprit est de vérifier si la face est bien orientée vers la lumière avant de la rendre. En effet, il est inutile de dessiner une face si on sait que l'ensemble de ses vertex tournent le dos à la lumière. Si ceci peut être coûteux pour l'éclairage par vertex (le coût de vérification par face sera supérieur au gain de vitesse), cette optimisation peut être très intéressant pour les systèmes plus coûteux en terme de fill rate, c'est-à-dire, quand le dessin d'un pixel est lent (ce qui est notre cas dans ce tutoriel). On peut aussi exclure de l'affichage toutes les faces qui sont trop éloignées de la lumière pour être éclairées (ceci se fait simplement à l'aide d'une équation de plan par polygone).

Une autre optimisation simple à mettre en oeuvre consiste à utiliser un rectangle de clipping autour de la lumière. Cette optimisation n'est utilisable que pour les rendus de lumières en multi passe, elle n'est donc pas applicable à l'éclairage par vertex. Elle consiste tout simplement à utiliser la possibilité des cartes graphiques à utiliser un rectangle de clipping pour réduire la zone de dessin autorisée. Si, en calculant les extremum de notre lumière, on en déduit un rectangle de clipping qui englobe entièrement notre lumière, on peut ainsi réduire l'affichage des grand polygones touchés par la lumières, et ainsi sauvegarder du fill rate encore une fois.

Un avantage de cette optimisation est qu'elle est aussi très utile pour optimiser le rendu des ombres utilisant l'algorithme des shadow volumes.

Comme je l'ai dit dans le premier tutoriel, je n'ai traité que des lumières sphériques ponctuelles directes. On peut imaginer des systèmes d'éclairage plus complexes gérant les spots de lumières via des projections de textures, et des lumières directionnelles infinies. De même, on peut espérer voir arriver dans l'industrie d'ici quelques temps l'utilisation de l'illumination globale qui permet de gérer les sources de lumières indirectes. Ceci est encore à l'heure actuelle un sujet de recherche important, mais les premiers résultats sont déjà impressionnants.

Un autre point important qui n'est pas traité dans cette série est la gestion de l'occlusion de la lumière, via des

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

algorithmes de génération d'ombres portées. En effet, dans ces tutoriaux, la lumière traverse les objets pour aller éclairer les autres objets. Ceci est embêtant pour le réalisme de notre scène. Il peut donc être intéressant d'avoir des ombres portées sur les autres objets, et pour cela utiliser des techniques comme les shadow volumes ou les shadow buffers (aussi appelée shadow maps).

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.

IV - Conclusions.

Ca y est, c'est fini. Si nous avons vu au cours de cette série de tutoriaux comment gérer la lumière de plusieurs manières, il ne faut pas oublier que le principal argument pour le faire dans un moteur 3D amateur est bien de pouvoir dépasser la limite du nombre maximum de lumières hardware supportées par les cartes graphiques. Il est donc conseillé de choisir la méthode la plus adaptée au moteurs que vous souhaitez réaliser. Il n'est pas forcement utile de mettre en place un système d'éclairage par pixel pour un moteur simple ou pour un jeu de stratégie par exemple, alors qu'une bonne gestion de l'éclairage pourra être très importante dans un FPS. Le principal est que maintenant vous avez le choix de la technique à utiliser dans votre moteur.

Vous pouvez télécharger les sources de ce tutoriel ici ou ici [http]

Une version PDF de ce tutoriel est disponible ici ou ici [http]

Les sources présentés sur cette pages sont libres de droits, et vous pouvez les utiliser à votre convenance. Par contre la page de présentation de ces sources constitue une oeuvre intellectuelle protégée par les droits d'auteurs. Copyright © 2006 - Michel de VERDELHAN. Aucune reproduction, même partielle, ne peut être faite de ce site et de l'ensemble de son contenu : textes, documents, images, etc sans l'autorisation expresse de l'auteur. Sinon vous encourez selon la loi jusqu'à 3 ans de prison et jusqu'à 300 000 E de dommages et intérêts.