

Rapport de projet Licence d'Informatique

DUPUIS Emmanuel - MAILLY Maxime

May 24, 2004

enseignant encadrant le projet : Pascal MIGNOT

Mélange Interactif de Couleurs

1 Introduction

Le but de ce projet est de réaliser une application proposant le mélange de couleurs et de lumières colorées dans un rendu spectral. Plusieurs paramètres sont disponibles afin de se rendre compte au mieux des effets d'un tel rendu.

L'application a été écrite pour les plates-formes Windows, puisque développée avec Visual C++ 6.0. L'apprentissage de la programmation Windows était donc nécessaire.

2 La Couleur

2.1 Quelques notions

Il existe deux modèles physiques pour décrire la lumière. On remarquera tout d'abord l'aspect corpusculaire, en effet, la lumière résulte du déplacement des photons ayant une certaine énergie. Ensuite, il y a l'aspect ondulatoire (*c'est cet aspect auquel nous nous intéresserons*). La lumière est composée d'un ensemble d'ondes monochromatiques (*onde visible ne possédant qu'une seule longueur d'onde*) et c'est la superposition de ces ondes qui crée la couleur finale.

Pour une source de lumière, on appelle répartition spectrale d'énergie $P(\lambda)$ la fonction qui, à chaque longueur d'onde λ , associe l'intensité de la source de lumière à cette longueur d'onde λ . On appelle cette fonction densité d'énergie.

Un objet ne fait que renvoyer les ondes qu'il n'absorbe pas de la lumière qui l'éclaire. On définit donc, dans ce cas, la réflectance spectrale $\rho(\lambda)$ (*fonction de réflectance*) qui correspond à la répartition spectrale émise par l'objet, ce dernier étant éclairé par une lumière blanche. Cette fonction indique la proportion d'énergie renvoyée par l'objet, et ce pour chaque longueur d'onde.

2.2 Mélange de couleurs

Nous considérons, ici, les mélanges de couleurs au sens de la lumière (*synthèse additive -principe de l'écran d'ordinateur*) et non au sens du peintre (*synthèse soustractive -mélange de pigments*). Deux types de mélanges de couleurs existent :

- **le mélange additif** : cas du mélange de deux sources lumineuses de répartition spectrale $P_1(\lambda)$ et $P_2(\lambda)$ éclairant un point d'une surface. La répartition spectrale résultante est $P(\lambda) = P_1(\lambda) + P_2(\lambda)$.
- **le mélange multiplicatif** : cas d'un objet de réflectance spectrale $P_1(\lambda)$ éclairé par une source lumineuse de distribution spectrale d'énergie $P_2(\lambda)$. La distribution spectrale résultante est $P(\lambda) = P_1(\lambda) * P_2(\lambda)$.

C'est ce dernier mélange que nous utiliserons dans notre application.

2.3 Rendu spectral

Le rendu spectral consiste à utiliser un spectre échantillonné (*qui contient un nombre donné de valeurs de longueur d'onde*) pour manipuler les répartitions spectrales d'énergie des sources de lumières et les réflectances spectrales des objets. L'utilisation de ce rendu permet de palier aux problèmes de représentation et de mélange de couleurs liés à l'utilisation de l'espace RVB.

Il existe plusieurs modèles de représentation des couleurs, parmi ces différents modèles on retient le modèle RVB qui est celui utilisé par les écrans d'ordinateurs (*synthèse additive*). Néanmoins ce modèle présente l'inconvénient de ne pas pouvoir représenter toutes les couleurs du spectre visible. Chaque couleur est représentée par trois pondérations en rouge, vert et bleu, or il s'avère que pour représenter certaines couleurs du spectre visible, il est nécessaire d'attribuer des pondérations négatives à la couleur rouge, ce qui évidemment n'est pas possible.

Pour effectuer nos calculs (*mélanges*), on choisit une représentation spectrale en n composantes. En d'autres termes, la densité d'énergie n'est connue que pour n longueurs d'ondes λ_i , et ce pour tous les spectres utilisés. Les opérations de mélange s'effectuent ainsi naturellement composante par composante.

Dans notre cas, pour le mélange multiplicatif de deux spectres P_1 et P_2 , le spectre résultant $P(\lambda)$ n'est évalué qu'aux longueurs d'onde λ_i tel que $P(\lambda_i) = P_1(\lambda_i) * P_2(\lambda_i)$.

Néanmoins, l'utilisation du rendu spectral présente quelques difficultés. En effet, bien que l'on effectue des calculs de rendu avec les spectres, l'écran reste toujours en mode RVB donc nécessairement nous devons effectuer une conversion Spectre \Rightarrow RVB.

2.4 Les conversions

Afin d'afficher nos couleurs résultantes, il nous est nécessaire d'effectuer une conversion de spectre à représentation en RVB. Pour cela, nous devons tout d'abord effectuer la conversion de spectre à représentation dans le modèle XYZ.

C'est en 1931 que la Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) a défini trois primaires standard appelées X, Y et Z en vue de remplacer le modèle RVB. Ce modèle a été défini comme suit :

- Y suit la fonction d'efficacité de l'oeil humain

- toute couleur doit pouvoir se définir à partir de pondérations positives de ces trois primaires

Pour ces trois primaires, il existe 3 poids $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, $z(\lambda)$ connus (*xyzv.sd*) tels que toute couleur primaire C_λ (*une seule longueur d'onde*) s'écrive :

$$C_\lambda = x(\lambda) \cdot X + y(\lambda) \cdot Y + z(\lambda) \cdot Z$$

$x(\lambda)$ (respectivement $y(\lambda)$, $z(\lambda)$) est la fonction qui, à la longueur d'onde λ , associe le poids de la composante primaire X (respectivement Y, Z).

Les trois valeurs X, Y et Z sont obtenues par une simple intégration numérique.

Ensuite, la dernière conversion de XYZ à RVB s'effectue grâce à une matrice de changement de base. Cette matrice est à calibrer en fonction de la lumière utilisée et de différents coefficients chromatiques en fonction du dispositif d'affichage.

Enfin, à partir des trois valeurs R, V et B, il nous est possible d'afficher cette couleur à l'écran de l'ordinateur.

3 Principe du programme

Dans cette partie, nous allons voir et étudier les différentes étapes de notre programme afin d'arriver au résultat.

3.1 Les fichiers couleur et lumière

Nous disposons, au départ, de fichiers représentant nos couleurs et nos lumières. Ces fichiers contiennent dix premières lignes fournissant divers informations sur le fichier et la couleur ou la lumière correspondante. Ensuite nous récupérons un nombre entier correspondant au nombre de données du fichiers. Ces données sont des longueurs d'onde et la valeur de répartition d'énergie (*lumière*) ou de réflectance spectrale (*couleur*) correspondante.

Ainsi nous récupérons toutes ces données que nous plaçons dans trois tableaux $C_1[]$, $C_2[]$ et $L[]$ pour *couleur1*, *couleur2* et *lumière* respectivement.

3.2 Le rééchantillonnage

Pour des raisons de cohérence, on échantillonne toujours les spectres et les fonctions spectrales ($x(\lambda)$) sur le même ensemble de $\{\lambda_i\}$. L'intervalle de validité a été fixé à [360nm, 820nm]. L'utilisateur a ensuite le choix dans le nombre d'échantillons. Il est donc nécessaire de rééchantillonner les spectres en tenant compte de ces contraintes afin de pouvoir effectuer les mélanges composante par composante.

Pour ce faire, on effectue une interpolation linéaire pour chacun des tableaux.

- Tout d'abord, on se fixe un tableau de λ données.
- Pour chaque λ donnée, chercher λ_1 et λ_2 , valeurs immédiatement inférieure et immédiatement supérieure respectivement.
- $\alpha \leftarrow \frac{\lambda - \lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$
- $P(\lambda) \leftarrow (1 - \alpha) \cdot P(\lambda_1) + \alpha \cdot P(\lambda_2)$

Finalement, on obtient 3 tableaux pour nos deux couleurs et notre lumière basés sur le même ensemble de $\{\lambda_i\}$.

3.3 Les mélanges

Afin de pouvoir comparer la technique de rendu spectrale à la méthode traditionnelle en RVB, nous effectuerons le mélange avec les deux techniques.

Le mélange RVB :

Nous effectuons, en premier lieu, la conversion de nos deux spectres de couleurs en RVB, d'une part pour les afficher et d'autre part pour effectuer le mélange composante par composante.

Avant d'appliquer le mélange multiplicatif à nos deux couleurs nous devons diviser chaque composante par 255 pour se retrouver dans l'espace RVB. Il suffit ensuite de multiplier les composantes résultantes du mélange par 255 pour pouvoir afficher la couleur du mélange.

Le mélange en rendu spectral :

Ce mélange correspond à une lumière de couleur éclairant un objet de couleur. Nos tableaux étant échantillonnés comme il faut, il nous suffit d'effectuer une multiplication composante par composante de nos 3 tableaux $C_1[]$, $C_2[]$ et $L[]$ et de placer le résultat dans un tableau $S[]$.

Lors de ce calcul, nous permettons à l'utilisateur de rajouter un facteur d'intensité de lumière.

3.4 Les fonctions $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ et $z(\lambda)$

En vue de la conversion du spectre dans le modèle XYZ, nous devons également échantillonner les 3 fonctions $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ et $z(\lambda)$.

Nous disposons du fichier *xyzv.sd* qui contient la valeur de ces fonctions en des longueurs d'onde données.

Après lecture de ce fichier, nous remplissons 3 tableaux $X[]$, $Y[]$ et $Z[]$ sur lesquels nous appliquons le même algorithme d'interpolation linéaire que pour les tableaux des spectres de couleurs et de lumière.

3.5 Conversion en XYZ

La conversion du spectre dans le modèle XYZ se fait par une intégration numérique.

$$X = \int S(\lambda) \cdot x(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int S(\lambda) \cdot y(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int S(\lambda) \cdot z(\lambda) d\lambda$$

On utilise la méthode des rectangles (*une intégration est en fait une somme d'aires*)

Soit le tableau $Sx[]$, tel que $Sx[i] = S[i] * X[i]$. On considère des rectangles de largeur le pas ($pas = \lambda[i + 1] - \lambda[i]$). On a alors :

$$\begin{aligned} X &= \int S(\lambda) \cdot x(\lambda) d\lambda \\ &= \sum_{i=0}^{n-2} \frac{1}{2} \cdot pas \cdot (Sx[i] + Sx[i + 1]) \\ &= \frac{pas}{2} \cdot (Sx[0] + 2 \cdot \sum_{i=1}^{n-2} Sx[i] + Sx[n - 1]) \end{aligned}$$

On effectue ce calcul pour les deux autres composantes Y et Z.

3.6 Conversion en RVB

Après la conversion dans le modèle XYZ, vient la conversion dans le modèle RVB.

Pour cela, nous avons besoin de construire la matrice de passage d'un modèle à l'autre. Les coefficients sont calculés à partir de plusieurs paramètres suivant le matériel utilisé.

En premier lieu, vient le choix de la lumière blanche (*laissé à l'utilisateur*). Il faut calculer les composantes XYZ de ce "blanc" et en déduire les coefficients de façon à ce que ce blanc donne un blanc RVB ($R = 1, V = 1, B = 1$).

Un autre paramètre jouant sur la valeur des coefficients de la matrice de passage est la valeur des coefficients d'une matrice M_{CIE} intermédiaire. Ces coefficients sont les coefficients chromatiques RVB du périphérique utilisé. Pour notre projet, la matrice M_{CIE} a été fixée et les coefficients correspondent à un dispositif d'affichage du type Moniteur trinitron.

La matrice de passage M s'écrit comme le produit de la matrice M_{CIE} par une matrice K dont le rôle est de normaliser la couleur RVB.

Cette dernière matrice K est une matrice diagonale dont les coefficients diagonaux sont calculés à partir du produit de l'inverse de la matrice M_{CIE} par le vecteur coordonnées XYZ du blanc de référence.

La matrice finale M est la matrice de passage de RVB à XYZ, il nous faut donc inverser cette matrice pour effectuer la conversion XYZ vers RVB.

Les valeurs ainsi obtenues ne sont peut-être pas représentables en RVB, c'est-à-dire qu'on obtient des valeurs inférieures à 0 ou bien supérieures à 1. Dans ce cas, un message nous prévient de ce problème. Les valeurs dépassant les bornes (*0 ou 1*) sont seuillées (*ramenées à 0 ou 1*) et la couleur résultante est affichée bien que ce ne soit pas la vraie couleur résultante du mélange spectral.

3.7 Comparaison des mélanges

Nous avons également implémenté un dernier mélange en rendu spectral. C'est le mélange de deux sources de lumière colorées.

Notre mélange ressemble donc à ça : $S[i] = C[i] * L[i] * C_2[i] * L[i]$.

Ici encore, nous permettrons à l'utilisateur de jouer sur l'intensité de la lumière par le biais d'un simple coefficient constant multiplicateur.

A partir des valeurs RVB récupérées pour chacun des mélanges, il nous est possible d'afficher les couleurs afin de comparer les résultats.

4 Conclusion/TO DO

Les notions abordées ne sont pas des plus faciles à assimiler, le travail le plus pointu se situant au niveau des conversions et des calibrations nécessaires à l'obtention d'un résultat cohérent.

C'est pourquoi nous ne nous sommes restreints qu'à un certain nombre de paramètres modifiables. En effet, il aurait été intéressant de permettre à l'utilisateur de rentrer ses propres coefficients de chromatique de RVB, pour la construction de la matrice M_{CIE} .

De même, permettre le mélange de plus de deux couleurs avec plusieurs lumières aurait permis de se rendre mieux compte de l'intérêt du rendu spectral.

C'est pourquoi, il aurait également pu être intéressant d'utiliser nos calculs dans un moteur de Raytracing utilisant des scènes avec des sources de lumières colorées, des surfaces réfléchissantes ou encore des objets transparents. Dans ce cas, la différence entre le rendu spectral et le rendu RVB serait nettement visible.