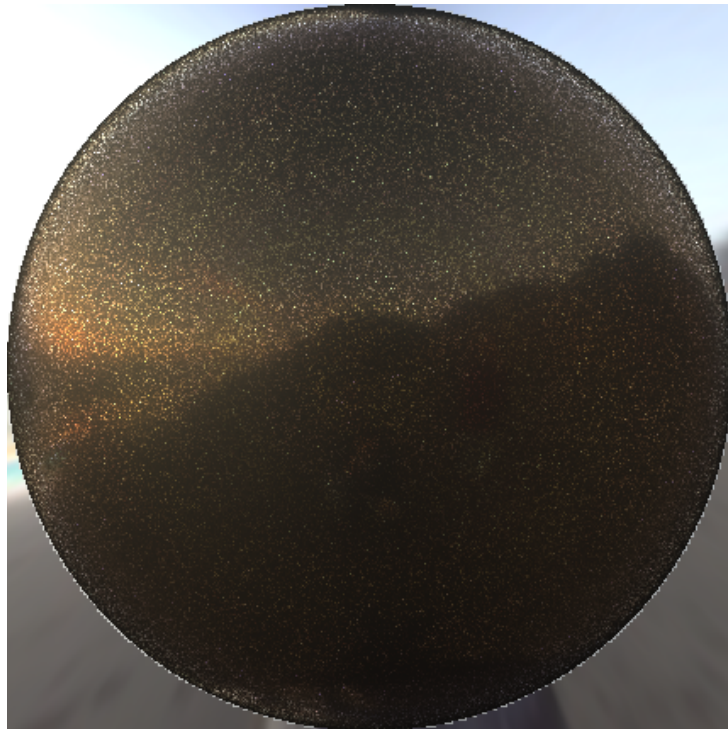


Exploration de l'espace des BRDFs pour la modélisation de matériaux

Spécifications

.



Adrien Grosjean
Ludovic Burg
Karim Salama
Adèle Saint-Denis

Superviseur : Mathias Paulin



21 janvier 2019

Description du projet

Dans le cadre du Master 2, nous avons choisi de réaliser notre chef d'oeuvre sur le sujet basé sur le papier *A Versatile Parameterization for Measured Material Manifolds* de [Soler et al., 2018]. Celui-ci propose une solution au problème suivant :

Lors du processus de design de modèles et de scènes 3D, les graphistes doivent être capable de choisir le matériau qui correspond à leur attentes. Pour ce faire ils ont besoin d'outils leur permettant de visualiser et de modifier ces matériaux. Le logiciel *BRDF Explorer* de Disney répond à ces besoins en proposant une visualisation d'une centaine de matériaux dont les données proviennent de la [base MERL](#).

Le problème réside dans le fait que ces représentations manquent d'ergonomie : d'une part la navigation dans la liste des 100 matériaux est pénible, et d'autre part les paramètres fournis pour les modifier sont insuffisants. L'idée du papier cité plus haut pour résoudre ces deux problèmes est de créer un espace de dimension inférieure q permettant d'explorer intuitivement l'espace des matériaux. Le choix de q dépend de la qualité souhaitée et de la manière dont nous souhaitons naviguer dans l'espace. Un espace 2D à l'avantage de pouvoir être représenté sous la forme d'une carte et d'être simple à visualiser.

Notre projet se déroulera en deux temps : Dans un premier temps, nous implémentons l'algorithme permettant de fournir une paramétrisation acceptable de l'espace des données issues de la base de données *MERL* vers un espace à q dimension. Nous créons une variété topologique à q dimensions de l'espace des BRDFs.

Ensuite, nous choisirons q égal à deux, générerons le modèle de l'espace correspondant et serons en mesure de créer une image pour fournir une représentation de cet espace 2D. Ce faisant, nous obtiendrons une carte que les graphistes pourront explorer. Notre modèle lui, permettra de reconstruire des données semblables à celles de la base de données *MERL*, c'est à dire produire un nouveau matériau qui n'existait pas dans la base à partir d'un point de la carte, le tout implémenté dans *BRDF Explorer*.

En mettant des points de référence sur la carte (les points de la variété topologique correspondant aux données d'origine), le graphiste pourra aisément choisir un matériau entre l'or et l'aluminium par exemple.

Analyse Fonctionnelle

Notre projet se divise en la création de deux éléments logiciels : un pour la génération des données relatives à l'espace latent et un autre intégré à *BRDF Explorer* qui utilise ces données.

II.1 Logiciel de paramétrisation de la variété topologique de l'espace des BRDFs

Le logiciel sert à produire les données nécessaires à la version augmentée de *BRDF Explorer*. Il prend en entrée la dimension de la variété topologique à produire. En sortie, il écrit sur disque :

- la matrice K^{-1} permettant de passer de l'espace latent à l'espace primal
- les variables latentes
- l'image de la carte des matériaux dans le cas où la dimension de la variété topologique est de deux.

II.2 BRDF Explorer

Ce logiciel est une version augmentée de l'originale de Disney, elle implémente notre solution : L'utilisateur aura à sa disposition un outil qui lui permettra de sélectionner une BRDF sur la carte des matériaux.

Vue du système

III.1 Modules

III.1.1 Logiciel de paramétrisation de la variété topologique de l'espace des BRDFs

Manipulation des BRDFs

Ce module sert à charger les données de la base de données *MERL* et à les représenter dans un format interne. Ce format est optimal pour le calcul de l'albédo lors de la production de la carte :

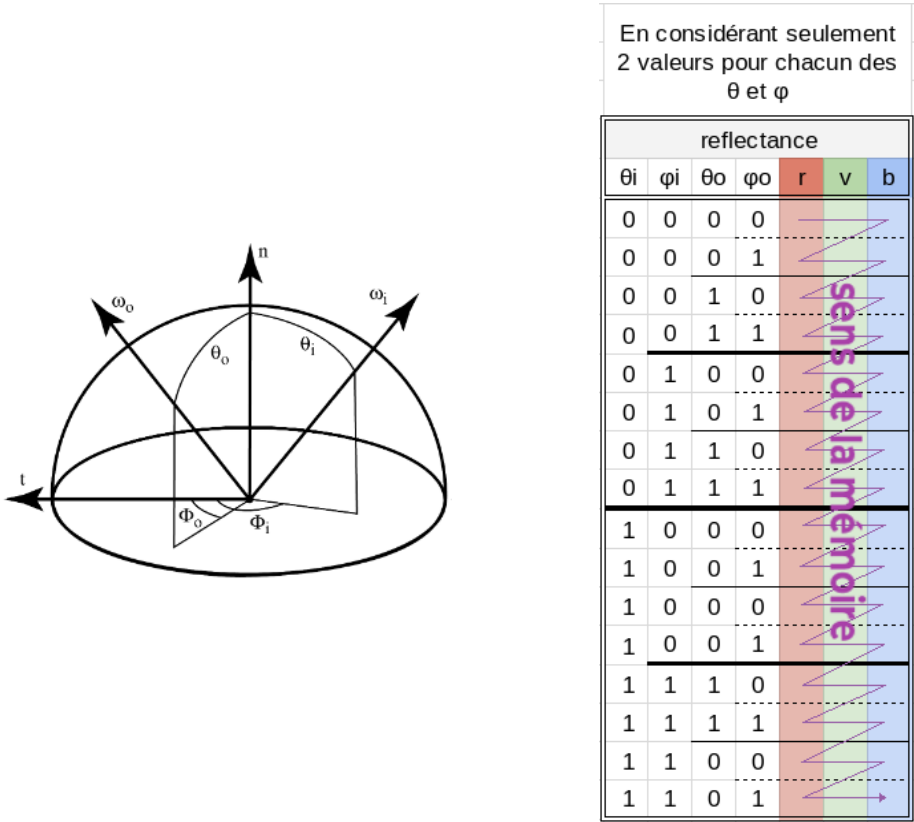


Figure III.1 – Organisation mémoire des BRDFs

Le module sert également à produire la matrice Z pour l'algorithme de Hooke & Jeeves. Elle est représentée par une instance de la classe template *Matrix* de *Eigen*.

L'analyse en composantes principales

Ce module sert à initialiser le vecteur des variables latentes X . Pour cela, on fait une analyse en composantes principales de Z . Il prend en paramètre la dimension de l'espace à produire.

L'algorithme de Hooke & Jeeves

Il s'agit de l'algorithme décrit dans notre premier rapport. Il est utilisé pour optimiser le passage de l'espace latent vers l'espace des BRDFs défini par K^{-1} de telle manière à ce que cela minimise l'erreur de reconstruction. La fonction de coût à minimiser est donnée dans le précédent rapport *Méthodes & Algorithmes*.

À la fin de l'algorithme, nous obtenons la matrice K^{-1} optimale et les variables latentes X associées.

Génération de la carte des matériaux

À partir des variables latentes, ce module crée une image contenant en chaque pixel l'albédo de la BRDF représentée. À ces fins, les données des BRDFs sont organisées grâce au module de manipulation des BRDFs. L'image de la carte est exportée dans le fichier : `brdf_2d_manifold.png`

Écriture des données

Ce module permet d'écrire dans un fichier les données résultantes de l'algorithme de Hooke & Jeeves et nécessaire au fonctionnement de notre version de *BRDF Explorer*

- l'inverse de la matrice de covariance K^{-1}
- le nom et les variables latentes X de chaque BRDF

La structure du fichier est donnée ci-dessous.

header		
(propriété intellectuelle, commentaires, date)		
inverse mapping:		
K^{-1}		
latent variables:		
brdf_filename1	x	y
brdf_filename2	x	y
brdf_filename3	x	y
brdf_filename4	x	y
brdf_filename5	x	y
...		

Figure III.2 – Structure du fichier exporté par le logiciel de paramétrisation : `brdf_2d_manifold.data`

III.1.2 BRDF Explorer

Récupération des données

Récupération des données enregistrées précédemment dans le fichier et l'image qui décrit la carte des matériaux.

La matrice Z sera récupérée à partir du répertoire des fichiers des BRDFs. Ces fichiers devront être lus dans le même ordre que celui des variables latentes III.2.

Z pourra être chargée indépendamment du système de stockage, c'est à dire dans la mémoire vive ou sur disque grâce à la bibliothèque stxxl.

Création des éléments d'interface

L'utilisateur disposera d'un item cliquable pour l'ouverture de la carte de sélection de matériaux.

La fenêtre de sélection de matériaux comporte la carte et un bouton de validation.

Sur la carte des matériaux seront placés des marqueurs à l'emplacement des points de référence, donnés par les variables latentes.

Il nous faudra créer des fonctions qui seront appelées lors d'un événement sur la carte des matériaux. Ces événements sont :

- Le zoom sur la carte
- Le maintien de la touche *Ctrl*
- Le maintien de la souris sur un marqueur
- Le clic de la souris sur la carte

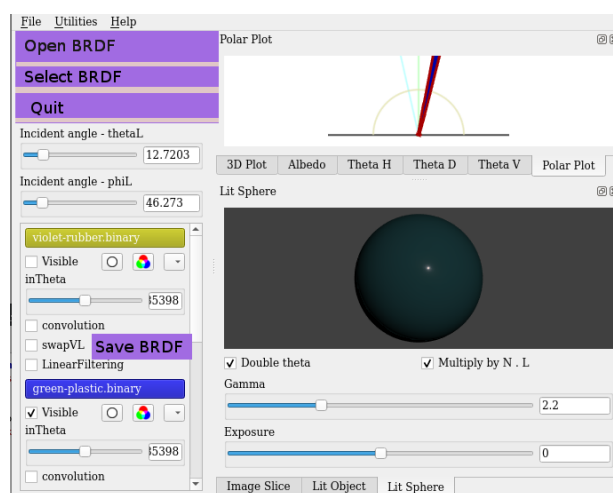


Figure III.3 – Ajout d'options à l'interface de *BRDF Explorer*

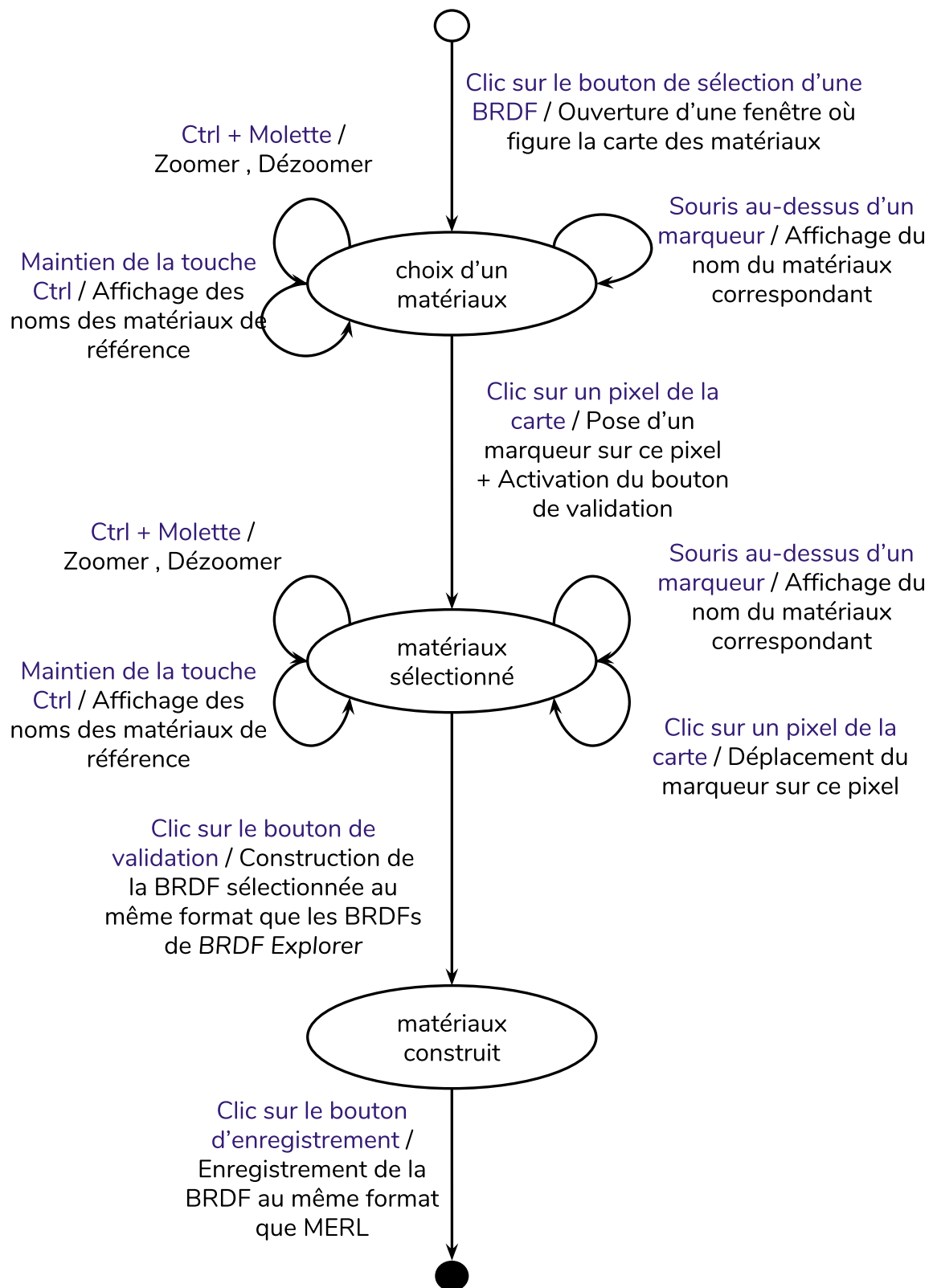


Figure III.4 – Interactions et Visualisation sur la carte des matériaux

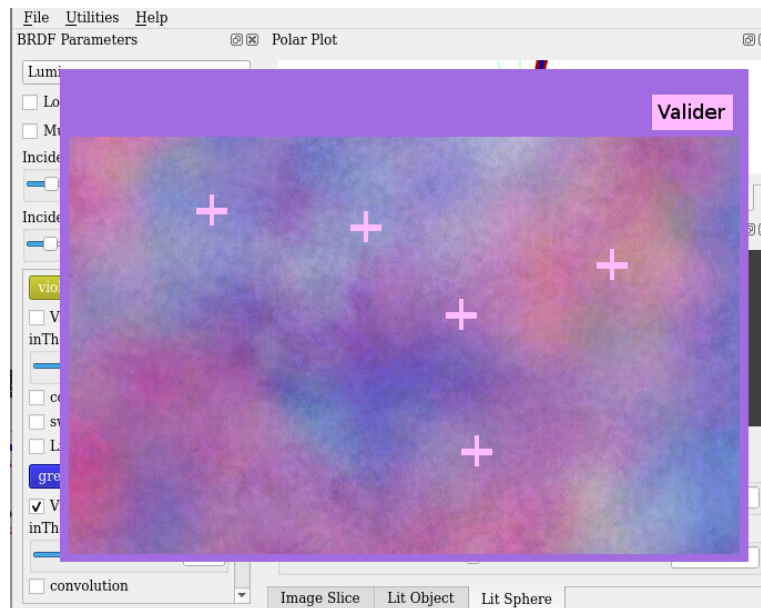


Figure III.5 – Outil de sélection d'une BRDF

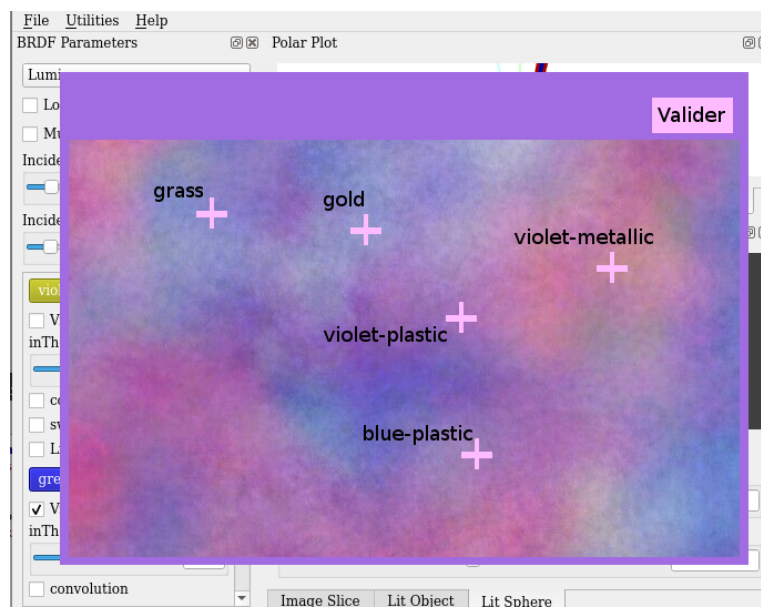


Figure III.6 – Maintien de la touche Ctrl



Figure III.7 – Souris sur un matériaux de référence

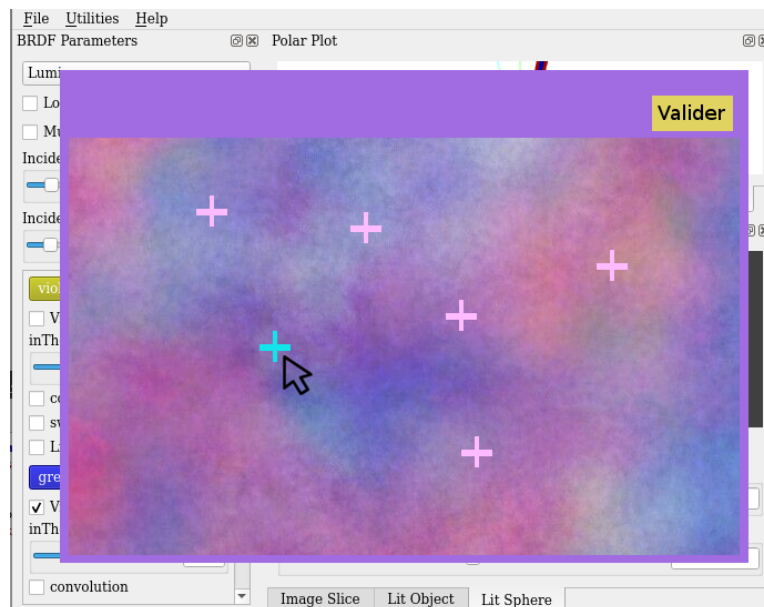


Figure III.8 – Clic de la souris sur la carte des matériaux

Le clic de la souris sur la carte entraînera l'apparition d'un marqueur et l'activation du bouton *valider*.

.....

Reconstruction et création d'une nouvelle BRDF

Ce module consiste en la reconstruction d'une BRDF à partir de coordonnées latentes puis en l'instanciation d'une classe manipulable par *BRDF Explorer* de la même manière que son format classique et donc adaptée pour le rendu.

.....

Exportation d'une BRDF

L'utilisateur aura la possibilité d'enregistrer une BRDF reconstruite sous la forme d'un fichier au format de la base de données *MERL*. Cela s'effectuera lorsque l'utilisateur cliquera sur le bouton prévu à cette effet. En entrée, le module prend une BRDF reconstruite dans le format de *BRDF Explorer* et en sortie, un fichier au format de la base de données *MERL* représentant la BRDF.

III.2 Tâches

III.2.1 Tâches par Modules

.....

Partie paramétrisation de la variété topologique

Manipulation des BRDFs

- Adaptation de l'algorithme fourni par MERL pour charger les BRDFs au format souhaité :
 - format utilisé dans la matrice Z
 - format utilisé pour le calcul d'albedo
- Création de la matrice Z des BRDFs via une structure de donnée Eigen

L'analyse en composantes principales

- Mise en place de la classe d'optimisation
- Implémentation de l'algorithme de l'ACP

L'algorithme de Hooke et Jeeves

- Implémentation de l'algorithme de déplacement d'exploration
- Implémentation de l'algorithme de déplacement appris
- Implémentation de l'algorithme de Hooke & Jeeves

Génération de la carte des matériaux

- Implémentation de la reconstruction d'une BRDF à partir des coordonnées latentes

Écriture des données

- Enregistrer les données correspondant à chaque BRDF ainsi que la matrice de mapping
 - Enregistrer la carte des matériaux
-

BRDF Explorer

Récupération des données

- Mise en place des classes dans *BRDF Explorer*
- Chargement des données stockées sur disque

Création des éléments d'interface

- Création du bouton d'ouverture de la fenêtre de sélection de matériaux
- Création de la fenêtre de sélection de matériaux
- Implémentation de la fonction de zoom sur la carte
- Implémentation de la fonction d'affichage des noms des BRDFs sur la carte
- Création du sélecteur d'une BRDF sur la carte
- Création du bouton de validation d'une BRDF dans la fenêtre de sélection de matériaux

Reconstruction et création d'une nouvelle BRDF

- Mis en place de la classe pour les BRDFs reconstruites
- Intégrer l'algorithme de reconstruction de la partie optimisation dans BRDF Explorer
- Mis en place de la connexion entre l'interface et la BRDF reconstruite

Exportation d'une BRDF

- Création du bouton d'exportation dans le widget de la BRDF reconstruite
- Implémentation de l'exportation de la BRDF reconstruite

III.2.2 Les tests

Dans l'optique d'effectuer des tests automatisés, nous utiliserons un exécutable effectuant un ensemble de tests unitaires pour chaque module, qui seront décrit dans cette section.

L'exécutable prendra en paramètre une liste de nom de modules ou fonctions à tester (ex : *all* ou *hook_and_jeeves map_generation*)

Nous allons créer notre propre fichier contenant des données d'une BRDF de faible dimension qui nous servira à valider chacune des fonctions et algorithmes que nous allons implémenter. Nous utiliserons par exemple *Matlab* pour valider le résultat de l'ACP sur nos données de test. Dans notre application de test, "valider" consistera à utiliser des assert sur le résultat attendu par rapport à celui de la fonction.

.....

Partie paramétrisation de la variété topologique

Récupération de la matrice des BRDFs Après avoir crée notre propre fichier de BRDF, on va comparer ce qui est attendu et ce qui a été chargé par notre fonction de chargement de données.

L'analyse en composantes principales En utilisant les données pré-calculées nous pourrons les comparer au résultat obtenu par notre application.

L'algorithme de Hooke et Jeeves Pour tester cet algorithme nous le ferons tourner sur une fonction de coût choisie dont les propriétés sont connues et disponible sur internet, par exemple la fonction de *Rosenbrocks*.

Génération de la carte des matériaux Pour tester si la carte des matériaux a bien été générée selon nos exigences, nous considérerons que celle-ci fonctionne si :

- l'erreur de reconstruction obtenue entre une BRDF reconstruite et une BRDF connue est correcte par rapport à nos types utilisés pour le calcul d'optimisation (la référence sera donnée par notre tuteur)
- le calcul de l'albédo d'une BRDF est correct lui aussi : Il pourra être testé avec une BRDF connue, dont l'albédo sera préalablement donné par BRDF Explorer

Écriture des données Pour tester l'écriture des données, nous créerons un jeu de données identique à nos données de test, et comparerons les fichiers après écriture.

.....

BRDF Explorer

Comme BRDF Explorer consistera majoritairement en l'implémentation d'une interface, pour la tester, nous nous référerons aux scénarios décrits en III.4 et nous effectuerons des tests utilisateurs.

Pour tester la reconstruction des BRDFs au même format que celle utilisée dans BRDF Explorer, nous effectuerons des manipulations pour vérifier que les BRDFs produites fournissent bel et bien les mêmes fonctionnalités, la principale étant le rendu graphique.

Finalement, pour la sauvegarde d'une BRDF au format MERL, nous sauvegarderons puis rechargerons une BRDF pour ensuite la comparer avec celle que nous avons avant la sauvegarde.

III.2.3 Optimisations & Parallélisation

Récupération de la matrice Z Z est récupéré de la même manière depuis le logiciel de la paramétrisation de la variété topologique et *BRDF Explorer*. Les chemins des fichiers des BRDFs sont stockés dans un tableau. Une boucle est faite la liste des BRDFs. À chaque tour de boucle, nous lisons une BRDF et nous la stockons dans une ligne de Z . La boucle est parallélisée avec *OpenMP*.

Pour le centrage de Z , nous commençons par calculer la BRDF moyenne : cette opération est déjà implémenté de manière parallèle dans Eigen. Ensuite, nous faisons une boucle parallélisée sur les BRDFs de Z où la BRDF moyenne est soustraite à chaque BRDF.

L'analyse en composantes principales L'ACP, qui sert à initialiser X , est faite avec une double boucle parallélisée. Une pour itérer sur les valeurs propres et une pour itérer sur les lignes de X .

La fonction de coût La multiplication $K^{-1} \times ZZ^t$ n'est pas faite. Seuls les coefficients de la diagonale du résultat sont calculés pour obtenir le scalaire $trace(K^{-1}ZZ^t)$.

Déplacement d'Exploration La forme de la fonction de coût fait que n'importe quel vecteur de déplacement la réduisant peut être utilisé pour effectuer le déplacement appris. Une boucle est faite sur les coefficients du vecteur de déplacement. Cette boucle est parallélisée. Dès qu'un processus léger réduit la fonction de coût, il envoie un signal aux autres processus légers pour arrêter la boucle.

Génération de la carte des matériaux La boucle sur les pixels de la carte est parallélisée.

Organisation

Planning prévisionnel

La répartition des tâches au sein de l'équipe est faite sur la base du volontariat. Dès le début du chef d'oeuvre, le bon niveau de communication et d'implication des différents membres de l'équipe ont permis d'instaurer une gestion souple et responsabilisante.

Ainsi, les figures ci-dessous font apparaître les différentes tâches, lesquelles peuvent être sélectionnées par un membre et dont l'avancement est annoté sur le document à chaque modification. Les dates de validation ne sont fixées que pour les parties principales. Elles ont été fixées en fonction de leur inter-dépendance.

Tâches	Adrien	Karim	Ludovic	Adèle	Date de fin de la tâche	Avancement
Partie paramétrisation de la variété topologique					2/8/2019	
Manipulation des BRDFs						
Adaptation de l'algorithme fourni par MERL pour charger les BRDFs au format voulu						
format utilisé dans Z						
format utilisé pour le calcul d'albedo						
Création de la matrice Z des BRDFs via une structure de donnée Eigen						
ACP						
Mise en place de la classe d'optimisation						
Implémentation de l'algorithme						
Algorithme Hooke et Jeeves						
Algorithme de déplacement d'exploration						
Algorithme de déplacement appris						
Algorithme de Hooke et Jeeves						
Génération de la carte des matériaux						
Reconstruction d'une BRDF à partir des coordonnées latentes						
Écriture des données						
Enregistrer les données correspondant à chaque BRDF et la matrice de mapping						
Enregistrer la carte des matériaux						
Partie BRDF Explorer					2/15/2019	
Récupération des données						
Mise en place des classes dans BRDF Explorer						

Tâches	Adrien	Karim	Ludovic	Adèle	Date de fin de la tâche	Avancement
Chargement des données stockées sur disque						
Création des éléments d'interface						
Bouton d'ouverture de la carte						
Création de la carte des matériaux						
Fonction de zoom sur la carte						
Fonction d'affichage des noms des BRDF sur la carte						
Création du sélecteur d'une BRDF sur la carte						
Bouton de validation d'une BRDF dans la fenêtre de la carte						
Reconstruction et création d'une nouvelle BRDF						
Mis en place de la classe pour les BRDFs reconstruites						
Intégrer l'algorithme de reconstruction de la partie optimisation						
Mis en place de la connexion entre l'interface et la BRDF reconstruite						
Exportation d'une BRDF						
Création du bouton d'exportation dans le widget de la BRDF reconstruite						
Algorithme d'exportation de la BRDF reconstruite						
Tests					1/30/2019	
Partie paramétrisation de la variété topologique						
Récupération de la matrice des BRDFs						
ACP						
Algorithme de Hooke et Jeeves						

Tâches	Adrien	Karim	Ludovic	Adèle	Date de fin de la tâche	Avancement
Génération de la carte des matériaux						
Écriture des données						
Partie BRDF Explorer					2/13/2019	
Optimisations & Parallélisation						
Récupération de la matrice Z						
Centrage de Z						
ACP						
Déplacement d'exploration						
Génération de la carte des matériaux						

Analyse des Risques

Lors d'un tel projet il est impératif de mettre en évidence les risques qui peuvent subvenir afin de les prévoir et de savoir réagir en conséquence. Ces derniers sont listés en suivant :

Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité				
Danger identifié	Evaluation			Traitement / Action
	Probabilité	Gravité	Possibilité de non détection	
Prise de retard à cause de la charge de travail et la confusion générée par le grand nombre d'UEs et projets à gérer	Probable	5	Possible	Revoir les objectifs à la baisse
Prise de retard par rapport aux exigences et/ou progression trop lente due à des dates de validation trop souples	Probable	4	Possible	Augmenter la charge de travail allouées au chef d'oeuvre par semaine (en dehors des heures déjà prévues). Redéfinir les dates de validation en conséquence et de manière plus stricte
Manque de communication impactant le fonctionnement du groupe ou l'organisation des tâches	Probable	5	Possible	Communiquer les informations manquantes à tous les partenaires sur <i>Discord</i>
Maladie d'un.e partenaire	Probable	1	Possible si manque de communication	Redistribuer les tâches en fonction de l'étendue de la période
Abandon d'un.e partenaire	Très peu probable	9	Impossible	Redistribuer les tâches
Absentéisme / manque de travail d'un.e partenaire	Probable	8	Quasi-impossible	Communiquer avec le partenaire pour regagner son implication
Difficultés techniques impactant l'organisation temporelle du projet	Peu probable	7	Quasi-impossible	Se renseigner auprès de l'encadrant ou trouver des méthodes alternatives afin de contourner le problème
Non compatibilité d'un logiciel sur une des machines utilisées	Assez probable	4	Possible	Rétrograder le logiciel pour les machines en question si cela n'affecte pas son fonctionnement par rapport au projet
Insuffisance du matériel pour la parallélisation	Probable	1	-	Emprunter le matériel/session nécessaire à l'IRIT
Panne d'une machine de travail	Peu probable	2	Impossible	Travailler sur les machines en salle de TP
Perte de données sur le dépôt <i>git</i>	Très peu probable	9	Impossible	Faire des <i>backups</i>

Figure V.1 – Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité

Bibliographie

Cyril Soler, Kartic Subr, and Derek Nowrouzezahrai. A Versatile Parameterization for Measured Material Manifolds. *Computer Graphics Forum*, 37(2) :1–10, April 2018.
URL <https://hal.inria.fr/hal-01702722>.