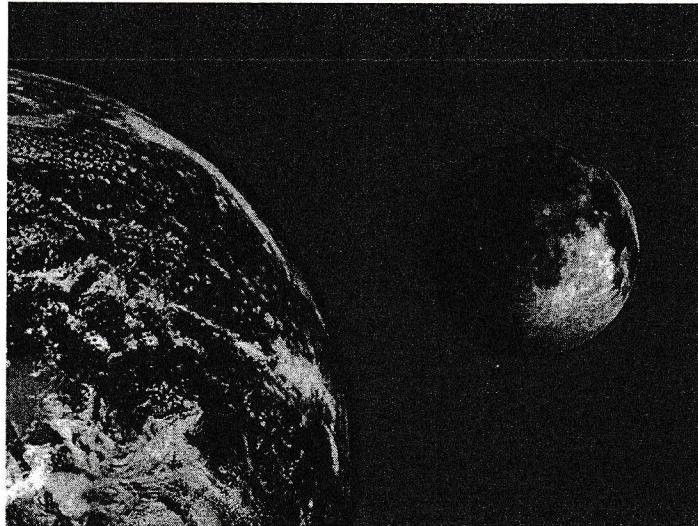




UNIVERSITÉ  
DE MONTPELLIER



UE : Projet de Programmation  
pour la L2 - Informatique

Modélisation en 3D des  
mouvements lunaires autour de  
la Terre

Manon DRUGMANNE, Loick PELTIER, Baptiste VOLLE

## Contents

1 Remerciements	3
2 Introduction	4
3 Présentation du problème précis	5
4 Description du travail réalisé	9
5 Conclusion	14
6 Bibliographie	15

---

## *1 REMERCIEMENTS*

### **1 Remerciements**

Nous tenons à remercier madame HASCOËT pour sa patience et ses explications d'une part sur le sujet, ce qui nous a permis de rapidement l'assimiler, et sur les phénomènes physiques à prendre en compte afin d'établir une équation de rotation. D'autre part, elle nous a également présenté le fonctionnement du logiciel de modélisation OpenGL qui est l'outil principal de notre projet "Modélisation en 3D des mouvements lunaires autour de la Terre".

## 2 Introduction

Dans le cadre de l'Unité d'Enseignement "Projets de Programmation de L2", nous : Manon DRUGMANNE, Loick PELTIER et Baptiste VOLLE, avons appris grâce à cette UE à mener un projet en groupe à terme en apportant chacun notre travail, nos recherches et notre motivation. Nous avons travaillé sur le sujet "Mouvements Lunaires", le programme codé en C++ associé sera présenté lors d'une soutenance orale à la fin de l'année et sera également accompagné de ce rapport. Pour réaliser notre projet, nous avons utilisé les logiciels Emacs d'une part pour la partie programmation et OpenGL d'autre part pour la modélisation. Notre objectif est de réaliser un programme permettant la visualisation de la rotation de la Lune autour de la Terre en trois dimensions. Cette observation se fera avec une équation de rotation définie dès le départ comme circulaire et non elliptique centrée sur le centre de la Terre pour simplifier cette trajectoire. L'écriture du code sur Emacs avec les fonctions associées à OpenGL nous a permis d'observer la modélisation réalisée.

Afin d'avoir une idée plus précise des résultats attendus pour ce projet, nous avons pu consulter un ancien programme existant réalisé par des étudiants d'une promotion précédente. Suite à l'assimilation du sujet et aux différentes recherches effectuées, nous pouvions poursuivre notre objectif qui consiste en la conception et le développement de ce code. Il faut également créer et pouvoir modifier des interactions utiles entre l'utilisateur et le logiciel OpenGL par exemple pour l'exploration de la modélisation.

Si le temps le permet, la dernière partie du projet consiste à développer une fonctionnalité supplémentaire de notre choix comme par exemple pouvoir zoomer ou dézoomer sur la modélisation ou encore ajouter un pack de texture qui rendrait le résultat un peu plus "réaliste".

### 3 PRÉSENTATION DU PROBLÈME PRÉCIS

## 3 Présentation du problème précis

La Lune est un satellite naturel de la Terre et le cinquième plus grand satellite du Système solaire avec un diamètre de 3 474 km. Elle possède le même âge que la Terre soit 4,53 milliards d'années et serait née d'une collision entre la Terre et une autre planète. Les matériaux éjectés se seraient accumulés pour former la Lune. La distance moyenne qui les séparent est de 384 460 km. Elle est attirée par la Terre et tourne également autour de celle-ci. C'est pourquoi elle est soumise à une force centrifuge qui tend à la repousser. Elle possède une période de révolution de 23,93 heures qui joue un rôle primordial dans le phénomène des marées. En effet, les océans vont être soumis à l'attraction gravitationnelle de la Lune et la force centrifuge, ce qui va provoquer la variation du niveau de la mer. Plus la Lune sera proche de la Terre plus la surface des océans baissera et inversement. Sa période de rotation autour de la Terre est de 27,3 jours et elle se retrouve dans la même position dans le ciel tous les 29,5 jours; c'est-a-dire que nous observons la même face de la Lune tous les 29,5 jours. L'importance dans l'étude des marées est de pouvoir établir des formules de prédition en associant le mouvement des astres et la réponse des océans. Ce phénomène est intéressant à connaître car il participe aux variations du niveau de la mer, provoquées également par le réchauffement climatique. Elle joue également un rôle sur l'activité sismique. En effet, lors de son passage proche de la Terre, elle pourrait modifier le comportement de volcans en activité ce qui pourrait entraîner une éruption volcanique. Ce phénomène est aussi étudié pour établir des prédictions.

La Terre est une des quatre planètes telluriques solides du Système solaire beaucoup plus grande que la Lune. Elle possède un diamètre de 12 700 km et a la même période de révolution que la Lune soit 23,93 heures. Sa période orbitale autour du Soleil est de 365,26 jours.

### 3 PRÉSENTATION DU PROBLÈME PRÉCIS

Caractéristiques	Terre	Lune
Diamètre (km)	12700	3474
Période de révolution (heures)	23,93	23,93
Masse (kg)	$5,976 * 10^{24}$	$7,35 * 10^{22}$
Vitesse (km/s)	29,78	3680
Inclinaison de l'axe	23,45	5,9
Densité ( $g/cm^3$ )	$5,52 * 10^3$	3,344

Figure 1: Caractéristiques de la Terre et de la Lune

Les rotations de la Lune sur elle-même et autour de la Terre sont intéressants à étudier et à modéliser car elles peuvent permettre de prédire des phénomènes importants par exemple. Elle effectue donc des mouvements de balancement selon la longitude et la latitude. Elle décrit une orbite dont le plan est similaire à celui de l'écliptique du Soleil. Ce paramètre fait parti du cycle de Milankovitch avec la précession et l'obliquité; qui jouent actuellement un rôle majeur dans les changements climatiques.

L'obliquité correspond à l'inclinaison terrestre, soit l'angle entre son axe de rotation et un axe perpendiculaire au plan de son orbite. Elle est due aux interactions gravitationnelles subies par la Terre de différentes planètes.

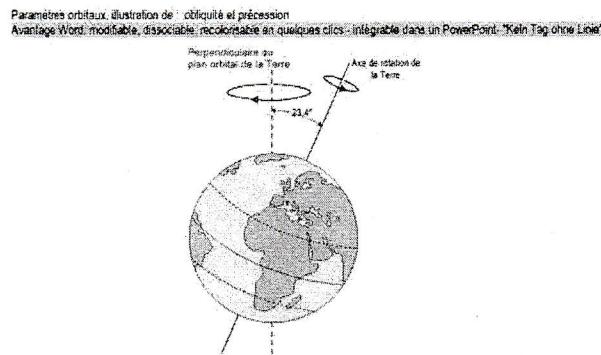


Figure 2: Obliquité de la Terre

### 3 PRÉSENTATION DU PROBLÈME PRÉCIS

La précession ensuite représente le changement d'orientation de cet axe de rotation. Ce phénomène est causé par les attractions du Soleil et de la Lune qui ne sont pas uniformes sur Terre.

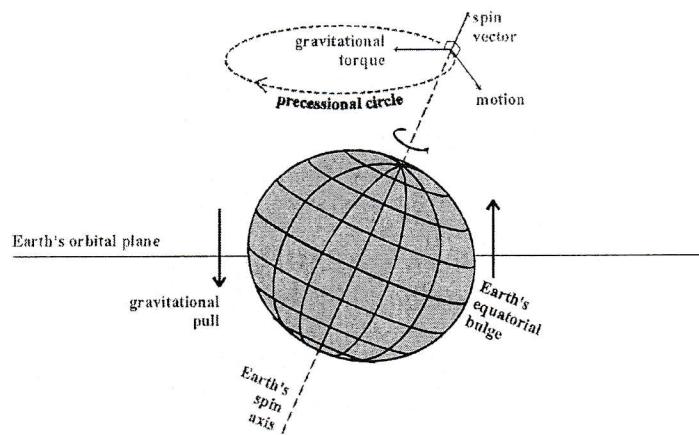


Figure 3: Précession de la Terre

Enfin, l'orbite terrestre correspond à l'ellipse décrite par la Terre autour du Soleil lors de ses mouvements. L'excentricité est caractérisé par la différence entre cette ellipse décrite et un cercle. Ce dernier paramètre du cycle de Milankovitc est causé par les attractions gravitationnelles entre la Terre et les autres planètes, le Soleil et qui est décrit selon les lois de Newton.

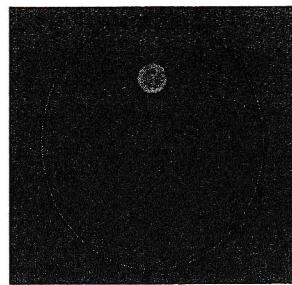


Figure 4: Excentricité de la Terre suivant une ellipse

### 3 PRÉSENTATION DU PROBLÈME PRÉCIS

La Lune effectue donc une ellipse lors de ses mouvements lunaires autour de la Terre. Néanmoins, par soucis de simplification, l'ellipse décrite sera considérée comme étant tout le temps un cercle. Nous allons donc étudier et modéliser une orbite circulaire lunaire.

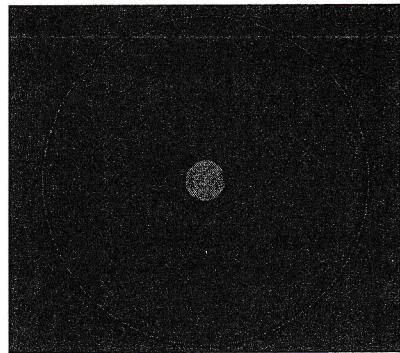


Figure 5: Excentricité de la Terre suivant une trajectoire circulaire

Il s'agit donc dans ce projet d'implémenter les équations qui correspondent aux mouvements de la Lune autour de la Terre avec l'hypothèse que l'orbite est circulaire (pour simplifier) puis de les modéliser afin d'obtenir une vision en 2D et 3D de ces mouvements avec la planète Terre et la Lune.

---

## **4 DESCRIPTION DU TRAVAIL RÉALISÉ**

### **4 Description du travail réalisé**

Dans un premier temps, suite à l'obtention de notre sujet, nous avons commencés des recherches individuelles sur la Lune et la Terre, leurs caractéristiques et les liens entre ces astres (le cycle de Milankovitc, la gravité...).

Suite au premier rendez-vous avec madame HASCOËT, nous avons mis nos recherches en commun et réfléchis à la manière de traiter le sujet. Nous avons également lu le fascicule sur le logiciel OpenGL afin de comprendre les fonctions qui nous serons utiles et leur intérêt dans le programme (par exemple : les fonctions de modélisation en deux dimensions et en trois dimensions). Les objectifs étant de déterminer une équation de la rotation de la Lune autour de la Terre et de se familiariser avec le logiciel principal du projet nommé OpenGL.

Après la mise en commun de ces recherches et lors du deuxième rendez-vous avec notre tutrice, nous devions mettre en place cette équation à l'aide des lois de Newton pour déterminer la rotation de la Lune autour de la Terre. Lorsque cette équation a été déterminée et approuvée par madame HASCOËT, nous avons alors décidé de séparer principalement le projet en trois parties.

D'une part, Manon a appris le fonctionnement et l'utilisation d'OpenGL. Au départ, une représentation de la Lune qui tourne autour de la Terre a été réalisée en deux dimensions afin de comprendre l'intérêt des différentes fonctions et callback du logiciel. Les recherches ont abouti à la création en trois dimensions de deux sphères, l'une bleue et l'autre plus petite et plus éloignée grise qui tourne autour de la sphère bleue en suivant une orbite circulaire. Cette modélisation n'est pas encore liée aux équations déterminées.

#### 4 DESCRIPTION DU TRAVAIL RÉALISÉ

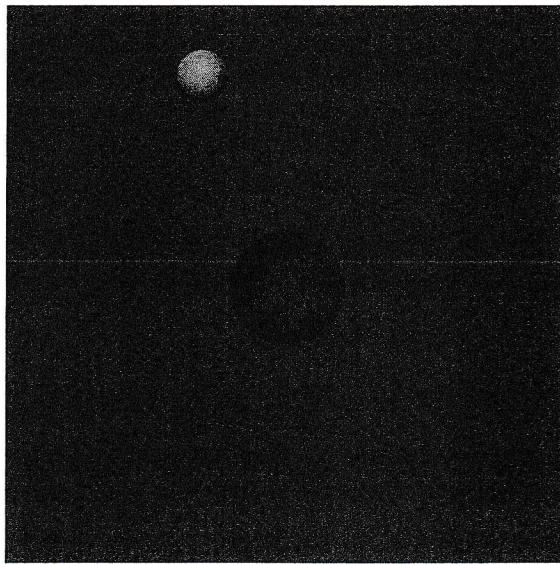


Figure 6: Modélisation sur OpenGL en 3D

Ce premier programme est écrit en C++ et possède principalement trois fonctions : Lune() et Terre() afin de séparer leurs caractéristiques de modélisation et TerreLune(). Les deux premières contiennent globalement les mêmes fonctions dont celle régissant la création d'une sphère, la fonction de rotation des astres sur eux-mêmes, la couleur et la taille associée. La fonction Lune() présente en plus une fonction de translation afin qu'elle soit visuellement écartée de la Terre, ainsi qu'une fonction de rotation autour de la Terre selon une orbite circulaire mais qui n'est pas encore déterminée par une équation. La dernière fonction est TerreLune() et appellera les deux fonctions précédentes. Le code contient également un main() avec les initialisations de la matrice et des caractéristiques de la fenêtre, l'établissement du repère et la fonction callback " glutDisplayFunc() ". Le rôle principal de cette dernière fonction est d'appeler TerreLune() qui exécutera alors les instructions voulues. Néanmoins, il ne peut y avoir qu'une fonction callback dans le programme, c'est pourquoi Terre() et Lune() sont exécutées dans

---

#### *4 DESCRIPTION DU TRAVAIL RÉALISÉ*

TerreLune().

Manon a également réalisé le code pour appliquer des textures aux sphères. Pour cela, une fonction `loadTexture()` est implémentée afin de charger une image pour l'appliquer en texture. Les fonctions de dessin de la Terre et de la Lune ont été modifiées pour créer une quadrique sur laquelle s'adaptera la texture associée. La création des sphères ne s'effectuera plus avec la fonction `glutSolidSphere()` mais avec `gluSphere()` qui est liée aux méthodes de textures.

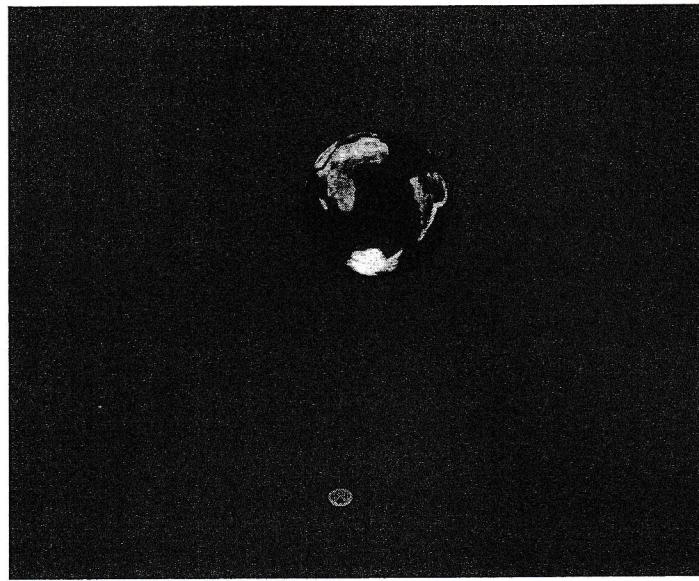


Figure 7: Textures appliqués aux sphères

Néanmoins, nous n'avons pas réussi à lier cette implémentation avec le code principal. Les textures ne sont donc pas affichées.

D'autre part, en parallèle du travail de Manon, Baptiste a traduit l'équation permettant de calculer la position de la Lune par rapport à la Terre en fonction du temps en code par le langage C++. Son travail consistait donc à écrire un programme qui utilisait cette équation pour permettre, en fonction

#### 4 DESCRIPTION DU TRAVAIL RÉALISÉ

des variables entrées par l'utilisateur, de donner la position de la Lune sur un axe ( $x,y,z$ ) à un instant  $T$  donné. Cette implémentation affiche ensuite successivement les positions de la Lune par rapport au temps. Le programme consiste donc à initialiser plusieurs variables (par exemple la distance entre la Terre et la Lune, ou l'inclinaison de la Lune) pour ensuite renvoyer les positions  $x$   $y$  et  $z$  de la Lune (la Terre se trouvant aux coordonnées  $(0,0,0)$ ) à l'aide de plusieurs méthodes de calculs. La suite de son travail était d'afficher les différentes données concernant la Terre et la Lune pour qu'elles soient visibles à l'écran à l'aide de la fonction BitMapOutPut(). Il devait également permettre à l'utilisateur de pouvoir modifier ces variables en offrant la possibilité soit d'augmenter soit de diminuer les valeurs des variables en appuyant sur différentes touches du clavier.

Modifications	Augmenter	Diminuer
Distance Terre Lune	a	q
Masse de la Terre	z	s
Masse de la Lune	e	d
Inclinaison de l'orbite de la Lune	r	f

Figure 8: Modifications des caractéristiques des astres en fonction des touches du clavier

La troisième partie du travail pour Loïck consistait donc à assembler les travaux effectués afin que la Lune tourne autour de la Terre selon l'équation. Dans le cadre de ce projet visant à modéliser le mouvement de la Lune autour de la Terre, il s'est occupé d'un travail préliminaire visant à retrouver une équation permettant la conception d'un modèle simple. Il a donc utilisé l'équation de la longueur orbitale de la lune afin d'en trouver la vitesse, dans le but de calculer la vitesse angulaire de celle-ci, tout ceci lui permettant donc à l'aide de calculs trigonométriques de trouver une équation pour la position de la lune pour chaque dimension.

Ce travail réalisé, Loïck s'est attelé à l'apprentissage des fonctionnalités

#### 4 DESCRIPTION DU TRAVAIL RÉALISÉ

d'OpenGL et de GLUT, ainsi qu'à la recherche des différentes étapes à suivre afin de mener à bien le projet, attendant alors que Manon et Baptiste lui envoient les codes qu'ils ont pu réaliser. Son travail a donc consisté à les regrouper en un seul code, les simplifier et pouvoir les compiler sur Linux. Suite à cela, chacun de nous a travaillé sur des étapes ciblées du projet sur la base du code que Loïck avait fourni, son travail ayant été de s'occuper de la lumière, de certaines utilisations du clavier telles que le zoom et le changement de vitesse, ainsi que la cohérence du modèle par rapport à la réalité, aussi bien physiquement que temporellement parlant. Son implémentation sur la lumière s'est limité à la création d'une source lumineuse en mouvement autour de la Terre afin de simuler un Soleil. Le zoom venait à la base d'un test réalisé qui avait pour but de rendre des mouvements de camera possible, ce projet ayant été abandonné pour laisser du temps à d'autres fonctionnalités plus importantes, et seul le zoom a été gardé. Le changement de vitesse, lui, est venu du désir de rendre un modèle cohérent, et donc bien trop lent pour pouvoir étudier le programme. Il a donc fallu offrir la possibilité à l'utilisateur non seulement de modifier la distance entre les astres, mais également la vitesse du temps qui passe.

La rédaction du rapport est effectuée en parallèle des recherches et de la programmation. Nous l'écrivions au rythme de nos avancées.

## 5 Conclusion

Ce projet nous aura permis de découvrir et d'apprendre le fonctionnement du logiciel de modélisation OpenGL. De la réalisation d'un projet en deux dimensions à un résultat en trois dimensions possédant des caractéristiques modifiables. Il était très intéressant de réaliser les mouvements de la Lune autour de la Terre avec ce logiciel car beaucoup de possibilités s'offrent à nous comme ajouter une texture pour obtenir un effet plus "réaliste" ou bien pouvoir manipuler les caractéristiques des astres même lorsque la fenêtre d'OpenGL est lancée. Les modifications sont directement visibles. Nous avons également compris l'importance de la gestion du temps dans un projet. Nos rendez-vous ainsi que nos objectifs fixés à chaque fois nous ont permis d'avancer rapidement et de pouvoir s'occuper des finitions à temps.

## 6 Bibliographie

- <https://www.opengl.org/documentation/>, le site web de l'API d'OpenGL nous a permis d'assimiler les bases de ce logiciel afin de manipuler aisément les fonctions utiles à notre projet.
- <https://openclassrooms.com/courses/creez-des-programmes-en-3d-avec-opengl/introduction-a-opengl>, le site d'OpenClassRoom permet de comprendre pas à pas l'implémentation et l'utilité des fonctions du logiciel OpenGL. C'est un cours sur l'Introduction à OpenGL.
- <https://openclassrooms.com/courses/developpez-vos-applications-3d-avec-opengl-3-3>, le site d'OpenClassRoom possède un autre cours sur l'apprentissage du logiciel de modélisation OpenGL. Le chapitre sur les textures a été particulièrement suivi pour comprendre comment appliquer une texture à une quadrique.
- <http://nehe.gamedev.net/>, le site de NeHe Productions comprend un tutoriel sur le logiciel à manipuler OpenGL.
- M.HASCOËT, "*Petite documentation d'OpenGL*", Projet de Programmation pour la L2 - Informatique (TERL2), **2004-2005**. Cette documentation sur OpenGL explique les différentes fonctions d'OpenGL ainsi que leur rôle et leur utilisation. Des exemples permettent, de plus, de mieux comprendre leur manipulation.
- [http://mperriss.free.fr/opengl/Guide\\_2D/texte.htm](http://mperriss.free.fr/opengl/Guide_2D/texte.htm), ce tutoriel explique comment afficher du texte avec OpenGL afin qu'il soit visible par l'utilisateur sur l'écran.
- [www-evasion.imag.fr/Membres/Antoine.Bouthors/teaching/opengl/opengl2glut.html](http://www-evasion.imag.fr/Membres/Antoine.Bouthors/teaching/opengl/opengl2glut.html), ce site permet de comprendre comment utiliser OpenGL avec GLUT.