



Le génie pour l'industrie

SYS840- Graphisme et synthèse d'images

Rapport de contribution pédagogique

À Montréal, le 07/12/2022

Victor Rios

Introduction :

De nos jours, les images de synthèse sont omniprésentes dans notre quotidien. La 3D nous permet de visualiser quelque chose qui n'existe pas ou qui est impossible à voir. Industrie, commerce, médecine, archéologie... Autant de domaines qui font appel à l'infographie 3D et qui se retrouvent bouleversés par ces possibilités innovantes d'avenir. Ainsi, nous allons découvrir, à travers le logiciel Maya, comment on parvient à créer une scène en 3D et les techniques qui se cachent derrière la synthèse d'image.

Enjeux :

A travers cette contribution, mon objectif était de développer des compétences pratiques en graphisme 3D, directement liées aux compétences théoriques que j'ai acquises en cours.

Un enjeu important dans mon devoir est que je commence à travailler avec la Société des arts technologiques de Montréal (SAT). Mon objectif sera de détecter et traquer de multiples personnes dans une foule pour ensuite les modéliser en 3D. Ainsi, cette première expérience avec les outils d'infographie 3D me permettra de mieux appréhender mes travaux futurs. De plus, j'ai choisi l'outil Maya car c'est un logiciel professionnel largement utilisé dans le domaine et à la pointe des dernières techniques.



Plan :

Mon plan reprend chacune des étapes de la synthèse d'image vu en cours :

- I. **Définition et organisation de la scène**
- II. **Modélisation géométrique de la scène 3D**
- III. **Animation**
- IV. **Illumination**
- V. **Application des textures**
- VI. **Positionnement des objets et transformations**
- VII. **Position de la caméra**
- VIII. **Visualisation 3D : rendu**

Modélisation
géométrique



Illumination



Point de vue



Calcul de l'image

I) Définition et organisation de la scène

La première étape dans la synthèse d'image est de définir le contexte de la scène. Dans mon cas, j'ai choisi une impasse urbaine de style japonaise de nuit, car elle possède un potentiel créatif me permettant d'intégrer une multitude d'éléments techniques à la scène.

La première étape fut de trouver les bonnes références sur internet. J'ai donc choisi l'image ci-contre me permettant d'intégrer des reflets spéculaires et des effets de lumières intéressants.

J'ai ensuite définis plus précisément chacun des objets que j'allais modéliser. L'important dans la recherche de références est de trouver et conserver une direction créative dans le projet tout en laissant libre cours à sa créativité.



Référence de rue japonaise



Référence de néons (ramen en japonais)



Référence de lampadaire

Référence de lampe japonaise



II) Modélisation géométrique de la scène 3D

La modélisation géométrique des objets de la scène peut être effectuée en utilisant différentes techniques. En effet, chacune des techniques permet de modéliser la forme souhaitée en fonction des contraintes.

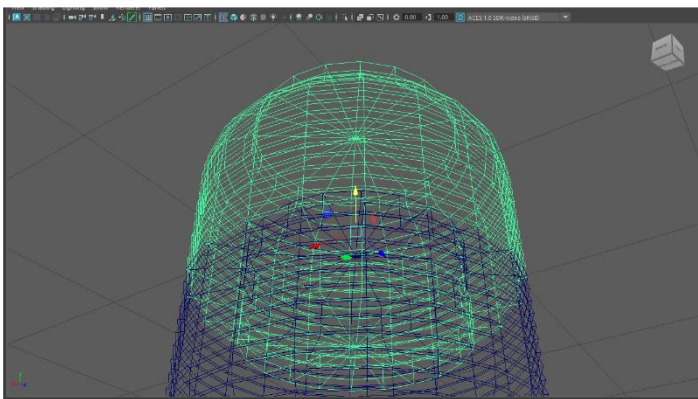
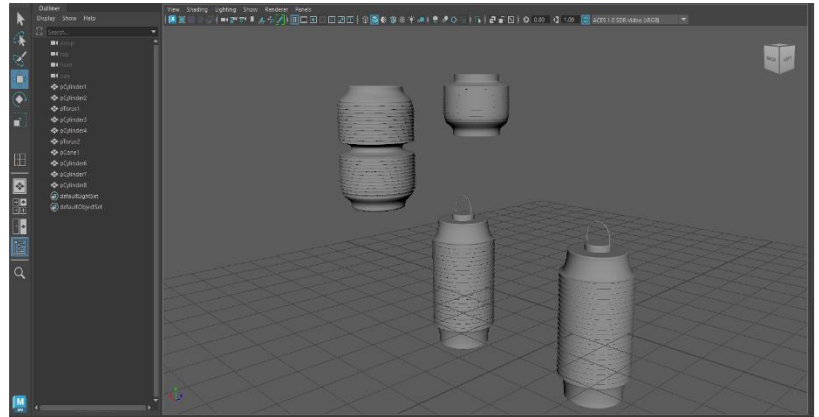
Ainsi, j'ai largement utilisé la modélisation 3D par déformations de primitives. Sur Maya, ces primitives sont des modèles B-rep qui respectent 3 règles bien définies :

- Corps fermés : les surfaces recouvrent l'objet en entier, sans aucune arête libre
- Faces orientées : les sommets du mesh sont ordonnés

- Ses arêtes sont partagées par au moins deux surfaces

On peut ensuite appliquer autant de déformation souhaitée pour modeler notre primitive en l'objet souhaité. Ces déformations sont effectuées par des transformations géométriques translation/rotation/mise à l'échelle des faces, edges ou vertex.

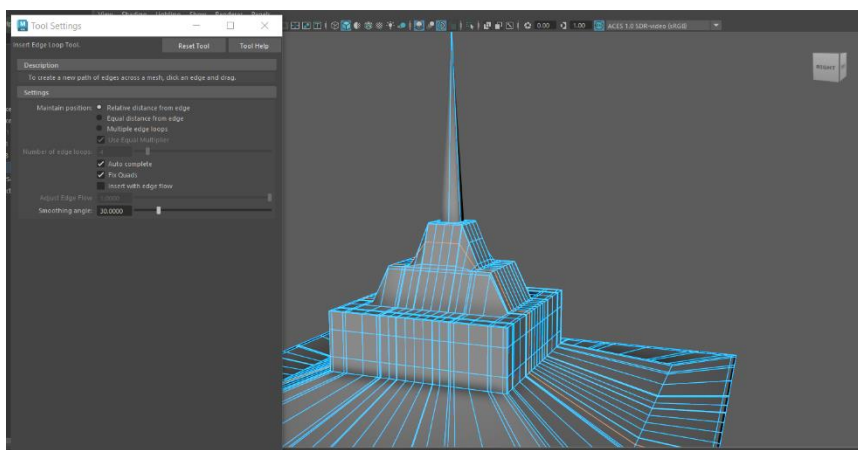
On peut remarquer que j'ai utilisé une primitive cylindrique pour modéliser les lanternes ci-contre. J'ai pu les modéliser par transformations géométriques linéaires et les dupliquer en ajoutant des détails pour avoir rapidement 3 lanternes différentes.



On peut également observer le modèle filaire (wireframe) décrivant chacun des vertex, edges et faces présents dans le modèle 3D et mieux comprendre les déformations qu'ils ont subies.

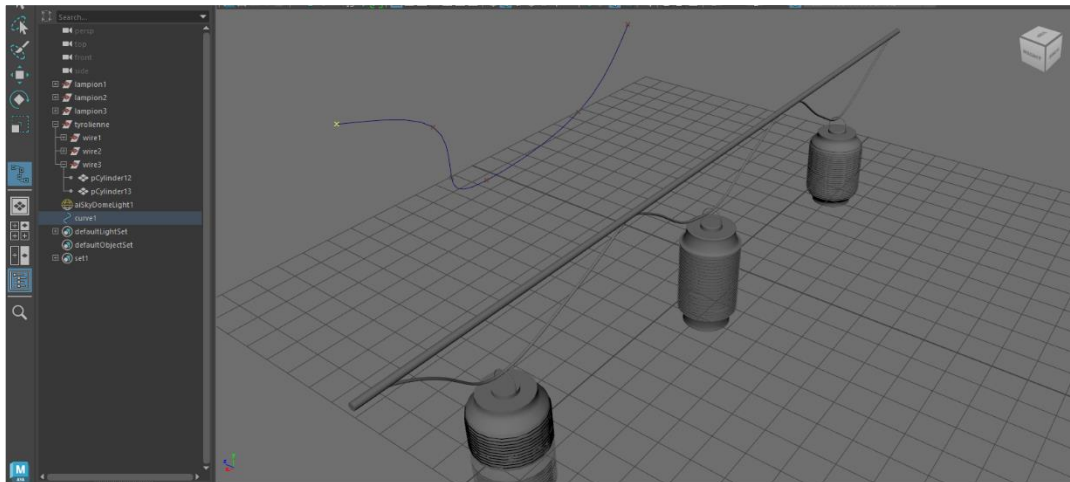
J'ai également utilisé une technique consistant à creuser dans la matière et à créer de la matière, c'est le principe de l'extrusion, outil largement utilisé dans la modélisation 3D.

Afin de répondre à des contraintes de formes et de bordures précises, j'ai eu recours à l'outil Insert Edge Loop Tool de Maya. L'outil permet d'ajouter de nombreuses subdivisions au mesh afin de durcir ses arêtes. Enfin, cela permet de modéliser les contours de la façon désirée en lissant les polygones d'un objet, cette opération est appelée smooth.



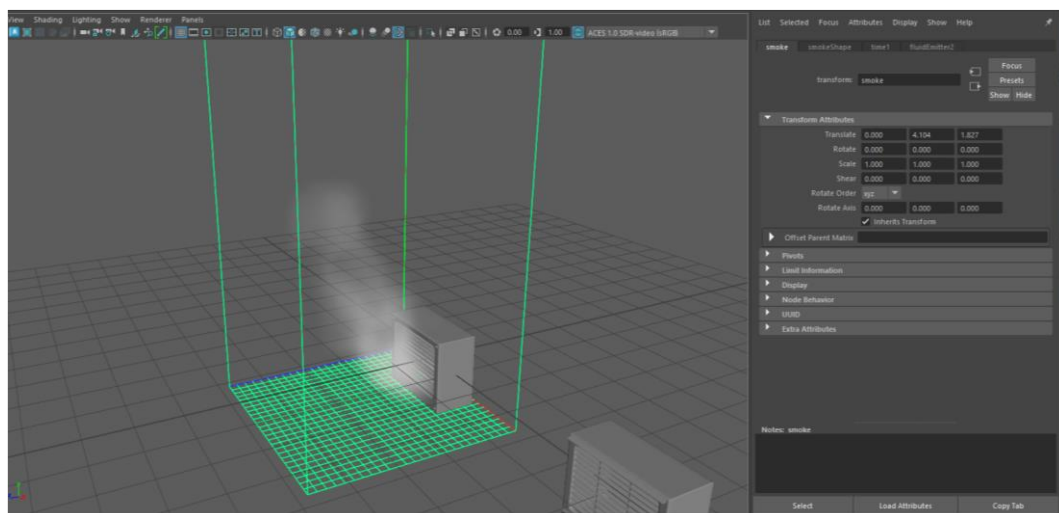
Outil Insert Edge Loop Tool de Maya

De plus, une partie intéressante à explorer dans ma modélisation fut la création d'une corde de forme d'arc de cercle irrégulier. Afin de reproduire un arc de cercle, on peut utiliser une courbe b-spline non-uniforme rationnelle (NURBS). Le principe repose sur la création d'un ensemble de points le long de la courbe que l'on peut déformer par transformations linéaires pour ensuite modéliser une primitive cylindrique autour de la courbe et reproduire l'arc de cercle.



Modélisation par une courbe b-spline non-uniforme rationnelle (NURBS)

Enfin, pour créer des nuages de fumées on a utilisé la modélisation procédurale. C'est-à-dire que le logiciel va calculer un nuage de particules de fumée et leur interactions les unes avec les autres. Cela peut être effectué avec l'outil 3D fluid de Maya. On constate alors une croissance progressive de l'objet en fonction du temps bien que chacune des particules et leur nombre soient définis à l'avance dans l'algorithme. Ceci ma permit de créer deux types de fumées différents : fumée et vapeur.

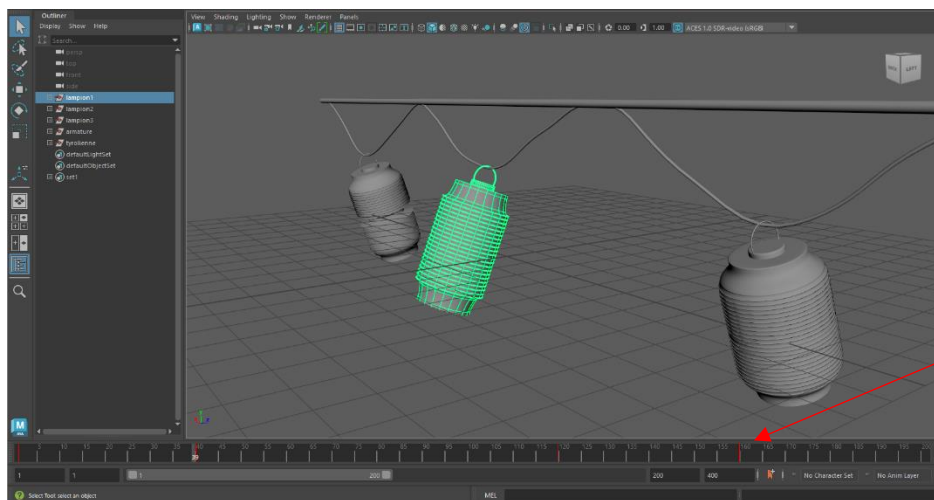


Modélisation procédurale de particules de fumées

III) Animation

La technique la plus utilisée pour l'animation des corps 3D rigides est l'interpolation par positions clés (keyframing). Le principe est le suivant, on génère les positions clés dans lesquels on veut que l'objet se trouve à un certain instant donné puis on génère automatiquement les positions intermédiaires de l'objet.

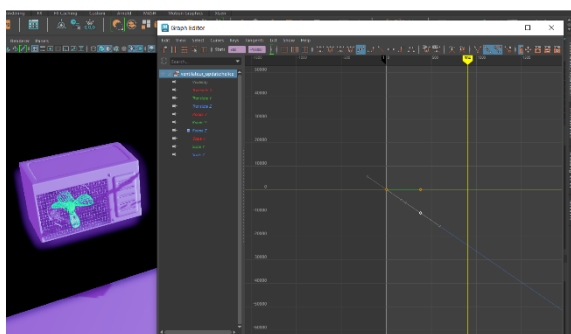
En effet, sur les logiciels d'animation 3D tel que Maya, les inbetweeners humains sont remplacés par des algorithmes d'interpolation linéaires qui permettent d'interpoler les positions intermédiaires entre 2 clés d'animation. Certaines règles doivent cependant être respectées, les textures des objets ne doivent pas être affectées et les relations entre les parties d'un objet articulé doivent être conservées.



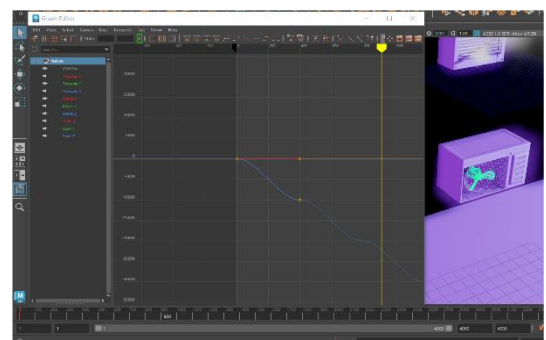
Interpolation par positions clés (keyframing)

Dans notre scène, pour l'animation des hélices du ventilateur, on peut définir une frame pour laquelle l'hélice possède une rotation sur $x = 0$ et en frame 400 une rotation $x = 10000$, ainsi l'hélice fera 10000 tours entre ces deux frames et l'interpolation linéaire entre ces deux positions donnera l'effet de mouvement à l'hélice.

On peut également utiliser le Graph Editor de Maya pour boucler les animations à l'infini et définir leur comportement (oscillation...).

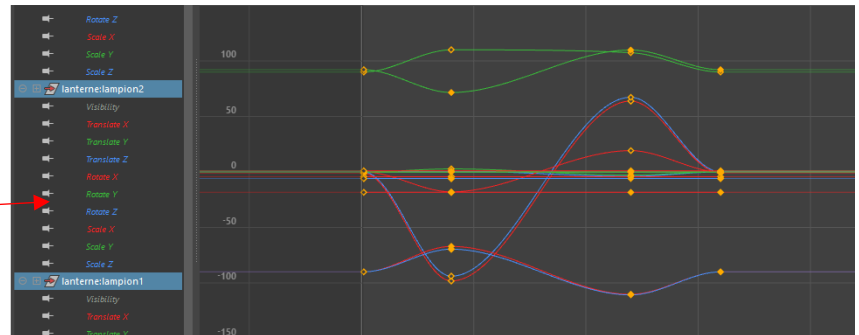


Bouclage de l'animation à l'infini



Ajout d'oscillations au mouvement

On remarque sur le Graph Editor l'ensemble des transformations géométriques appliquées sur les objets



Enfin, un défi intéressant en animation est de simuler le mouvement de la fumée. Pour cela, on utilise une simulation dynamique, le logiciel va alors proposer un modèle de particules. L'algorithme se base donc sur des modèles physiques pour générer l'animation.

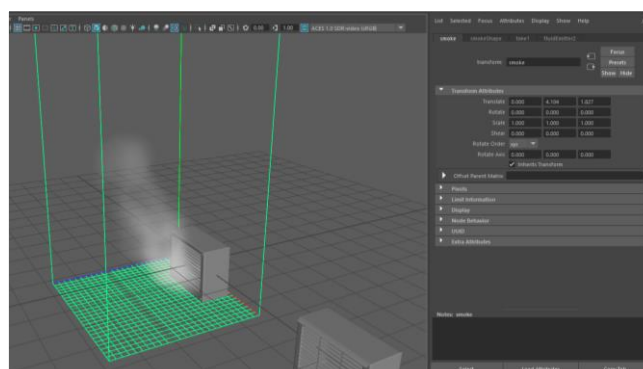
Ainsi, chaque particule de fumée possèdera des propriétés physiques :

- Une masse
- Un moment d'inertie
- Une élasticité
- Une position et vitesse initiale

Mais également des paramètres dans le logiciel permettant une simulation fluide et une minimisation du temps de calcul :

- Génération et conditions initiales
- Durée de vie
- Attributs (couleur, attraction, répulsion)
- Script de mouvement
- Lois simples selon l'environnement

Ainsi, on pourra simuler un mouvement de fumée réaliste. Les boites de collision des particules leurs permettent des interactions réalistes entre-elles et avec les objets environnants. L'outil 3D fluid de Maya m'a permis de créer ce modèle de particules en lui donnant un vecteur vitesse à l'initialisation, un balayage (sweep), bruit (noise) pour simuler le vent sur la fumée et d'une gravité négative pour la faire monter vers le haut.



IV) Illumination

L'illumination d'une scène consiste à éclairer ses éléments pour lui donner de la lumière, des reflets et des ombrages. L'illumination globale permet de simuler l'ensemble des interactions lumineuses produites dans une scène virtuelle (propagation et interactions lumières/matières) et ainsi proposer un rendu photo-réaliste. On parle également d'illumination indirecte comprenant l'illumination directe, nous allons voir en détail comment le mettre en œuvre sur Maya.

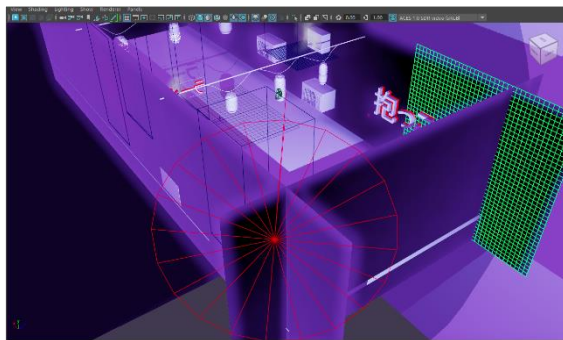
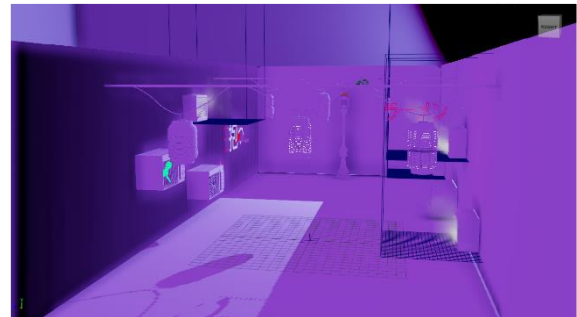
Cette illumination implique l'apparition de deux types de lumière :

- La lumière diffusée : considérée comme ayant pénétré sous la surface de l'objet, absorbée puis retransmise
- La Lumière spéculaire : réfléchiée par la surface de l'objet agissant comme un miroir (tâche brillante de la couleur de la source lumineuse)

Nous avons dans notre cas mis en place 2 types d'illumination directe :

- Un dôme de lumière diffuse (Skydome) bleu foncé pour donner une lumière ambiante et un effet nuit en éclairant un minimum l'ensemble de la scène

Lumière diffusée et ombrages

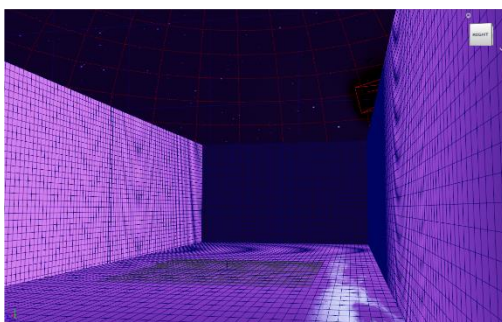


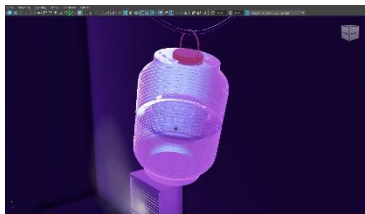
- Une lumière directionnelle de la lune vers le centre de la scène pour profiter du lancer de rayon et des ombrages. L'ajout d'effets atmosphériques tel que du brouillard ont permis un effet réaliste de cette lune

Simulation de la lune

On peut également apercevoir sur la route mouillée des réflexions spéculaires qui dépendent de la position de l'observateur (illumination indirecte).

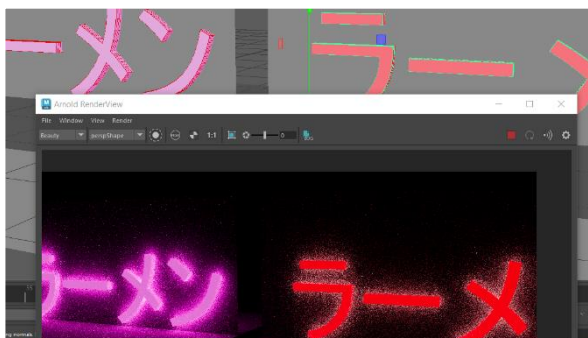
Preview et rendu de lumière spéculaire





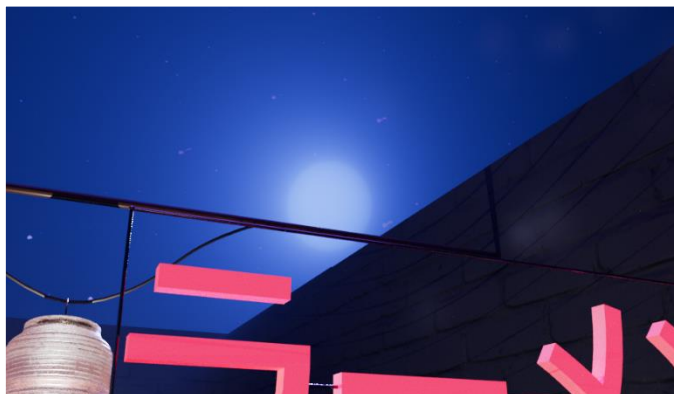
Enfin, j'ai utilisé des lumières cachées dans les lanternes avec une transparence du mesh pour laisser passer la lumière et donner un effet glow.

La modélisation des néons m'a permis de découvrir l'outil mesh light qui crée une illumination directement à l'intérieur de l'objet.



Pour finir, j'ai limité l'arbre de tracé de rayons à 3 branches (réfléchis et réfractés) pour permettre un certain degré de réalisme tout en conservant des temps de rendu décents.

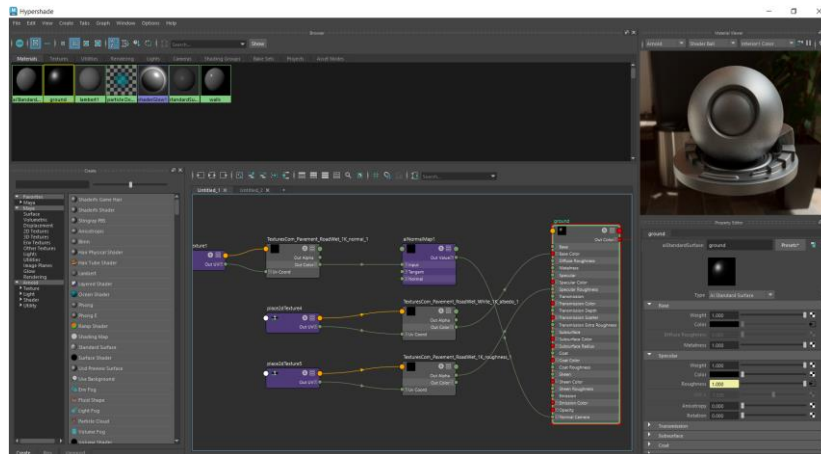
Exemples de rendu de la scène



Effet chrome spéculaire

V) Application de textures

En ce qui concerne les textures, sur Maya on utilise un plaquage de texture 3D. L'outil Hypershade permet d'appliquer autant de textures et de map sur le mesh souhaité.



Outil Hypershade de Maya

On peut ainsi appliquer sur l'objet :

- Une couleur : color map/albedo map
 - C'est une texture fixe définie en chaque point (x,y,z) de l'objet et qui couplé au bruit de Perlin donne un résultat réaliste
- Une perturbation de la surface : normal map/bump map
 - Celle-ci modifie la géométrie de l'objet en donnant un effet de relief étant couplé à l'illumination de Phong
- Une rugosité : roughness map
 - Elle donne une rugosité à l'objet
- Une transparence : en modifiant directement les propriétés du mesh
 - Ceci nous permet notamment de créer des objets translucides ou transparent
- Des reflets : specular map
 - Elle communique des informations sur les interactions entre la matière de l'objet et la lumière. Elle permet notamment les reflets spéculaires visibles sur la route
- Du bruit : en modifiant directement les propriétés de la color map (noise)
 - Ce paramètre génère une perturbation stochastique du domaine 3D et peut donner des effets de perturbations harmoniques ou au contraire rendre une texture non uniforme la rendant plus réaliste (utilisé également sur la route)



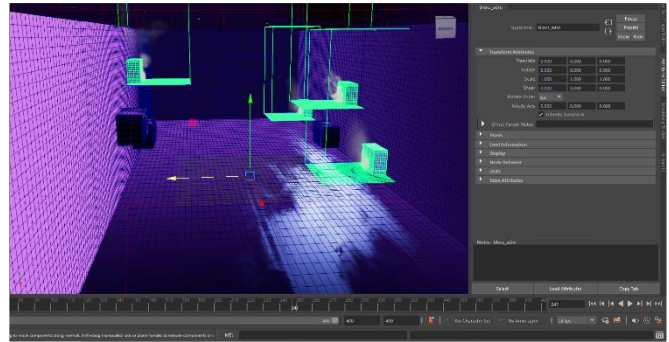
Rendu du bruit et des reflets spéculaires

VI) Positionnement des objets et transformations

L'étape suivante consiste à merger l'ensemble des scènes contenant les objets indépendamment dans la scène finale. On remarque que le format .ma de Maya qui est un dérivé du format .obj permet de porter des informations de géométrie, d'éclairage, de texture, d'animation et de rendu d'une scène 3D à l'autre sans conflits.

On peut alors placer à notre guise les éléments dans la scène par transformations linéaires :

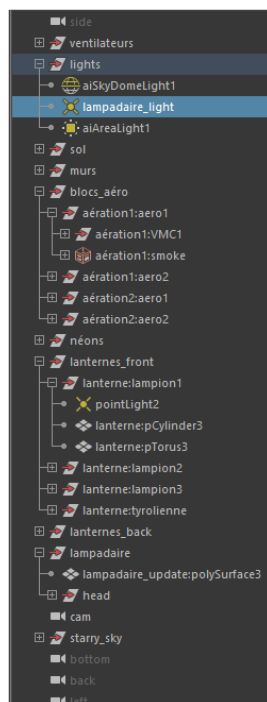
- Translation
- Rotation
- Mise à l'échelle



Cela rend la duplication et le mouvement des objets très facile tout en contribuant au peuplement de la scène final.

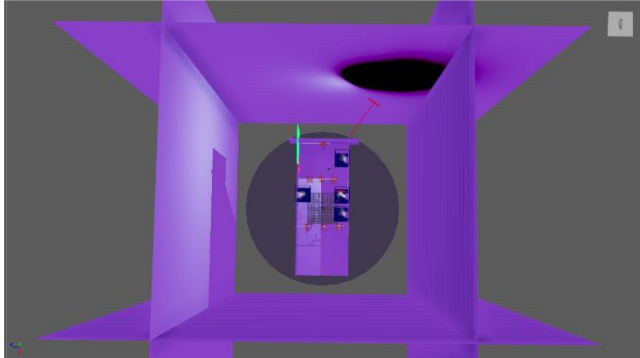
Cependant, on remarque parfois un problème évoqué en cours lors de la mise à l'échelle. En effet, le problème ici est la translation de l'objet dû au problème de repositionnement nécessaire du centre de rotation au centre de l'objet (outil freeze transform sur Maya)

D'ailleurs, ce positionnement de centre de rotation de l'objet m'a été utile pour animer les lanternes et les faire se balancer autour de la corde qui les retiens plutôt qu'autour de leur centre même.



L'outil Outliner de Maya nous fournit directement le graphe de scène

Pour finir, j'ai utilisé une astuce largement utilisé dans le rendu 3D pour économiser des ressources et du temps de rendu, c'est l'incrustation d'images de décor pour donner l'illusion d'objet 3D. Ainsi, les objets très lointains dans le décor peuvent être remplacé par des images en 2D qui avec la bonne illumination, propose un résultat très réaliste.



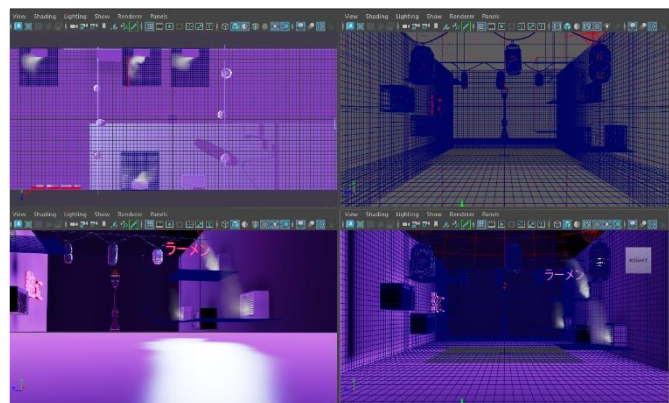
Décor d'étoiles

C'est ce que je propose en entourant mon environnement de plan 2D

VII) Position de la caméra

Maya propose l'ensemble des projections de visualisation pour faciliter la modélisation et l'illumination des scènes.

Ainsi, on peut observer une scène à travers une projection perspective ou parallèle.



Projection perspective et parallèle

Afin de visualiser l'ensemble de la scène lors du rendu de la scène, j'ai utilisé un travelling caméra opéré par une animation keyframing. Ce résultat donne un enchainement des plans fluides et un mouvement linéaire de la caméra, parfait pour une présentation. Cependant, j'aurais pu utiliser une interpolation par spline de type NURBS afin de contrôler la forme du mouvement de la caméra. L'ensemble de ces techniques d'animation nous permettent de contrôler les mouvements de la caméra mais également son orientation et comportement.



Travelling caméra et sa frise d'animation

Clés d'animation

VIII) Visualisation 3D : Rendu

Le rendu est l'étape finale de la synthèse d'image, il permet de simuler l'ensemble des interactions lumineuses produites dans une scène virtuelle et ainsi proposer un rendu photo-réaliste. Le moteur de rendu de Maya, Arnold, utilise le Monte-Carlo ray/path tracing, pour représenter avec précision l'illumination directe, l'ombrage, les réflexions spéculaires ainsi que les réfractions des objets transparents.

- Ray-tracing (lancer de rayons) : La méthode du lancer de rayons est facile à mettre en œuvre et est ainsi largement utilisé en synthèse d'images. Elle simule les lois de l'optique (trajet/réflexion/réfraction) cependant dans cette méthode on se base sur un processus inverse au sens physique du trajet de la lumière. En effet, le but est de reconstituer le parcours inverse de la lumière (de l'observateur vers la source).

En effet, simuler les trajectoires de photons émis par une source lumineuse serait beaucoup trop coûteux en temps de calcul, ici on ne considère que ceux qui entrent dans l'œil de l'observateur, ceux requis pour construire l'image.

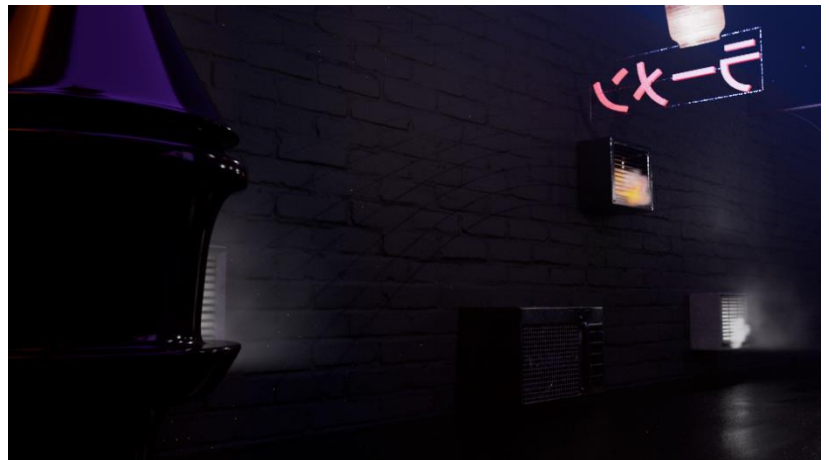
Le principe géométrique repose sur :

- Déterminer l'intersection des rayons avec les objets contenus dans la scène
- Calculer les interactions lumière-matière (éclairage/réflexion/réfraction...)
- Résultat : simulation de lumière diffuse et spéculaire

Cette méthode de rendu m'a permis d'effectuer le rendu de plusieurs frames pixel par pixel RGB avec toutes les interactions lumineuses des ces derniers et cela demande beaucoup de calculs.

Enfin, un anti-aliasing ou anticrénelage a été appliqué pour éviter le morcellement des arêtes, celui-ci est fait sur Maya par une série de méthodes d'over-sampling et de moyennage de pixels.

Rendu final des frames de la scène



Conclusion :

Ainsi, ce projet est pour moi une réussite car j'ai pu remplir les objectifs que je m'étais fixés en réalisant ce projet. J'ai pu découvrir et mettre en application chacune des étapes de la synthèse d'image.

J'ai pu acquérir les compétences pratiques que je recherchais et qui sont directement en lien avec la théorie que j'ai apprise en classe.

Enfin, j'en garde une très bonne première expérience pour mes projets futurs.

Références :

- Thierry Cresson, (Automne 2022), *Cours SYS840 : Graphisme et synthèse d'images*
- Maya, (2022), *Maya documentation* :
<https://knowledge.autodesk.com/support/maya/getting-started/caas/simplecontent/content/maya-documentation.html>

