

Université Paris 8

Master Création Numérique

parcours : Arts et Technologies de l'Image Virtuelle

Système de création et de génération de nuage volumétrique photo-réaliste

Slimani Camélia

Mémoire de Master 2

2015 - 2016

Résumé

Un nuage est un phénomène physique intéressant en raison de sa présence quasi constante au-dessus de l'atmosphère terrestre, son allure changeante au grès du temps et ses formes infinies laissant place à notre imagination. Il fait sûrement partie de l'un des sujets les plus étudiés dans le domaine de la science, tout comme le ciel qui a, pendant des siècles, été un sujet de fascination pour un grand nombre de physiciens, mathématiciens et artistes, obsédés par la cause de la couleur bleue du ciel le jour et orange au lever et coucher du soleil.

De plus, il est étonnant de constater que la problématique des nuages (volumétriques ou 2D) est aussi présente dans de nombreuses sociétés de production. Il fait aussi l'objet de plusieurs sujets de recherche dans le domaine de l'image de synthèse. En effet, ce sujet amène à réfléchir au système à mettre en place dans le but de reproduire ce phénomène qu'est le nuage.

Élaboré grâce aux logiciels et outils de création 3D, ce système réunirait les différentes étapes de création d'un nuage volumétrique et aurait pour but principal d'avoir un résultat visuel et une allure aussi photo-réaliste que possible. Prenant en compte ce critère, d'autres, plus techniques, sont tout aussi intéressants tels que l'interprétation des données et des caractéristiques obtenues lors des différentes recherches réalisées au préalable ainsi que leur impact dans la réalisation de ce système et enfin la réflexion sur l'intégration de celui-ci dans un pipeline de société de production.

Abstract

A cloud is an interesting physical phenomenon because of its almost constant presence above the Earth atmosphere, its different look depending on the weather and its infinite shapes giving sense to our imagination. It is certainly a part of one of the most studied subjects in the field of science, just like the sky which was during centuries a subject of fascination for a large number of physicists, mathematicians and artists obsessed by the cause of its blue color in the daytime and orange at sunset and sunrise.

Furthermore, it is surprising to notice that the problem of the clouds (volumetric or 2D) is also present in many production companies. It is also the object of several research subjects in the field of computer graphics. Indeed, this subject brings us to think about the system to be set up in order to reproduce this natural phenomenon which is the cloud.

Developed thanks to the software and the tools of 3D creation, this system would combine the various steps of creation of a volumetric cloud and would have main purpose to have a visual result and a look as photo-realistic as possible. Taking into account this criterion, others, more technical, are also interesting such as the data interpretation and the characteristics obtained during the various researches realized beforehand as well as their impact in the realization of this system and finally the reflection on the integration of this one in a pipeline of production company.

Je tiens à remercier Cédric Plessiet, Anne-Laure George-Molland, François Grassard, Chu-Yin Chen, Jean-François Jegou, Vincent Meyrueis ainsi que toute l'équipe pédagogique de la formation Arts et Technologies de l'Image Virtuelle pour leur encadrement et leur soutien tout au long de ce parcours scolaire, sans lesquels cette grande aventure n'aurait pas été possible.

Pour leur avis professionnalisant et leur connaissance pointue sur le sujet des nuages 2D et volumétriques, je tiens à remercier Nadine Dommanget, Arnaud Philippe-Giroux, Maxime Causeret ainsi que Benjamin Legros et Cyril Corvazier, tout deux développeurs du logiciel Guerilla Render.

Et enfin je tiens à remercier tous les Aticiens, ma famille et mes amis de m'avoir permis d'avancer, soutenu et encouragé durant toute cette année scolaire.

“Les nuages ne sont pas des sphères, les montagnes ne sont pas des cônes, les rivages ne sont pas des arcs de cercle, l'écorce d'un arbre n'est pas lisse et l'éclair ne trace pas de ligne droite. La nature est complexe et la géométrie fractale rend compte de cette complexité et permet de l'étudier.”

Benoît Mandelbrot

Table des matières

I/ Les nuages et ses milles facettes	7
1. Définition	7
2. Caractéristiques	7
a. Classification des nuages.....	7
b. Nébulosité.....	8
c. Densité et masse	9
3. Les lois de diffusion	10
a. Diffusion de Rayleigh.....	10
b. Diffusion de Mie.....	12
4. Nuages volumétriques	13
a. Définition.....	13
b. Apparitions dans les longs métrages	13
c. Apparitions dans les courts-métrages	16
d. Les limites.....	18
II/ L'envers du décor	18
1. Étude du marché.....	18
a. Logiciels/Plugins	18
b. Description.....	19
c. Houdini et ses outils	21
2. Les moteurs de rendu 3D	22
a. Logiciels associés	23
b. Les différents algorithmes	23
c. Les limites du ray tracing et du path tracing	23
d. Développement.....	24
3. OpenVDB.....	25
a. Définition.....	25
b. Outils et intégration	25
c. Structure de données.....	26
d. Comparaison.....	27
III/ Développement alternatif entre simulation et simulacre.....	27
1. Simulation et simulacre	28
a. Définitions	28
b. Comparaison.....	28
2. Les techniques de création	29

a.	Les courbes	29
b.	Les textures procédurales	30
c.	Les nuages de points.....	31
d.	Une base géométrique	33
3.	L'animation	37
4.	Le rendu.....	37
a.	Le matériau	38
b.	Ancienne méthode : Eclairage RVB à trois points	39
c.	Nouvelle méthode : Eclairage via les lumières directionnelles.....	40
5.	Le compositing.....	41
6.	Développement.....	43
	Conclusion.....	45

I/ Les nuages et ses milles facettes

1. Définition

La définition principale d'un nuage est la suivante : « En météorologie, un nuage est un amas compact visible, plus ou moins important, d'aspect et de forme variable, de fines particules d'eau ou de glace en suspension dans l'air, dues à la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère qui se déplace selon les courants ascendants de l'air. »¹

À savoir, « les halos produits par certains nuages élevés montrent que ces nuages sont constitués, au moins en grande partie, par des particules de glace ayant des formes cristallines »¹

2. Caractéristiques

a. Classification des nuages

Il existe 10 genres de nuages classés en fonction de leur altitude :

Les nuages les plus élevés (préfixe : Cirr ou Cirro), sont constitués de millions de minuscules cristaux de glace et comprennent les genres Cirrus, Cirrocumulus et Cirrostratus. Ils se situent entre cinq mille et quinze mille mètres d'altitude.

Ceux de l'étage moyen (préfixe : Alto), généralement constitué de gouttelettes d'eau, parfois de cristaux de glace, comprennent les Altocumulus et Altostratus. Le Nimbostratus déborde généralement dans les étages supérieur et inférieur.

Les Stratocumulus et Stratus, en grande partie composés de gouttes d'eau liquide, sont des nuages de l'étage inférieur situé jusqu'à 2 000 mètres environ. Ce sont en effet des nuages de basses altitudes, qui sont appelés brouillard lorsque ces derniers rencontrent la terre.

Enfin, les Cumulus et Cumulonimbus sont des nuages d'instabilité, leur base se situe plutôt dans l'étage inférieur ou moyen, ainsi le soulèvement convectif dû à l'instabilité de l'air permet une extension verticale élevée. Ils peuvent donc se développer à différents niveaux de la troposphère.

Il existe encore un nombre important de nuages. Pour chaque genre, il existe des subdivisions appelées « espèces ». De même, chaque espèce et chaque genre peut être divisé en variétés qui sont ainsi déterminées selon différentes caractéristiques (exclu ou non exclu mutuellement).

¹ <http://www.cnrtl.fr/definition/nuage>

Voici une image reproduisant parfaitement les différents niveaux dans la troposphère ainsi que les noms associés à chaque nuage :



Figure 1 : Image provenant du site Astrosurf

b. Nébulosité

La nébulosité est la fraction du ciel couverte par les nuages en un lieu et à un instant donné. Dans le cas où aucune mention n'est définie (genre, espèce, variété, couche ou étage atmosphérique), ce terme équivaut à la nébulosité totale et s'applique à l'ensemble des nuages dans le ciel. Dans le cas contraire, on parle alors de nébulosité partielle. Elle se mesure en Octas (division du ciel en 8 parties égales) ou en dixièmes.

- ☐ Aucun nuage
- ☐ 1 dixième ou moins de nuages mais pas absence complète
- ☐ entre 2 et 3 dixièmes du ciel est couvert
- ☐ 4 dixièmes du ciel couvert
- ☐ 5 dixièmes du ciel couvert
- ☐ 6 dixièmes du ciel couvert
- ☐ entre 6 et 7 dixièmes du ciel couvert
- ☐ 9 dixièmes du ciel couvert
- ☐ Complètement couvert
- ☒ Ciel complètement obscurci par une couche avec base à la surface ou par un phénomène obscurcissant avec base en altitude

Figure 2 : Image provenant de l'article « Météo - Introduction générale à la météo » du site Pickture

c. Densité et masse

Bien que les nuages paraissent légers vue du sol, il n'en est pas moins de leur masse. En effet, un nuage peut peser plusieurs milliers voire de millions de tonnes suivant leur type :



Figure 3 : Image provenant du site La chaîne météo

Cependant, la question qu'on se pose est comment flotte-t-il dans l'air ? En réalité, sa faible densité face à celle de l'air lui permet de flotter facilement. Comme défini plus haut, les nuages sont composés de fines particules d'eau ou de cristaux de glace (quelques centièmes de millimètre). Ces gouttelettes sont très légères et restent en suspension dans l'air, leur masse volumique est de 1,003 kg/m³ contre 1,007 kg/m³ pour l'air. Ainsi elles sont maintenues en l'air et suivant les courants verticaux ou les tourbillons à l'intérieur du nuage, les particules entrent en contact avec les particules voisines, fusionnent et gagnent donc en volume et en

masse. Au-dessus d'un certain seuil, car trop lourd pour flotter, elles sont évacuées. On appelle donc ce phénomène régulateur « la pluie ».

Lorsqu'un nuage est dense, c'est le cas lors d'un temps couvert, pluvieux ou orageux alors il ne laisse passer aucune lumière, bien qu'elle soit diffuse à l'intérieur. Cette densité, ou plus communément appelé « opacité » est la quantité d'absorption de la lumière par le nuage. Un nuage dit « transparent » est un nuage fin laissant passer la lumière facilement, ce qui laisse entrevoir le ciel bleu en fond (par exemple : les cirrus). Il existe aussi les nuages « translucides » comme les cumulus ou altocumulus qui sont plus denses et donc transmettent une portion de la lumière du soleil, ces nuages ne permettent donc pas de voir le ciel à travers.

Cette diffusion définit par la même occasion la couleur du nuage. En effet, tout comme le ciel, la couleur renvoyée dépend de plusieurs paramètres qui sont propres à chacun. Ainsi, la théorie de Mie et la diffusion de Rayleigh sont deux lois qui justifient comment et pourquoi ces phénomènes réfléchissent à la lumière.

3. Les lois de diffusion

L'atmosphère, contenant de nombreuses particules microscopiques, se comporte comme des sources lumineuses et ainsi renvoie la lumière dans toutes les directions. On dit alors qu'il y a diffusion de la lumière. Dans le cas de la diffusion de Mie et de Rayleigh, on parle de diffusion élastique, c'est-à-dire que cela se fait sans variation d'énergie, autrement dit sans changement de longueur d'onde.

a. Diffusion de Rayleigh

Cette loi, expliquée premièrement au XIX^e siècle par le physicien irlandais John Tyndall, décrit la réaction de la lumière traversant un liquide clair et possédant de minuscules particules en suspension. Les longueurs d'onde courtes, comme le bleu, étaient plus diffusées que les grandes longueurs d'onde (rouge). Ainsi, il a pu décrire la couleur bleue du ciel grâce à l'effet Tyndall.

Cependant, il n'en donna pas une description complète, ainsi le physicien anglais John William Strutt Rayleigh, a traité le sujet de manière plus approfondie et c'est ainsi que cette loi porte le nom de son auteur : la diffusion de Rayleigh.

Grâce à la formule énoncée par le physicien Rayleigh permettant de calculer la puissance du champ électromagnétique émis par la particule diffusante, il est possible de démontrer que plus la longueur d'onde est petite, plus la diffusion est importante, ainsi le bleu du ciel est diffusé seize fois plus que le rouge.

$$P = \frac{C_{ste}}{\lambda^4} \cos^2 \theta$$

θ : angle entre la direction incidente et le détecteur

λ : Longueur d'onde de la radiation incidente et de la radiation diffusée

Figure 4 : Image provenant du site Planet Terre

On remarque ainsi que la puissance dépend fortement de la longueur d'onde, car plus la valeur du dénominateur (λ , lambda) est petite plus le résultat (P) est grand.

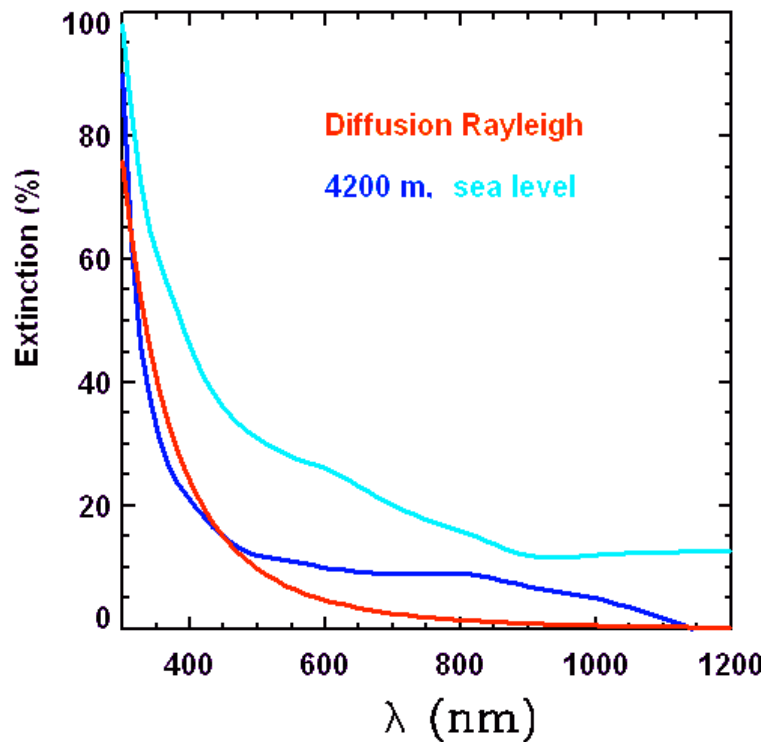


Figure 5 Crédit : Observatoire de Paris / U.F.E.

Explication : « Extinction atmosphérique moyenne au niveau de la mer et au télescope CFH (4200 m d'altitude), et diffusion Rayleigh évoluant comme l'inverse de la puissance quatrième de la longueur d'onde. La part d'absorption des poussières, de taille non négligeable devant la longueur d'onde, explique le surcroît d'absorption aux grandes longueurs d'onde visibles. »²

Des expériences permettent de prouver l'exactitude de ces informations. Par exemple, la plus simple et la plus efficace utilisent seulement quatre éléments : un récipient, de l'eau, du lait et une lampe de poche :

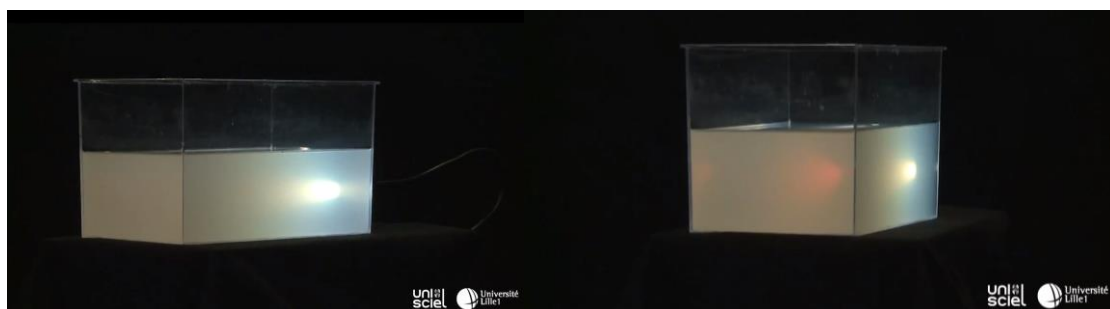


Figure 6 : Crédit Physique à la main levée

² [Observatoire de Paris / U.F.E](#)

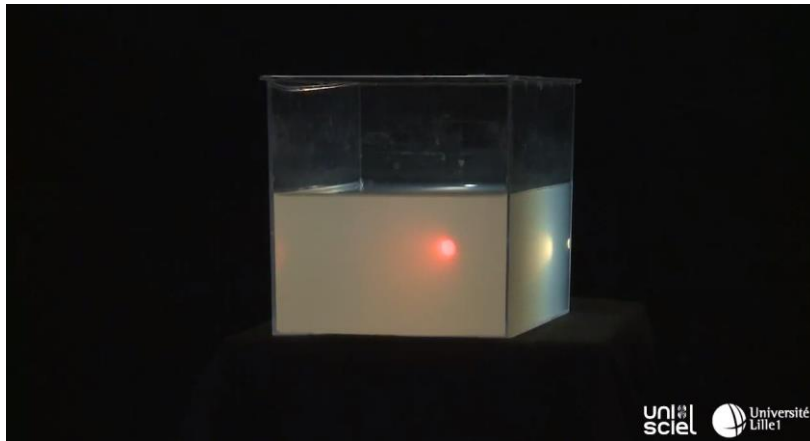


Figure 7 : Crédit Physique à la main levée

Cette expérience, aussi simple soit-elle, permet de simuler la réaction produite dans l'atmosphère. L'eau représente l'air qui nous entoure, les gouttes de lait dans l'eau agissent de la même manière que les minuscules particules qui permettent la diffusion des rayons solaires et la lampe de poche prend le rôle de l'astre éclairant (ici le Soleil).

Dans le cas du coucher de soleil, le ciel nous paraît rouge, car les longueurs d'onde plus courtes (bleu) sont diffusées sur les côtés contrairement aux grandes longueurs d'onde. En effet, lorsque le soleil est bas sur l'horizon, les rayons solaires effectuent un trajet plus long dans l'atmosphère que lorsqu'il est au zénith.

Le domaine d'application de la diffusion de Rayleigh s'applique seulement sur les particules dont la taille varie entre 0.1 nm et 10nm voire 100nm. En effet, cette loi est en réalité un cas limite d'une autre diffusion concernant les particules plus volumineuses. Cette autre loi s'appelle la théorie de Mie.

b. Diffusion de Mie

Lorsque la taille des particules est très grande devant la longueur d'onde, la diffusion de Rayleigh laisse place à la diffusion de Mie, aussi appelée théorie de Lorentz-Mie (voir figure 3). Tout d'abord, on doit ce nom à Ludvig Lorenz, physicien danois, qui lui donna sa première forme au début du XXe siècle, en 1908. Gustav Mie, physicien d'origine allemande, redécouvrit cette loi qui permet ainsi de décrire l'interaction de la lumière avec une particule sphérique.

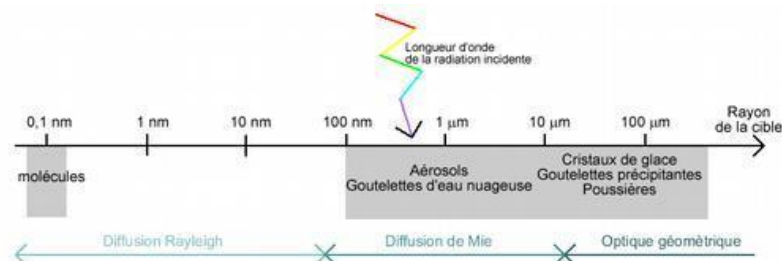


Figure 8 : Image provenant du site Planet Terre

On dit alors que « *La diffusion de la lumière par les gouttelettes des nuages selon la théorie de Mie se fait surtout vers la direction d'où vient la lumière et dans la direction où elle va, c'est la luminance du nuage* ». ³

Ainsi, l'éclairage principal est réalisé par l'astre éclairant (soleil ou lune) ou du ciel, elle peut aussi provenir de la surface terrestre. La blancheur du nuage est maximale lorsque l'observateur dirige son regard sur un axe aligné avec l'axe éclairant. Autrement, il ne perçoit qu'une fraction de la luminosité.

Nous reviendrons un peu plus tard sur cette théorie lors de l'étude d'un shader réalisé sur Houdini par Matt Ebb et qui reprend les caractéristiques physiques de cette loi de diffusion.

4. Nuages volumétriques

a. Définition

Un nuage volumétrique représente un nuage 3D, avec une position et des dimensions spatiales. Il est composé de plusieurs voxels (contraction de « volumetric pixel »), c'est-à-dire de pixels 3D. Chaque voxel possède plusieurs valeurs telles que la densité, l'opacité et la couleur et a des coordonnées bien précises dans la matrice (grille) tridimensionnelle qu'il occupe. Ainsi on définit la taille de cette grille de la façon suivante : Largeur x Hauteur x Profondeur. L'avantage des nuages 3D est de pouvoir passer à travers, le faire interagir avec un objet/ des personnages, les animer et les déplacer dans un espace 3D. Il existe un nombre assez conséquent de méthodes de création de nuages volumétrique. Suivant les domaines, les supports ainsi que les critères artistiques il est possible d'obtenir des résultats assez convaincants.

b. Apparitions dans les longs métrages

Les sociétés américaines de production de films en image de synthèse telle que Disney-Pixar, DreamWorks Animation, ainsi que Blue Sky qui est un studio d'animation américain et enfin TeamTO, un studio d'animation français ont implémenté leur propre système de nuage volumétrique dans leur pipeline. Selon les besoins il est intégré de manière intégrale ou partielle. Ainsi, de nombreux documents techniques, généralement écrits en anglais, indiquent la manière dont ils créent leur nuage allant du plus accessible au plus complexe. Grâce à ceci, et en fonction des documents, on remarque une certaine similarité sur le workflow utilisé.

Au fil des années on remarque une nette amélioration sur l'aspect technique, les systèmes et outils développés deviennent de plus en plus performants, les logiciels évoluent et permettent plus de libertés aux graphistes et aux développeurs. Sur l'aspect graphique, les détails sont travaillés de telle sorte que le nuage volumétrique créé se rapproche le plus que possible au nuage physique/réel. Ceci dépend de la touche artistique que l'entreprise souhaite apporter, allant du style cartoon au style photo-réaliste. En effet, les nuages peuvent être reproduits de plusieurs façons dans le domaine du numérique.

³ <https://fr.wikipedia.org/wiki/Nuage>

Voici quelques exemples de film où figure des nuages volumétriques :



Madagascar 2 (2008)



Avatar (2009)



Dragons (2010)



Puss in Boots (2011)



Rio (2011)



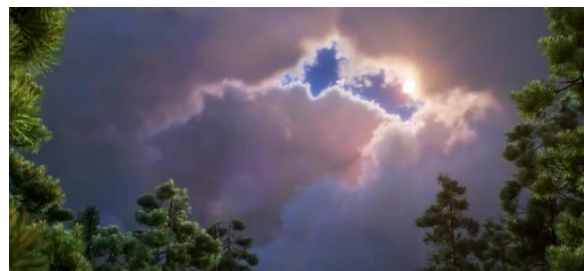
Dragons 2 (2014)



Gus petit oiseau, grand voyage (2014)



Pan (2015)

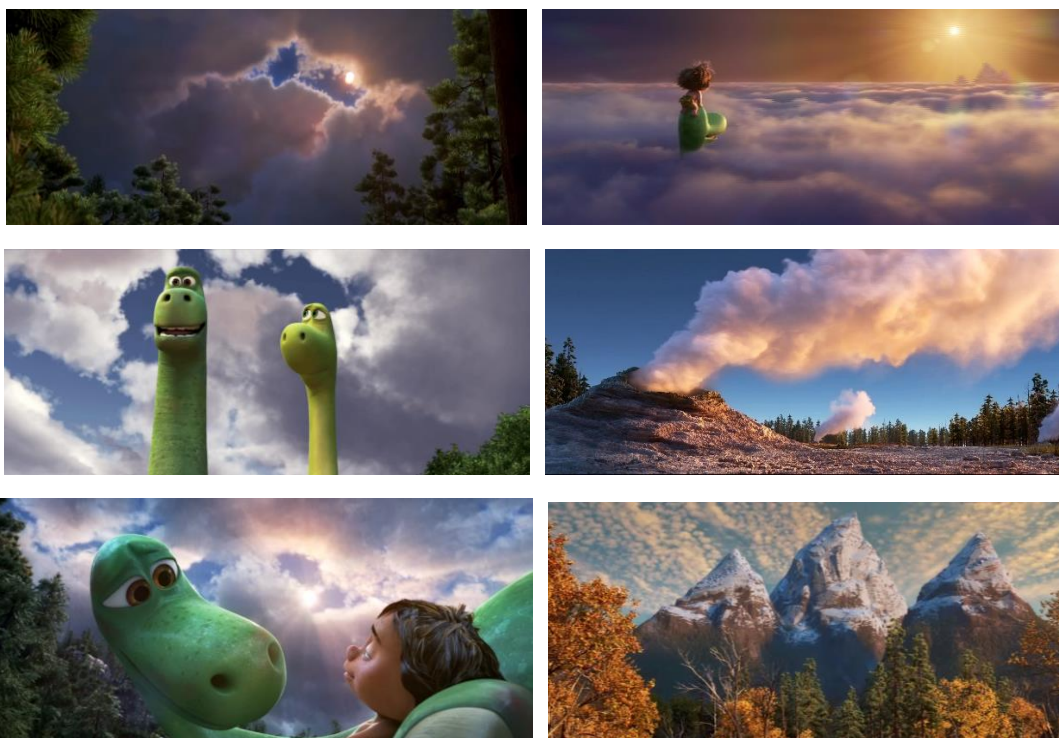


Le Voyage d'Arlo (2015)

Prenons l'exemple du film d'animation *Le Voyage d'Arlo*, sous le titre original *The Good Dinosaur* :

Le synopsis du film reste assez simple, si l'astéroïde n'avait jamais heurté notre planète, comment serait la vie sur Terre ? Ce film raconte l'histoire d'un dinosaure prénommé Arlo, un jeune dinosaure maladroit et craintif qui va faire la rencontre d'un compagnon sauvage assez insolite qui s'appelle Spot. Tous deux vont vivre de nombreuses épreuves et aventures dans un monde peuplé d'animaux préhistoriques.

Après avoir vu la bande-annonce, je fus totalement bluffée par la qualité, le rendu et le réalisme des nuages. Ainsi, dès la sortie du film au cinéma, le 25 novembre 2015 je me suis empressée d'y aller. Voici quelques extraits :



Avec un budget estimé à 200 millions de dollars dont 100 millions seraient investis dans le marketing, il n'a jusqu'à présent engrangé « seulement » 266 millions de dollars, « *le plus petit score de Pixar au box-office mondial* » selon un article sorti en janvier 2016 par le magazine *Premiere*.

Il est difficile de croire que ce film fut un « échec », malgré le fait que Pixar n'ait pas rentabilisé leur investissement, *Le voyage d'Arlo* a obtenu 1 prix et 4 nominations dans les festivals. Nominé dans la catégorie des « Avant-premières » par le Festival du Film d'Animation d'Annecy 2015 (Édition 55), il fait aussi partie des meilleurs films d'animation par le Golden Globes 2016 (Édition 73) et Producers Guild of America Awards 2016 (Édition 27). Enfin, il est nominé par les Annie Awards 2016 (Édition 43) dans la catégorie des meilleurs films d'animation et remporte par la même occasion le prix des meilleurs effets animés pour un film d'animation.

Ce film prouve qu'il est toujours possible de dépasser les limites du photo-réalisme dans le domaine de l'image de synthèse. Les effets spéciaux sont époustouffants (les nuages, l'eau, etc.), l'environnement et les paysages aussi. Ce film n'a pas été choisi en tant qu'exemple par

hasard. J'ai choisi de développer un peu plus sur ce film, car il correspond concrètement au résultat que je cherche à obtenir visuellement. Des nuages volumétriques qui possèdent les mêmes critères visuels qu'un nuage dans le ciel, comprenant aussi les caractéristiques liées à l'animation, la dispersion des nuages, les phénomènes physiques, et surtout l'intégration de ceux-ci dans l'environnement, car leur but était de reproduire de manière réaliste le décor du film avec une touche un peu plus cartoon pour les personnages.

c. Apparitions dans les courts-métrages

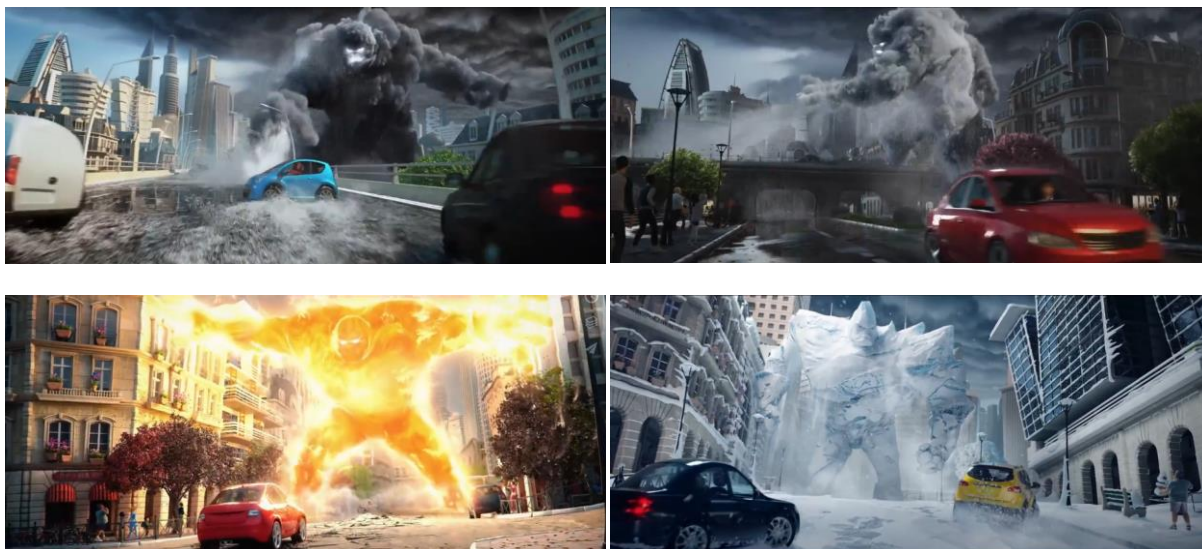
Les nuages volumétriques sont aussi présents dans les courts-métrages tels que des publicités ou les cinématiques de jeux vidéo. *The Mill*, société américaine de postproduction, a été contacté pour réaliser les effets spéciaux de la publicité *Guinness Cloud - Made of More*. Ils avaient pour but de créer un nuage qui interagit avec le monde qui l'entoure.



Cela commence donc avec une mer de nuage, visiblement créée en matte painting, un bout se détache et crée ainsi un cumulus que l'on va suivre tout au long de cette publicité. Plusieurs éléments sont intéressants comme l'animation du nuage, l'interaction entre le nuage et son environnement, les câbles hautes tensions qui électrifie le nuage, le feu tricolore qui colorise le nuage de l'intérieur, de même lorsqu'il essaye de rentrer dans le parking et qui, au contact du

bord, crée des éclairs et enfin à la vue d'un incendie, il génère de la pluie pour aider les pompiers à éteindre les flammes. Ici, le nuage est un élément conducteur, libre et indépendant, il est utilisé pour vanter les valeurs de la marque.

Un autre exemple de court-métrage provenant de *Unit Image*, société de postproduction basée à Paris, concerne celle de la publicité Michelin :



Cette publicité, entièrement réalisée en image de synthèse, montre la robustesse des pneus Michelin avec pour phrase d'accroche « Face à une météo imprévisible, comment rester hors de danger ? ». Ainsi 3 monstres représentant un nuage d'orage, le feu et la glace sont utilisés pour représenter les phénomènes météorologiques comme la pluie, la sécheresse et la neige (ou le verglas).

Si on se concentre un peu plus sur le cas du monstre d'orage, on remarque assez rapidement que c'est du volumétrique. Il est possible grâce à l'image de synthèse de rendre n'importe quel objet 3D en volume, nous y reviendrons un peu plus tard sur les techniques utilisées. Les détails de ce personnage tels que : les couleurs utilisées, les éclairs qui surgissent par moment, l'eau qui sort de ses mains et sa prestance sont des caractéristiques que l'on retrouve dans un nuage d'orage. Par la même occasion, on pourrait penser que les nuages d'orages dans le ciel pourraient être aussi du volumétrique, mais il semblerait que ceux-ci soient du matte painting éclairé en compositing, voici quelques images provenant de la bande démo de Arnaud Philippe-Giroux, digital matte painter depuis 8 ans.



Ceci introduit donc la problématique du choix technique à prendre entre la prise de vue réelle, le volumétrique ou le matte painting.

d. Les limites

Toutefois l'utilisation des nuages volumétriques a ses limites, d'où l'utilisation du matte painting. Ce procédé permet dans certains cas un gain de temps considérable.

Suite aux échanges réalisées avec Nadine Dommanget, ancienne R&D à TeamTO qui a mis en place le *TT Clouds* (outil automatisant la création de nuages volumétriques pour *Gus petit oiseau, grand voyage*), un point important a été mentionné concernant la place du matte painting dans le cadre de création d'un paysage de nuage. En effet, d'après Arnaud Philippe-Giroux, ancien Matte Painter à DreamWorks Animation (dans le cadre du film *Puss in Boots*) et ancien Superviseur Matte Painting à TeamTO (sur le film *Gus*), il existe un conflit/une complémentarité entre les nuages matte et les nuages volumétriques.

À la suite des échanges avec Arnaud Philippe-Giroux, quelques informations ont été délivrées justifiant l'utilisation du matte painting par rapport à la 3D, et inversement :

- « Si la caméra est trop proche voire passe à travers le nuage, il faut oublier le matte. Ce sont des plaques 2D, cela demanderait trop de travail en compositing pour les faire réagir correctement. Trop long et donc trop coûteux. »
- « Si inversement, le décor est ouvert, doit représenter un lieu en début de séquence (appelé « Establishing shot ») alors on favorise le matte. Il y a un contrôle total sur les lumières en paint, les transparences, couleurs, saturations, valeurs. Cela permet de faire des demandes localisées et spécifiques par le/la DA. La qualité du ciel est proportionnelle au talent du matte painter. »

Il est possible de mélanger les nuages volumétriques avec le matte painting, cette technique est très souvent utilisée dans les films d'animation. Certains plans de films sont à un degré de réalisme si élevé qu'il est difficile de différencier le matte painting des nuages volumétriques (ceci est arrivé par exemple lors du visionnage du film *Le voyage d'Arlo*). Le plus important maintenant est de savoir quelles sont les différentes techniques utilisées pour répondre à ce besoin.

II/ L'envers du décor

1. Étude du marché

a. Logiciels/Plugins

De nombreux logiciels et plug-ins existant sur le marché permettent la création de nuages volumétriques. Certains proposent une liberté quasi infinie et permettent ainsi de répondre à chaque besoin de l'utilisateur, d'autres sont plus léger et peuvent suffire sur des projets à petit budget par exemple.

Il est aussi possible de créer son propre logiciel, outil, plug-in voire même son moteur de rendu volumétrique. Plusieurs studios/sociétés de post production intègrent dans leur équipe des personnes en R&D (Recherche et Développement) qui travaillent dans le but de réunir assez d'informations ou de pistes permettant de répondre à un ou plusieurs besoins précis. S'il est

validé alors vient la partie « développement » qui consiste à créer des scripts plus ou moins conséquents, souvent associés à une interface qui permet ainsi aux graphistes d'avancer plus rapidement sans pour autant savoir précisément ce qu'il se cache derrière l'outil. Dans certains cas ces scripts peuvent servir à automatiser certaines tâches et donc n'ont pas aucunement besoin d'interface.

Le choix du logiciel se fait selon un ensemble de critères, avant de parler du prix il faut savoir s'il servirait seulement pour un cas précis, par exemple pour la création d'un environnement (arbres, eau, nuages, montagnes, cailloux, etc.) ou pour un large éventail de besoins (modélisation, sculpt, effets spéciaux, etc.). Voici une liste exhaustive des logiciels existants dans le commerce et permettant de créer des nuages volumétriques :

Logiciels	Plug-ins
Houdini	FumeFX
Maya	Elementacular
3ds Max	oZone
Blender	
Vue	
Terragen	
Cinema 4D	
Unity	
Unreal Engine	

b. Description

En général, les logiciels tels que Houdini, Maya, 3ds Max, Blender et Cinema 4D proposent à peu de chose près les mêmes fonctionnalités. Maya est le logiciel le plus utilisé dans l'industrie du cinéma d'animation. Créé par Autodesk, société d'édition de logiciels de création et de contenu numérique, ce logiciel propose une large gamme de solutions techniques avancées permettant la création d'images de synthèse (animation 3D, effets spéciaux, modélisation, rendu). 3ds Max fait aussi parti des logiciels commercialisés par Autodesk, il est principalement utilisé dans les industries vidéoludique, cinématographique et automobile.

Ces deux logiciels permettent de créer des nuages volumétriques. Par exemple, la mer de nuage dans le film *Pan* a été créée sur Maya (*figure 8*) et le monstre de nuage d'orage de la publicité *Michelin* sur 3ds Max (*figure 9*) :



Figure 9



Figure 10

On remarque qu'il est ainsi possible d'avoir des nuages volumétriques assez intéressants sur ces logiciels. Seulement, pour avoir ce niveau de détail il faut comprendre et gérer leur système de génération de fluides (sur Maya), sachant que le style reste tout de même assez « cartoon ». N'ayant aucune expérience sur 3ds Max, je ne peux donner mon avis dessus.

Blender, logiciel libre développé par la Fondation Blender, et Cinema 4D, développé par Maxon, sont des logiciels qui sont très peu utilisés dans les sociétés de production. Après quelques recherches on trouve de nombreux projets qui contiennent des nuages volumétriques, mais je n'ai pas été conquise par le résultat final.

Vue et Ozone sont deux produits développés par E-On Software, l'un est un logiciel et l'autre un plug-in. Ils sont utilisés dans le cadre de la création d'environnement photo-réaliste, voire hyperréaliste. Vue a été utilisé notamment pour les nuages du film *Les Croods*, *Dragons 2* et sur le film *Avatar*. Ozone est compatible avec les systèmes atmosphériques de Vue, il fonctionne aussi sur 3ds Max, Maya, Softimage, Lightwave et Cinema4D.

Unity et Unreal Engine sont des moteurs de jeu vidéo puissants permettant de créer des jeux 3D, des applications, des projets en 3D temps réel⁴. L'un développé par Unity Technologies et l'autre développé par Epic Games, ils sont assez performants pour générer des nuages volumétriques de manière procédurale en temps réel.

Elementacular est un plug-in qui a pour but de créer des nuages sans aucune simulation et en temps réel. Utilisable sur Maya, il propose tout simplement un matériau à appliquer sur une géométrie. Reproduisant l'effet d'un nuage, il permet très rapidement de voir le résultat sur la scène.

FumeFX, développé par Sitni Sati, est un plug-in de simulation de fluide assez robuste conçu pour les effets de feu, fumée, explosions ou autre effet de . Les logiciels permettant de l'utiliser sont Maya et 3ds Max. Il a été utilisé pour la création des nuages volumétriques sur la publicité *Cartier Winter Tale 2014* réalisé par Cube Creative. Ce qui est intéressant dans ce cas de figure, c'est l'utilité de la simulation des nuages volumétriques. En effet, dans cette publicité, les lionceaux interagissent avec les nuages ainsi le seul moyen de créer une collision entre un effet et un objet est de « simuler » cette interaction.

⁴ En opposition au précalculé, le temps réel est un rendu d'image de manière presque instantanée (utilisé en général dans les projets qui nécessitent un niveau d'interaction maximal)



En janvier 2016, j'ai été conviée à regarder une vidéo qui m'aurait intéressé. Et en effet, j'ai été étonnamment surprise de la qualité et du réalisme du nuage proposé par le logiciel Terragen 4. Dans le même style que *Vue*, ce logiciel génère des paysages dans un style photo-réaliste, il a été développé par Planetside Software, une compagnie basée à Los Angeles. Bien qu'il soit encore en cours de développement, ce logiciel attire de plus en plus mon attention. Les images ci-dessous sont des captures de la vidéo présentant un test sur le nouveau modèle de diffusion de lumière de Terragen 4 pour le rendu des nuages volumétriques :



En conclusion, parmi tous les logiciels cités plus haut, Houdini est le seul que j'ai vraiment eu l'occasion de tester et qui a été utilisé depuis le début en termes de création de nuages volumétriques. Maya est un logiciel puissant, mais contrairement à Houdini il faut passer beaucoup plus de temps à comprendre son fonctionnement avant de pouvoir obtenir un résultat. Houdini propose des outils prédéfinis, accessibles assez facilement et permet ainsi de voir en un ou deux clics le résultat (surtout dans le cas des nuages).

c. Houdini et ses outils

En effet, Houdini répond généralement à des besoins liés aux effets spéciaux (feu, fumée, fluides, particules, destruction, nuages, foule, cloth, etc.). C'est un logiciel puissant créé par Side Effects Software, il est doté d'un système nodal permettant de créer du contenu plus rapidement. Son approche procédurale permet aux artistes VFX d'avoir un contrôle total sur tous les éléments qui composent l'effet. Par exemple, il est possible d'appliquer ses effets sur un prototype, qui, par la suite peut-être peaufiné par une tierce personne, et une fois récupéré il suffit alors tout simplement de modifier la source afin d'obtenir l'effet final souhaité. L'utilisateur peut aussi créer des scripts en Python, Hscript ou en VEX. De plus, c'est un logiciel complet, car il a la capacité de relier différentes spécialités existantes dans le domaine de l'image de synthèse (de la modélisation au compositing) en passant par l'animation, la motion capture et l'audio. Ceci permettrait ainsi d'alléger le pipeline d'une boîte de production.

Les nuages volumétriques des films Le chat Potté, Rio, Gus petit oiseau grand voyage et Le voyage d'Arlo, cités plus haut dans la partie *Apparitions dans les longs métrages* ont été réalisés sur Houdini.

L'outil proposé par Houdini est le *Cloud FX Tools*, il crée une suite de nodes avec des paramètres prédéfinis permettant de donner l'illusion d'un nuage à toutes les géométries ou nuage de points appliqués à cet outil. Il est composé de plusieurs nodes : Cloud Rig, Cloud, Sky Rig, Cloud Light et Cloud Noise.

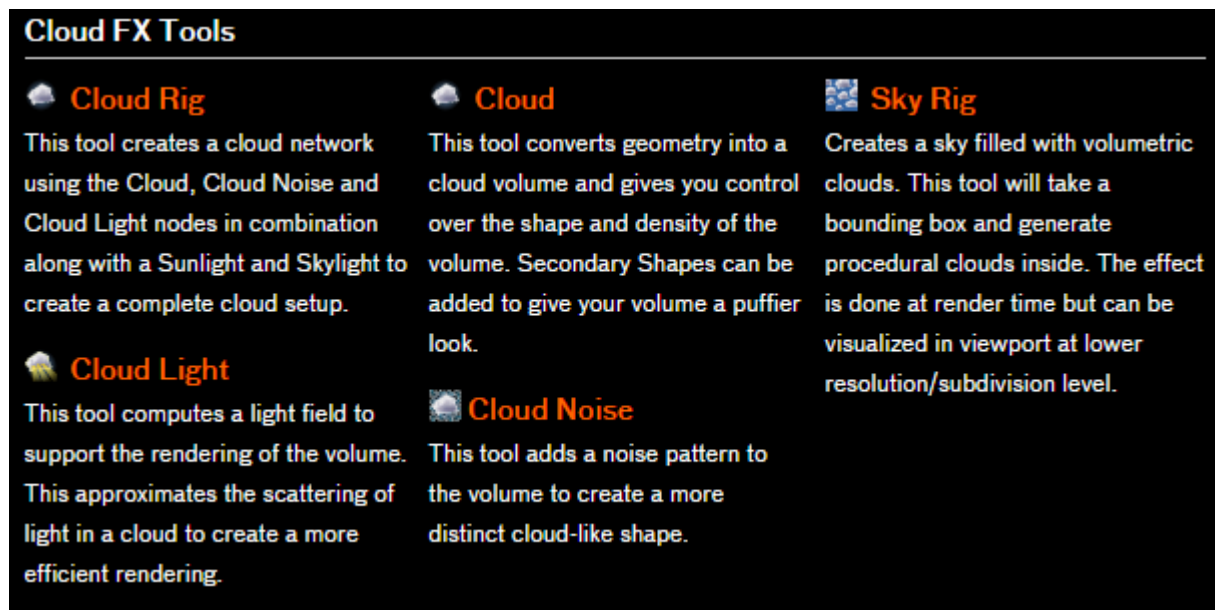


Figure 11 : Image provenant du site officiel du logiciel Houdini

Le Sky Rig génère en un seul clic une mer de nuage de manière procédurale. Une description un peu plus approfondie est effectuée dans la partie "Solutions techniques" (sous-partie « Précalculée »).

Le Cloud Rig combine les nodes Cloud, Cloud Noise et Cloud Light, il ajoute une lumière directionnelle appelée «SunLight», représentant ainsi le soleil, et une lumière d'environnement prénommée « SkyLight » qui reproduit le même phénomène physique que le ciel grâce aux différents paramètres proposés.

De plus, il crée un shader nommé « cloud » où il est possible de gérer le rendu du nuage via le Cloud Density (densité du nuage), Shadow Density Multiplier (multiplie la densité de l'ombre avec une valeur) et le Scattering Phase (diffusion de la lumière dans le nuage).

2. Les moteurs de rendu 3D

Un moteur de rendu est un logiciel qui construit une image à partir de données numériques. Dans le cadre de l'image de synthèse, ce moteur est chargé de récupérer les informations sur les objets dans la scène, de sortir les données telles que les textures, le matériau utilisé, les sources de lumière ainsi que tout un ensemble de paramètres liés à la qualité, les paramètres de la caméra et le chemin de destination des images rendues.

a. Logiciels associés

Il existe plus d'une vingtaine de moteur de rendu, certains plus utilisés que d'autres. En voici quelques-uns ayant la possibilité de rendre des nuages volumétriques : Arnold, Mantra, Guerilla Render, Octane, Vray, Renderman, Cycles, Mental Ray.

Mental Ray est le moteur de rendu de base dans Maya, tout comme Mantra dans Houdini et Cycles sur Blender. Ces logiciels ainsi que 3ds Max et Cinema 4D laissent la possibilité d'ajouter des moteurs de rendu en plus de ceux intégrés à l'installation du logiciel. Ainsi, Arnold, Octane, Vray et Renderman peuvent être intégrés et utilisés pendant toute la durée de la licence, sans limitation.

Guerilla Render est à la fois un moteur de rendu, mais aussi un logiciel à part entière, ainsi pour rendre une scène créée sur Maya ou Houdini par exemple, il existe plusieurs manières de le faire, soit en passant par un plug-in associé (disponible ou non selon les logiciels), soit par des fichiers supportés type Alembic, OpenVDB ou OBJ.

b. Les différents algorithmes

Il existe au moins trois types d'algorithmes : le ray tracing, le path tracing et le ray marching.

Le ray tracing est la méthode la plus répandue, cet algorithme reconstitue le parcours inverse de la lumière, c'est-à-dire depuis la caméra et en direction des sources lumineuses. Or en réalité, c'est plutôt l'effet inverse (de la scène vers l'œil, ici la caméra).

Son principe est simple, selon Wikipédia : « Le premier point d'impact du rayon sur un objet définit l'objet concerné par le pixel. Des rayons sont ensuite lancés depuis le point d'impact en direction de chaque source de lumière pour déterminer sa luminosité (est-il éclairé ou à l'ombre d'autres objets ?) ». Ainsi, en prenant en compte le matériau utilisé, il est possible de déterminer la couleur du pixel en question. Les rayons s'arrêtent si le nombre limite de rebonds est atteint ou si l'intensité lumineuse est trop faible.

Le path tracing est assez similaire au ray tracing. Il est utilisé pour déterminer l'illumination globale d'une scène. Les rayons sont lancés dans des directions aléatoires depuis l'objectif de la caméra jusqu'à ce que celui-ci atteigne une surface géométrique. Cette technique permet surtout de rendre une image de manière progressive, ainsi le rendu évolue en temps réel (d'une image très « bruitée » à une image nette) et se termine en fonction du sampling⁵ maximum indiqué dans les paramètres du moteur de rendu.

c. Les limites du ray tracing et du path tracing

Je tiens à remercier François Grassard pour m'avoir aidé à mieux visualiser le comportement du ray marching ainsi que son utilité dans le cadre du rendu d'un objet volumétrique. En effet,

⁵ Système d'échantillonnage des pixels dans l'image

le ray tracing et le path tracing calcule l'état du rayon en deux points : le point de départ et le point d'arrivée. Cependant, nous ne savons ce qu'il advient du rayon pendant le trajet. Si un objet non solide (un nuage par exemple) bloque le rayon et l'atténue de manière non uniforme alors cela ne suffit plus.

Ainsi, le ray marching prend place et permet de résoudre ce besoin. Il est fortement utilisé pour tous les phénomènes complexes tels que le brouillard, le feu, les nuages, la fumée, car contrairement aux autres algorithmes, les rayons⁶ partant de la caméra « marchent » le long de sa trajectoire. Dans ce cas, il est possible de définir un pas tout le long du rayon, à chaque fois que le rayon avance (défini grâce au Ray marching Step) il regarde s'il est en contact avec un objet, si oui alors il utilise les informations indiquées sur le matériau utilisé, l'intensité de la lumière et tout paramètre permettant de définir la couleur du pixel touché. Le rayon s'arrête dans plusieurs cas : soit il a atteint son maximum (Ray marching max steps) ce qui implique que le rayon est totalement atténué et que sa puissance est de 0, soit il est sorti de la bounding box contenant le volume ou bien il n'est plus dans la zone de Far Clipping⁷ de la caméra. De cette manière, tu peux décrire un volume non uniforme défini par différents types de bruits⁸ et « marcher » dedans en relevant les données à chaque pas. Notons que plus le pas est petit, plus le rendu est détaillé et donc plus le temps de calcul est rallongé. Logique !

d. Développement

Ce qui est intéressant à savoir c'est que comme tout outil, plug-in ou tout autre logiciel 3D, il est possible de créer son propre ray marcher, ray tracer ou path tracer. Il faut cependant avoir un bagage assez important en programmation et en mathématiques, mais cela reste tout de même accessible grâce aux tutoriaux existants sur internet, livres expliquant les algorithmes, et surtout grâce aux événements où des professionnels de la 3D viennent partager leur savoir.

Pour les plus curieux, ShaderToy est un site permettant aux développeurs du monde entier de créer son propre shader en WebGL tout en ayant un retour visuel quasi en temps réel. Cela dépend de la stabilité du moteur de recherche utilisé (Chrome, Internet Explorer, Firefox ou Safari), de la puissance de la machine et bien entendu du script créé.

Inigo Quilez, surnommé aussi « iQ », a mis en ligne un shader reproduisant l'algorithme du ray marching pour les nuages volumétriques, de manière totalement procédurale. Le script, étant mis à disposition, il est facile de modifier certains paramètres, par exemple la direction de la lumière, la couleur du ciel, le « STEPS » correspondant à la condition de fin de la boucle du ray marcher et donc du pas maximum que les rayons ne peuvent pas dépasser. Ainsi, plus on augmente le paramètre correspondant au « STEPS », plus le nuage est détaillé.

⁶ Il y a autant de rayons que de pixels, voire plus s'il y a de l'antialiasing

⁷ Le « Far Clipping » est défini grâce aux paramètres « Near » et « Far », il correspond à la zone où les objets de la scène sont visibles par la caméra

⁸ perlin noise, curl noise, fbm, etc.

3. OpenVDB

Un pipeline gère le flux de données qui se déplace à travers les différentes étapes de production, que l'on appelle communément « Workflow ». Le but d'un pipeline est de permettre aux artistes de travailler dans de bonnes conditions sans qu'ils aient à se préoccuper de la gestion des données qu'ils fournissent. Dans le cadre du rendu volumétrique, il existe des structures de données permettant de conserver les informations de chaque voxel dans une grille. Ainsi il est possible, grâce à OpenVDB, de passer d'un logiciel à un autre sans perte de données, permettant d'avoir plus de liberté quant au choix du moteur de rendu que l'on souhaite utiliser.

a. Définition

OpenVDB est une bibliothèque C++ comprenant une structure de données hiérarchique et une suite d'outils permettant une manipulation efficace des volumes. Il comprend aussi un module python avec des fonctions de base pour la manipulation de volumes. OpenVDB n'a pas de restriction de résolution ainsi il n'y a aucune limitation quant à la taille que peut prendre le volume. Cette structure de données a été maintenue et développée principalement par Ken Museth, Peter Cucka, Mihai Aldén et David Hill, ingénieurs en Recherche et Développement chez DreamWorks Animation.

Depuis plusieurs années le terme « VDB » a été interprété de plusieurs manières, il y a eu « Voxel Data Base », « Volumetric Data Blocks », « Volumetric Dynamic B+tree », etc. Le fait est que ces noms ne caractérisent pas complètement les différentes fonctionnalités qu'elle propose, ainsi « VDB » est finalement considéré comme étant son propre nom.

b. Outils et intégration

OpenVDB est complètement intégré à Houdini. Il est aussi possible de rendre les VDB sur les moteurs de rendu suivant : Renderman, Arnold, Clarisse, Guerilla Render, Maxwell Render, MODO, Vray, Octane Render, 3Delight et sur le logiciel RealFlow.

Les outils de conversion, les filtres, les opérations morphologiques/topologiques permettent de manipuler efficacement le volume, accessible sur n'importe quel support qui lit les formats de fichier .vdb on peut alors :

- Convertir un maillage/une géométrie en VDB
- Convertir des particules en VDB
- Convertir des particules de fluides en VDB
- Combiner plusieurs VDB avec un système de mode de fusion (Add, Subtract, Multiply, Divide, Maximum, Union, Difference, Intersection, ...)
- Lisser un VDB (Smooth)
- Rééchantillonner un VDB (« Resampling », le rendre plus ou moins détaillé)
- Dilatation/Érosion du VDB
- Etc.

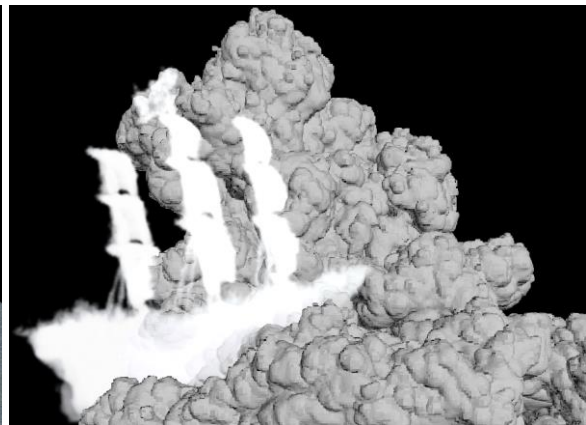
Un VDB peut lui-même être converti en un autre type d'objet. Sur Houdini par exemple, il est possible de le convertir en polygone, mais aussi en un autre type de volume appelé SDF (« Signed distance Field ») grâce au node « Convert VDB ».

Le SDF, ou « Fonction distance signée » en français, est une fonction qui évalue la distance d'un point à la surface de l'objet, si des points sont en dehors de l'objet alors la distance est positive, si c'est à l'intérieur alors elle est négative. C'est de cette manière qu'il arrive à reconstruire une surface à partir d'un volume.

Les images ci-dessous contenant un bateau nuage et un nuage sont des éléments du projet intensif que j'ai utilisé ici afin d'illustrer mes propos :



VDB transformé en polygone



VDB transformé en SDF

c. Structure de données

Le node « VDB Visualize Tree » sur Houdini permet de voir les différents niveaux de la structure de données. Grâce à la figure 10 on remarque qu'il prend en charge les coordonnées signées, ainsi la surface est représentée par la valeur 0, l'intérieur du volume a des valeurs négatives et les valeurs positives à l'extérieur du volume.

La figure 9 correspond au VDB du nuage mis en entrée du node « VDB Visualize Tree ».



Figure 12

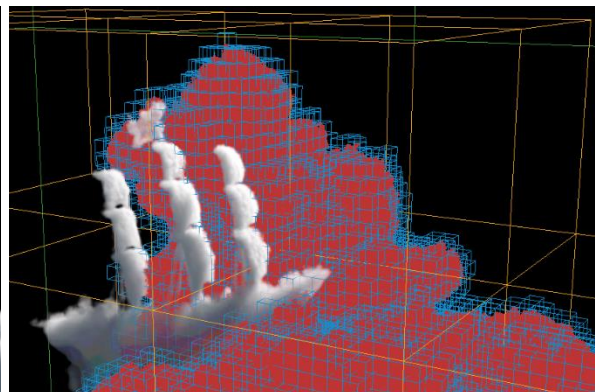


Figure 10

- Les bounding box bleu sont des « Leaf nodes »
- Les bounding box rouge sont les « Active voxels » c'est-à-dire les voxels actifs dans le volume
- Les plus grandes bounding box en orange et vert sont les « Internal nodes ». Ils peuvent se situer sur un ou plusieurs niveaux (d'où le vert qui est le niveau supérieur).

Les couleurs ne sont pas choisies par hasard, elles correspondent à celles utilisées par Ken Museth dans le but de différencier les différents niveaux de la structure de données des VDB. La figure 10 ci-dessous est une représentation visuelle mise à disposition sur ses documents techniques trouvés sur le site officiel de OpenVDB.

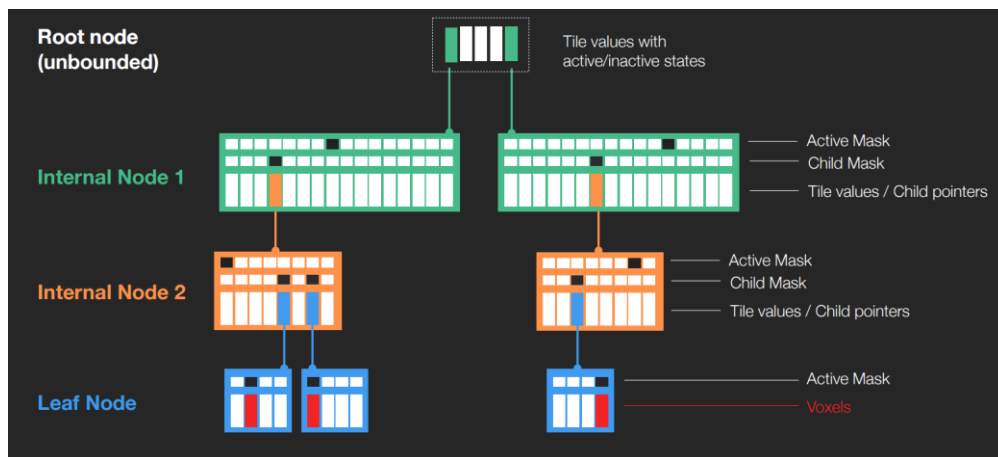


Figure 13

d. Comparaison

Il existe en effet d'autres structures de stockage de données volumétriques tels que Field3D, DT-Grid ou bien GigaVoxels.

La foire aux questions du site de OpenVDB permet de répondre à plusieurs questions, dont celle qu'on se pose ici : quels sont les avantages de OpenVDB par rapport aux autres structures de données ? ». Ce site étant écrit en anglais, je vais tenter de traduire les différents arguments cités : « OpenVDB est très différent des autres structures de données que vous êtes susceptibles d'avoir entendu parler. Avant toute chose, il est hiérarchisé (contrairement à DT-Grid et Field3D), il prend en charge les simulations et topologies dynamiques (contrairement à GigaVoxels), il est effectivement sans limitation de taille (contrairement à Field3D), et il offre un accès rapide aux données des voxels de manière aléatoire et séquentielle. »

III/ Développement alternatif entre simulation et simulacre

Les nuages volumétriques peuvent être créés de plusieurs manières et dans différents domaines d'application (cinéma d'animation, jeux vidéos, etc.). Le choix de la méthode à utiliser est donc primordial, car elle regroupe un ensemble d'étapes dépendantes les unes aux autres. On peut regrouper ces méthodes en deux grandes parties : création de nuages avec simulation et sans simulation, d'où le jeu de mots entre « simulation » et « simulacre » dans le titre de cette partie.

1. Simulation et simulacre

Afin de mieux comprendre l'utilisation de ces deux termes, je vais restituer comment le terme « simulacre » est parvenu dans ce mémoire. Suite à une réunion effectuée avec le professeur Chu-Yin Chen, j'ai évoqué la difficulté de trouver un terme permettant de définir une approche de création dite « sans simulation », car, en effet, quasiment toutes mes créations ont été réalisées avec cette méthode. Le terme « simulacre » a donc été évoqué. Ainsi dans cette partie je vais définir et expliquer l'utilisation de ces deux concepts grâce aux différentes recherches réalisées au préalable.

a. Définitions

Une simulation, comme son nom l'indique est l'action de « simuler ». Dans les effets spéciaux, une simulation est une série de calculs effectués, grâce à des modèles ou des algorithmes bien précis, dans le but de « créer l'apparence » d'un phénomène physique. En fonction des conditions de l'état initial de cette simulation, il tente de reproduire, image par image, l'état suivant de l'effet jusqu'au temps imparti. C'est ce qui se produit lorsque l'on souhaite simuler de la fumée, de l'eau ou tout autre phénomène physique par exemple. Cela indique aussi que si le résultat final ne correspond pas à nos attentes, il faut modifier les paramètres et relancer cette simulation. Ainsi, cela demande un temps d'attente important si l'effet voulu est conséquent.

Le terme simulacre est souvent utilisé en sociologie ou en philosophie. D'ailleurs, Jean Baudrillard, philosophe français et théoricien de la société contemporaine, a écrit un ouvrage nommé « Simulacres et simulation » où il approfondit selon Wikipedia « sa réflexion sur le concept de simulacre qu'il avait initiée dans *"L'échange symbolique et la mort"* (Gallimard, 1976) ». Plusieurs définitions s'offrent à lui, selon le Larousse un simulacre n'est autre que « ce qui n'a que l'apparence de ce qu'il prétend être » ou bien sur le site de CNRTL (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales), il est défini comme « l'apparence qui se donne pour une réalité » et dans le cas où il est utilisé en tant que verbe, par exemple « Faire le simulacre de », il signifierait « action par laquelle on feint d'exécuter quelque chose ».

b. Comparaison

Ainsi, le terme simulation a bien sa place dans le domaine des effets spéciaux. Dans ce cas, la problématique est la suivante : pourquoi utiliser le terme « simulacre » ? Plusieurs recherches ont été effectuées afin de mieux discerner les deux termes utilisés.

L'article « Simulation numérique : un nouvel état de la représentation ? ou de la simulation au simulacre » écrit en 2009 par Colette Tron, explique en plusieurs parties les notions de simulation et simulacre dans différents domaines. Une des parties qui nous intéresse est « La simulation dans l'art » où elle définit et compare les deux notions : « Le procédé du simulacre est différent de la simulation. D'abord parce qu'il ne copie pas l'original à l'identique, mais se détache de ses apparences, pour finalement le remplacer et en proposer une forme altérée ».

En effet, selon le concept de Platon, philosophe antique de la Grèce classique, le « concept de simulacre apparaît, en tant que *phantasma* (φάντασμα) dans *Le Sophiste* de Platon où L'Étranger – qui dialogue avec Théétète – distingue deux types d'images : l'image-copie (*eikôn*, εἰκών) et

l'image-simulacre (*fantasma*, φάντασμα) ou image-illusion, selon la traduction de Nestor Cordero. L'Étranger introduit cette distinction pour définir le sophiste comme un illusionniste (c'est donc le deuxième sens du terme qui est mobilisé par Platon) ». En d'autres termes, le simulacre est une illusion.

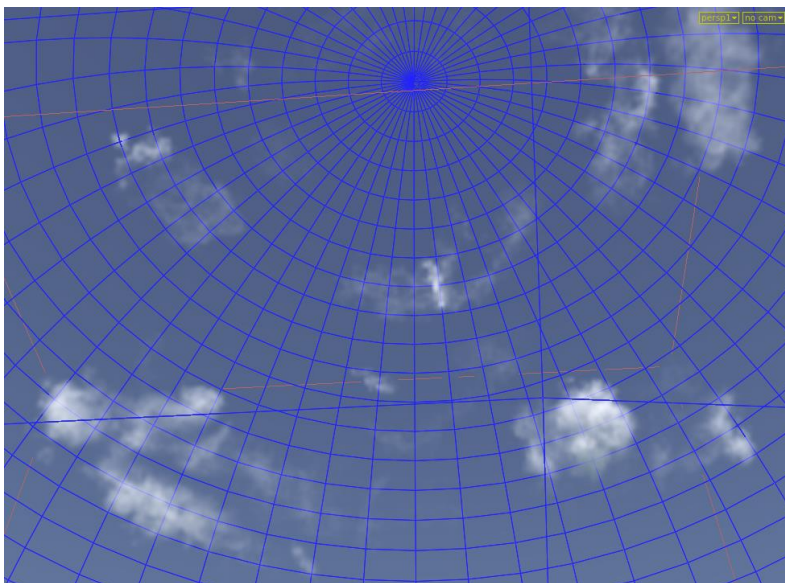
En conclusion, ces deux notions ont un tronc commun qui est l'illusion. Le terme simulation est donc utilisé ici pour définir la création d'un élément 3D à partir d'un moteur physique prévu à cet effet et le terme simulacre, dans le cas où une autre technique permettrait d'obtenir l'illusion/l'effet du sujet que l'on souhaite reproduire sans passer par une simulation de fumée quelconque.

2. Les techniques de création

La création des nuages volumétriques étant spécialement réalisé sur Houdini, je vais vous montrer les différentes manières de modéliser un ou plusieurs nuages et parmi ces techniques lequel j'ai choisi. J'ai récemment eu à réaliser un système de fumée procédural sur Maya dans le cadre du travail chez Brunch Studio et je me suis rendu compte qu'elle reprenait la même logique de création que sur certaines techniques proposées sur Houdini.

a. Les courbes

Il existe un moyen rapide permettant de créer des nuages de type Cirrus sur Houdini, par exemple avec le node Paint Fog Volume qui va créer le volume en fonction de ce qu'on aura peint. La projection peut se faire en fonction des axes, d'une modélisation, etc. Ajouté à cela, on crée un node Cloud Noise qui va apporter du détail sur notre volume et qui donnera l'effet d'un nuage de niveau supérieur (voir les différents niveaux dans la partie *Caractéristiques*). Voici un petit test que j'ai effectué ci-dessous :



b. Les textures procédurales

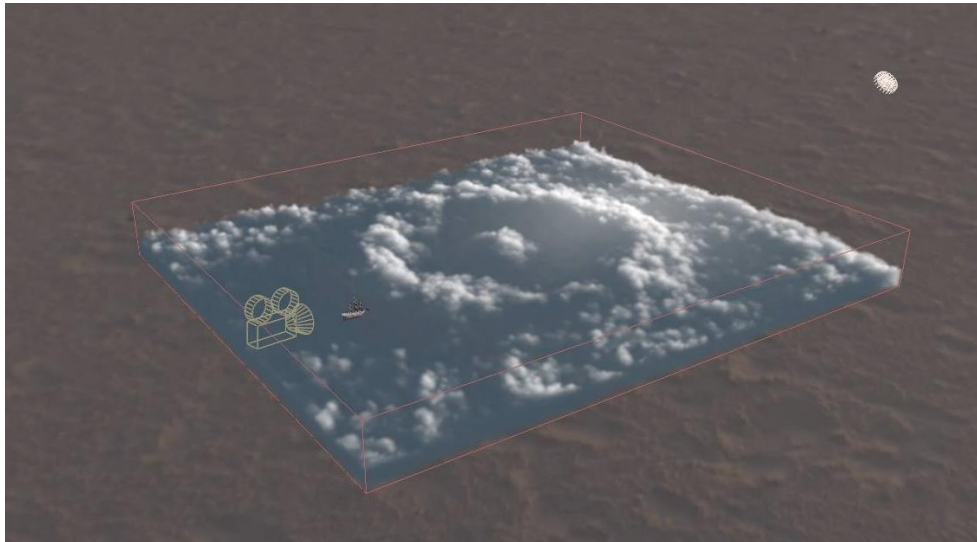
Il existe une multitude de textures procédurales, toutes ces textures sont créées à partir d'algorithmes qui génèrent un motif bien spécifique et qui possède des variables modifiables par l'utilisateur. Parmi les textures procédurales, il y a ce qu'on appelle les « bruits », en anglais « noise ». Ces textures sont les plus populaires dans le cadre de la création de nuages volumétriques, on retrouve le fameux Perlin Noise, ainsi que le Sparse Convolution Noise, Billow Noise, etc.

Une fois la texture appliquée au volume, il apporte des modifications sur chaque voxel composant ce volume. Ainsi en fonction de la couleur du bruit, il va exercer une déformation plus ou moins importante à celui-ci.

Sur Maya ceci se fait sur le node « fluidShape ». Ce node, accompagné d'un émetteur, réalise une simulation de fumée ou de feu ou tout autre effet volumétrique. Cependant, dans le cas où l'on souhaite seulement appliquer une texture sur une grille de densité fixe, on doit tout d'abord modifier le paramètre Density en « Gradient » qui se situe dans l'onglet « Contents Method » et mettre le paramètre « Velocity » à « Off ». Ainsi, on remplit entièrement la grille de voxel dans lequel la texture va appliquer des fonctions mathématiques qui permettront d'afficher ou non un voxel. Pour cela, il faut activer le paramètre « Texture Opacity » qui se trouve dans l'onglet « Textures ». En effet, tous les paramètres de la texture procédurale se trouvent ici, il est possible alors de lui définir une fréquence, une position sur l'axe des X, Y et Z, une animation grâce au paramètre Texture Time par exemple.

Sur Houdini, on retrouve la même méthode, le node Sky Rig génère en un seul clic une mer de nuage de manière procédurale. Plusieurs paramètres sont à notre portée :

- Dans l'onglet VDB
 - la « région » permet soit de générer des nuages dans une bounding box ou depuis le cône (frustum) de la caméra
 - la taille des voxels
- Dans l'onglet Density :
 - Le Density Multiplier, gère la densité du nuage volumétrique
 - Une ramp correspondant au pourcentage appliqué à la densité entre le minimum et le maximum dans le volume
 - « Coverage » (corresponds au terme « nébulosité » défini plus haut dans les caractéristiques des nuages) qui définit la quantité de nuages générés dans l'espace (bounding box)
 - « Profile Warp » apporte une modification verticale des nuages sous forme d'une courbe



Test utilisant les différents paramètres cités plus haut (Sky Rig)

c. Les nuages de points

Un nuage de points est un ensemble de points à trois dimensions possédant ainsi des coordonnées X, Y et Z. Un système de particules est en effet un nuage de points possédant en plus de cela des caractéristiques physiques leur permettant ainsi de réagir selon la gravité, le vent ou tout autre force physique simulée par le logiciel 3D. Le système possède un émetteur permettant de générer les particules qui évolueront selon différents paramètres indiqués par l'utilisateur tels que la vitesse, la durée de vie. Il est possible d'instancier des éléments à chaque point composant le nuage de points. C'est ce que nous allons faire ici.

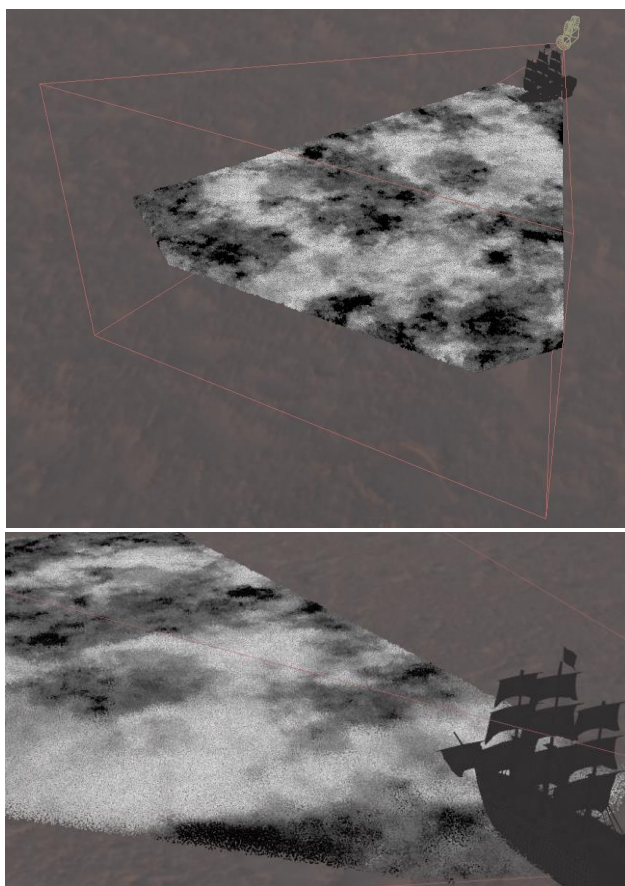
En effet, sur Houdini il est possible de créer un nuage en se basant sur des points. Parmi les outils cités plus haut dans la partie *Houdini et ses outils*, le node Cloud permet de transformer une géométrie ou un nuage de points en un volume(VDB). Cependant, ce nuage de points doit représenter ces nuages dans sa forme. C'est là que l'utilisation des textures procédurales entre en jeu.

Dans le cadre du projet intensif, je devais réaliser un bateau nuage (le bateau étant modélisé au préalable) et une mer de nuages. J'ai donc testé cette technique, car je suis tombée sur un tutoriel reproduisant ce dont on cherchait et j'étais curieuse de voir le système utilisé par Andreas Vrhovsek, le créateur de ce tutoriel.



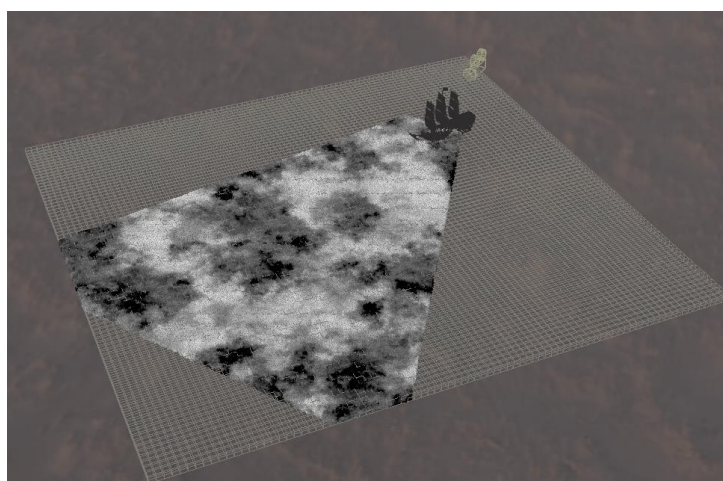
Image provenant du site Digital Tutors

Sa technique est très astucieuse, car elle permet de contrôler toute la « modélisation » des nuages. Voilà mon résultat :



Grâce à la texture, on peut donner « l'illusion » de nuages. Malgré le fait que la transformation de ces points en volume ne m'a pas convaincue, j'ai pu assimiler une nouvelle méthode de travail. Ainsi, comme on peut le remarquer sur les images ci-dessus, la zone où est créée la mer de nuage correspond à la zone visible par la caméra. Cela n'a pas été mentionné dans le tutoriel toutefois grâce aux recherches et à d'autres tutoriaux que j'ai pu visionner, j'ai appliqué ce procédé qui m'a permis d'optimiser mes temps de calcul.

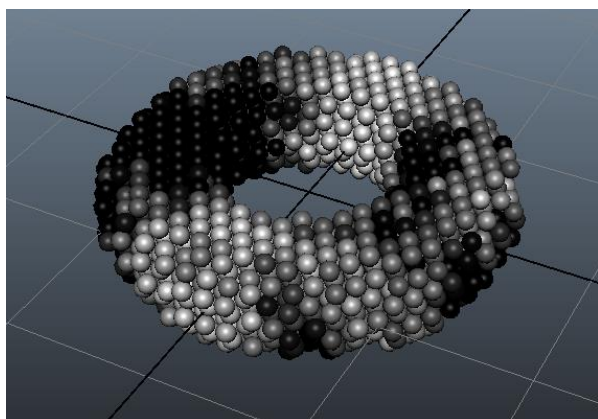
Voici la géométrie de base (grisée) permettant de générer ces nuages de points :



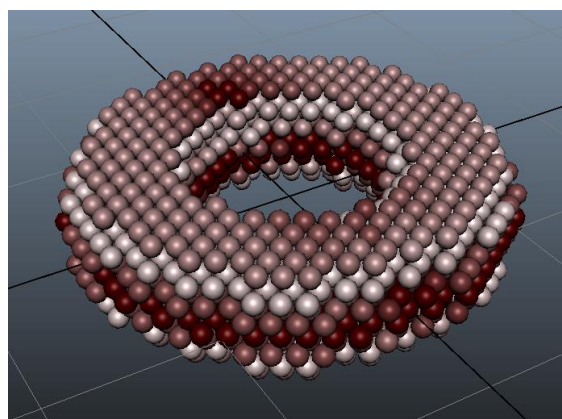
On passe ainsi de 2,8 millions de points à environ un million de points. Cela permet d'alléger la scène, d'appliquer les effets voulus sur une zone d'action plus précise et cela prend en compte la position et l'angle de vue de la caméra à chaque image (dans le cas d'un mouvement de caméra).

Pour les personnes souhaitant réaliser ce système de texture 3D appliqué sur des particules sur Maya, un script a été mis en ligne par Owen Burgess et Nelson Cruz qui réalise un « sampling » des couleurs de chaque pixel de la texture 3D sur un ensemble de points. L'article explique leur mode de fonctionnement assez complexe qui permet de répondre à de multiples besoins. En effet, cette technique utilise l'API Maya et récupère un ensemble de données qui sont ensuite appliquées en fonction d'un nom de texture et du nom du node dans lequel se trouve les particules.

Voilà des petits exemples visuels :



Réalisé avec la texture « Cloud »



Réalisé avec la texture « Marble »

Étant à ce moment-là en projet intensif, il fallait trouver une solution rapide et efficace. Ainsi la technique suivante correspond à celle qui a été l'objet de toutes mes productions finies en termes de création de nuages volumétriques.

d. Une base géométrique

Tout mon système de modélisation de nuage se concentre sur cette partie. Réalisée sur Houdini, cette méthode m'a permis d'avancer sur toutes les étapes afin de proposer un résultat visuel de plus en plus proche du photo-réalisme. Tout d'abord, une description des différents paramètres permettra de mieux visualiser leur fonction et ensuite une explication de leur utilisation plus ou moins importante dans la méthode que j'utilise dans la création de nuages volumétriques.

Le node Cloud convertit la géométrie en un volume et donne le contrôle sur la forme et la densité du volume. Il est donc possible de gérer la définition du volume (nombre de voxel qui composent le volume), la source (géométrie ou nuage de points), de remplir la source si aucune forme n'a été définie de base. Le node Cloud crée des particules gérables via des paramètres : Random Seed, Shape Size, Scatter Multiplier, Noise Min/Max, Noise Frequency, Noise Offset.



Aucune modification

Fill Source activé (0 modification)

Secondary Shape activé



Flatten activé

Cloud Noise modifié

Deux paramètres du Secondary Shape ont été modifiés dans le but de voir une différence entre l'image *Fill Source activée* et celle du *Secondary Shape activé* : Itérations à 5 et Shape Size à 0.2. Par la suite, il y aura une explication plus approfondie de chaque paramètre qui compose le Cloud FX Tool.

La partie *Flatten* du node Cloud permet d'aplatir la shape (forme de l'objet modifié par le node Cloud), les paramètres Flatten Origin (valeur à 1) et Bottom Scale (valeur à 2) ont été modifiés.

Ensuite, il y a le *Cloud Noise* qui permet de personnaliser l'allure du nuage. Il y a l'onglet *Advection* qui s'ajoute au noise principal dans le but de créer des détails plus fin. L'onglet *Noise Mask* sert à définir les zones où il y aura plus ou moins de détail, en se basant sur un masque en niveau de gris défini par l'artiste. Il est possible d'animer le nuage avec le *Noise Offset*.

Enfin le node *Cloud Light* gère l'intensité/la couleur de la lumière (de la SunLight) qui agit sur le nuage, la couleur du nuage ainsi que l'ombre de celui-ci et la propagation de la lumière.

L'outil a été très bien pensé et répond aux différentes problématiques que l'on peut se poser pour la création de nuages. En effet, cette technique a été utilisée dans 100% des projets finis en termes de création de nuages volumétriques. Des images sont dans la partie ANNEXE de ce mémoire pour mieux contempler le résultat.

Parmi toutes les fonctions et les paramètres cités plus haut, voici ceux que j'utilise dans la majorité des cas :

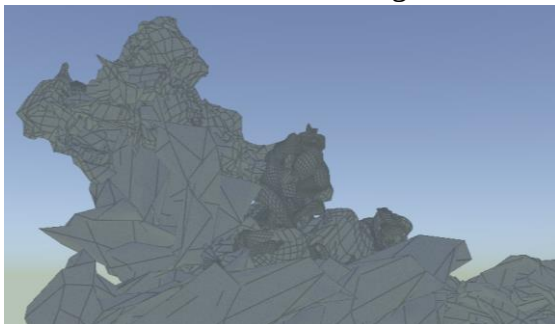
- Sur le node « Cloud » :
 - « Uniform Sampling Divs » qui définit la qualité du voxel
 - « Density Multiplier » et le « Density Remap »
- Sur le node « Cloud Noise » :
 - Tous les paramètres
- Sur le node « Cloud Light » :
 - « Light Intensity » (dans l'onglet « Lighting »)
 - « Exponential Falloff » coché
 - « Density Scal »
 - « Color Ramp » donnant ainsi des couleurs au volume source

On remarque ainsi que tout le travail repose sur la partie « Cloud Noise ». Le « Cloud Light » étant utile seulement dans le cadre du rendu sur Houdini (cela n'est pas tenu compte à l'export du volume). En effet, pour ma part, la création de formes sphériques lisses ne représente pas la forme d'un nuage, même si nous apportons du bruit sur le volume, la forme se ressent toujours et donne un effet « faux » au nuage (cf. citation de Benoît Mandelbrot page 3). En conclusion, tout repose sur la géométrie et au bruit appliqué sur le volume.

Les images montrées sont des captures provenant de la scène où sont créés mes nuages. Aucun rendu n'a été effectué. C'est aussi toute la force du logiciel Houdini, car le résultat visible sur le viewport (la scène) est le même au rendu. Contrairement à Maya où la forme créée de manière procédurale visible sur le viewport est différente du rendu, ce qui pousse à réunir deux étapes de production et ainsi de trouver une personne permettant de gérer les deux.

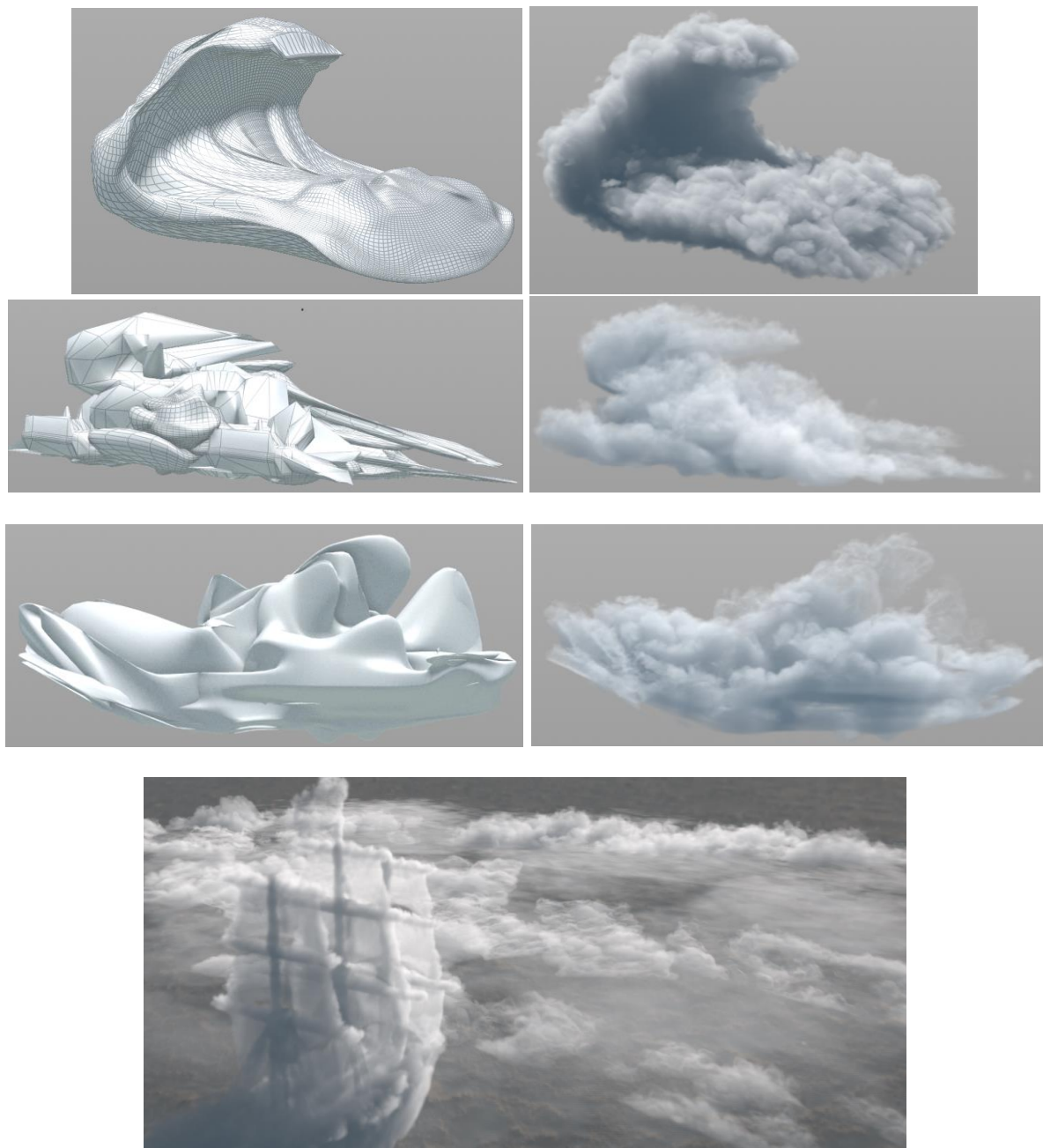
Voici quelques exemples de nuages que j'ai créés où l'on voit à gauche la forme de base du nuage et à droite les effets apportés par le node Cloud/Cloud Noise et illuminé/coloré par le Cloud Light :

Modélisation du nuage



Effets sur la modélisation





Pour le cas de la mer de nuage, une seule géométrie pouvait servir à plusieurs nuages, ainsi il est plus difficile de montrer toutes les formes qui composent cet amas de nuages. C'est d'ailleurs la technique qui m'a servi pour le projet intensif, car il représente une peu plus d'une quinzaine de nuages sur cette scène, sans compter le bateau nuage.

En conclusion, tous reprennent la même logique de modélisation et d'effets spéciaux. La modélisation permet de définir une forme générale puis en apportant du bruit sur la forme, on crée ainsi des déformations sur l'épaisseur de chaque forme qui le compose, c'est aussi ce qui crée les différentes densités sur le volume. La touche intéressante reste aussi le bruit appliqué par l'onglet « Advection » .

3. L'animation

Il existe plusieurs techniques d'animation du nuage, un système d'offset permet de réaliser une translation (en X, Y et Z) sur le bruit appliqué sur le volume. Sur les onglets du node « Cloud noise » apparaît le paramètre « Offset », qui peut être utilisé pour l'animation du bruit et ainsi la déformation du volume sur le nuage. Sur l'offset Advection il y a aussi le paramètre Time, qui, de la même manière que le « Texture Time » sur le node FluidShape dans Maya va appliquer une animation en fonction du temps. En utilisant une expression sur le paramètre, il est possible de le faire dépendre du temps, ainsi image par image, il appliquera les valeurs du résultat de l'expression sur le volume ce qui créera une animation.

Par exemple, l'expression peut être la suivante : $\$F/\$FEND*1.5$

- \$F correspond au temps actuel sur la timeline⁹
- \$FEND correspond à la fin de la timeline
- La valeur 1.5 est un nombre multiplicateur qui permet de définir la vitesse de l'animation

Plus le dénominateur est grand, moins l'animation sera rapide. Si \$FEND est égale à 90 et qu'on se trouve sur l'image 1 alors il va réaliser ce calcul : $1/(90*1.5)$.

Sur le node « sky » il est aussi possible d'animer le nuage de la même façon que sur le node Cloud Noise, le paramètre se trouve sur l'onglet « Noise » et se nomme « Noise Offset » ou sur l'onglet Advection et se nomme « Advect Offset ».

Et enfin, une des solutions est de créer une simulation en plus du nuage qu'on possède (dans le cas d'une création de nuages à partir d'une géométrie). Il existe plusieurs types de fumée, par exemple sur Houdini on retrouve le Billowy Smoke et le Wispy Smoke. Le billowy donne un effet « nuage ». C'est ce que j'ai utilisé dans le cadre du projet intensif et qui m'a permis de créer une trainée au passage d'un personnage lorsqu'il traversait le nuage. L'animation sera montrée dans le DVD accompagné au mémoire.

4. Le rendu

Le rendu est une étape importante dans le système de nuage volumétrique, car c'est ici que la majeure partie du travail est effectué. Grâce au moteur de rendu, défini dans la partie *Les moteurs de rendu 3D*, on calcule une image en prenant en compte les différents paramètres associés.

Contrairement à la modélisation du nuage où je me suis principalement concentré sur Houdini, j'ai pu testé le rendu volumétrique sur différents moteurs de rendu. Mantra étant le moteur de rendu du logiciel Houdini, je n'ai pas eu à exporter mon volume. Cependant, j'ai dû exporter mon volume en .vdb pour les moteurs de rendu tels que Arnold, Renderman (REYES) et Guerilla Render. Grâce au node « Cloud » sur Houdini il crée automatiquement un VDB, contrairement aux autres volumes où il faut convertir le volume en VDB. Je suis tombée sur le

⁹ Barre de temps visible sur tous les logiciels d'animation 3D

cas pendant le projet intensif où il fallait exporter de la fumée, représentant la trainée de nuage créé par le personnage lorsqu’il traverse le nuage.

a. Le matériau

Le matériau (en anglais « Shader ») sert à définir la manière dont un objet 3D sera rendu. Dans le cas d’un nuage, on utilise un matériau de type Volume, ainsi grâce aux différents paramètres il est possible de définir le visuel que prendra notre volume au rendu.

Sur Houdini, le matériau s’appelle « cloud » :

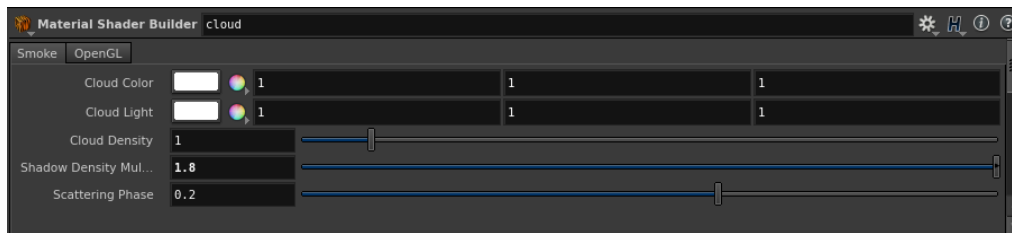


Figure 14 : Paramètres du shader « cloud »

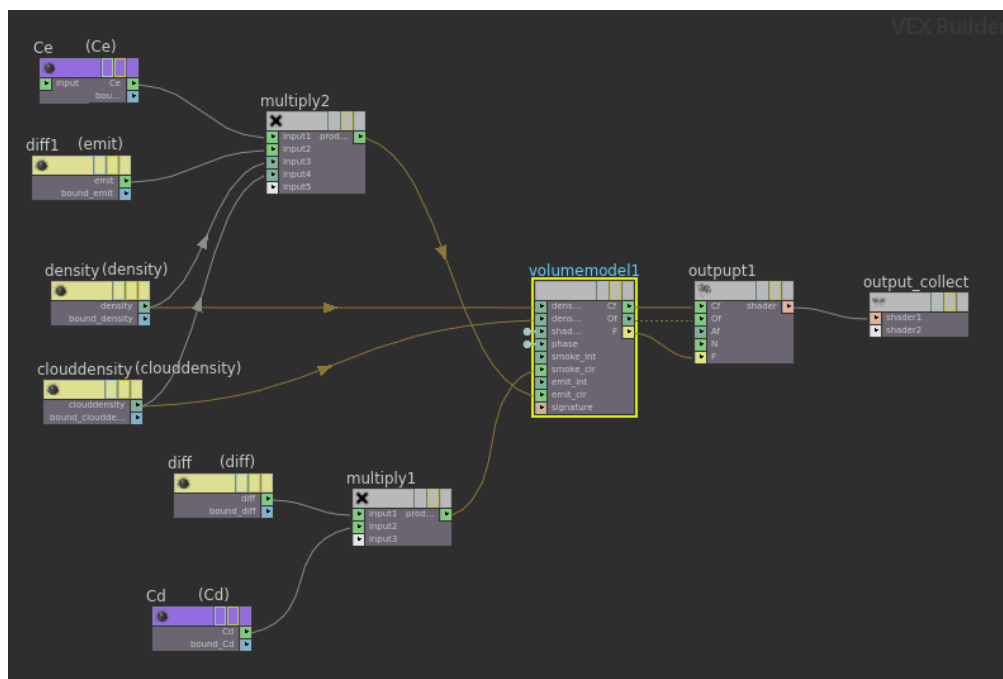


Figure 15 : Nodes du shader « cloud » dans le VEX Builder

Ce shader reproduit le modèle de réflexion isotrope de Henyey-Greenstein. Le node volumemodel1 récupère plusieurs informations :

- Le résultat de $Ce \times Cloud\ Light \times Density \times Cloud\ Density$ est utilisé pour définir la couleur de l’émission de la lumière
- Le paramètre Density récupère la densité du nuage sur lequel le shader est appliqué
- Le paramètre Cloud Density pour modifier la densité du nuage (considéré comme un facteur multiplicateur de la densité actuelle du nuage)

- Le résultat de la multiplication des paramètres Cloud Color et de la couleur du nuage (Cd) sert à coloriser la lumière réfléchiée par le volume

Les entrées « Shadow Density Multiplier (shadowscale : float) » et « Scattering phase (phase : float) » sont des paramètres que l'on a « promu ». Cela est possible pour n'importe quel paramètre d'un node, il suffit de faire un clic du milieu, un menu s'affiche puis « Promote parameter », ainsi le paramètre est affiché dans l'interface du node parent. C'est de cette manière que les paramètres du shader « cloud » ont été créés (cf. figure 14).

J'ai fait la découverte d'un artiste nommé Matt Ebb qui a mis en ligne un article expliquant comment il a créé son propre matériau. Ce matériau reproduit la théorie de Mie, ce qui induit les différents phénomènes physiques tels que « Fogbow » (arc blanc) et « Glory » (arc multicolor) qui se produisent dans des cas particuliers.

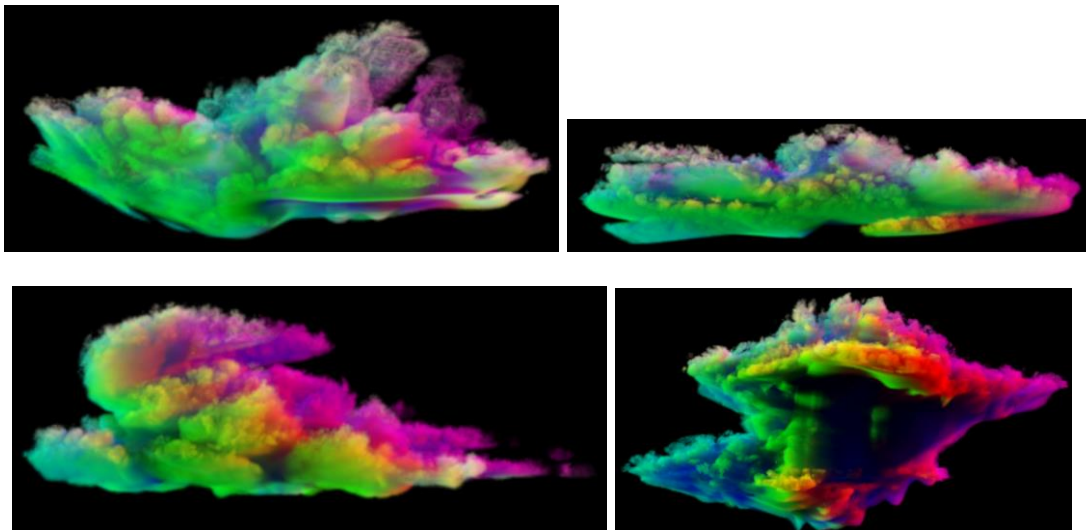
b. Ancienne méthode : Eclairage RVB à trois points

Dans le cas des nuages que j'ai réalisés en stage, j'ai effectué ce qu'on appelle un « Eclairage RVB à trois points », cette technique permettant d'indiquer les directions de lumières sur le nuage ayant chacune respectivement une composante de couleur rouge, vert et bleu. Il est possible alors au compositing d'« éclairer » et d'appliquer une modification plus précise en fonction de l'étalement des zones de chaque couleur :

- « Key light » pour lumière principale.
- « Fill light » pour lumière de remplissage.

« Back light » pour lumière de contre-jour.

Voici quelques exemples que j'ai réalisés :



Ces images, enregistrées au format OpenEXR (.exr), sont ensuite retravaillées avec une technique que l'on appelle Compositing. Le format de fichier .exr, créé par la société d'effets spéciaux ILM (Industrial Light & Magic) permet de stocker des images de haute qualité grâce à son encodage sur 8, 16 ou 32 bits (voire 64 bits). C'est ce qui permet de récupérer les informations de lumière par exemple.

c. Nouvelle méthode : Eclairage via les lumières directionnelles

Après avoir testé l'éclairage en RVB, j'ai cherché à trouver un autre moyen essayant de reproduire le système d'éclairage d'un nuage. En effet, un nuage est éclairé par le soleil, ainsi il ne devrait y avoir qu'une seule lumière qui l'illumine.

N'étant pas la personne qui a rendu les nuages durant le projet intensif, j'ai demandé à avoir la possibilité de m'occuper d'un ou de deux plans nuages sur le projet afin d'en parler sur mon mémoire. Ainsi, pour la deuxième version du projet intensif réalisé au cours de l'année, j'ai décidé de trouver un moyen d'avoir un rendu photo-réaliste. Ce qui m'a conduit à rendre la scène grâce à une lumière directionnelle et une identique, mais plus diffuse. Aucun compositing n'a été réalisé sur cette image. Seulement un rendu de volume.

Voici le résultat :



Cette image a été rendue sur le logiciel et moteur de rendu Guerilla render, les principaux paramètres que j'ai utilisés sont :

- Sur le matériau :
 - Le « Range » : InMax et OuMax (dans Density)
 - L'incandescence
 - Le « Direct Sampling » (dans Advanced) pour apporter des détails seulement sur le volume
 - « Ray Marching Step Size » et le « Ray Marching Max Steps » (dans la catégorie « Attributes » / « Volume »)
- Sur les deux lumières :
 - Le paramètre « Color »
 - Le paramètre « Exponent » qui gère l'intensité lumineuse de manière exponentielle
 - « Angle », ainsi plus l'angle haut plus la lumière est diffuse

Sur un autre projet j'ai réalisé la même technique d'éclairage, le rendu étant cette fois-ci sur le moteur de Rendu Mantra. Le but de ce projet est de mettre en avant le dragon, utilisé dans le cadre du projet intensif en 1^{re} année de Master. Il avait été convenu d'ajouter à ce dragon une mer de nuage afin de reconstituer le décor du projet intensif.

Ainsi la méthode de création de nuages reste la même (à partir d'une géométrie) et le rendu est fait cette fois-ci avec le matériau créé par défaut sur Houdini (nommé « cloud ») et une lumière directionnelle. Le Cloud Light étant utilisé pour coloriser et illuminer les nuages a été pris en compte :



Cette image ne contient pas seulement des nuages volumétriques, mais aussi une image de mer de nuage placée à l'arrière afin d'apporter rapidement une profondeur à l'image. Cela a été réalisé en compositing.

5. Le compositing

Le compositing est l'étape, après le rendu, qui consiste à apporter des modifications sur la ou les images exportées par le logiciel 3D. Ainsi, dans les paramètres de rendu il est possible de définir différents types de « passe » qui sont des images répondant à un besoin bien spécifique tel que la lumière directe ou indirecte, le SSS (SubSurfaceScattering), les Normals, etc.

Dans le cas des nuages que j'ai réalisés en stage, j'ai effectué ce qu'on appelle un « Eclairage RVB à trois points » (la définition se trouve dans la partie *Rendu*) Il est possible alors au compositing d'« éclairer » et d'appliquer une modification plus précise en fonction de l'étalement des zones de chaque couleur. Voici un exemple d'un nuage rendu sur Renderman :

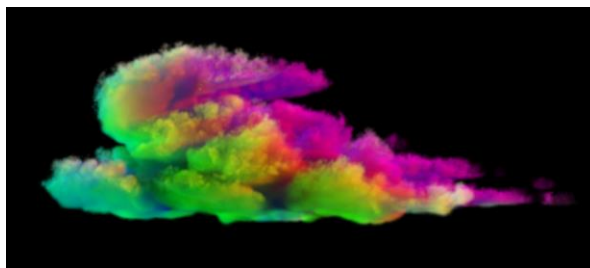


Image avec les composantes RVB



Lumière principale (canal Rouge)



Lumière de remplissage (Canal Vert)



Lumière de contre jour (canal Bleu)

Le résultat des modifications réalisé sur le logiciel de Compositing Nuke est dans la partie ANNEXE.

Cette technique est souvent utilisée dans le cas de rendu d'effet volumétrique, cela permet d'avoir un contrôle plus précis sur le volume. Dans le cas des nuages, je me suis basée sur les recherches que j'ai effectuées, notamment provenant de la thèse de Zhaoxin Ye, publié en 2014 et intitulé « Volumetric Cloud Rendering : An Animation of Clouds ».

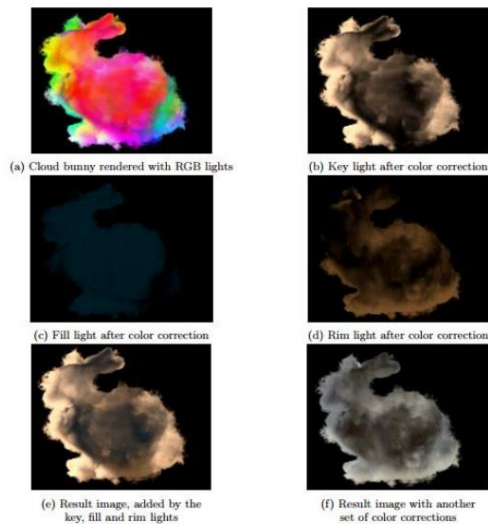


Figure 3.5: Cloud bunny render and compositing in Nuke
Bunny grid downloaded from the OpenVDB website [5]

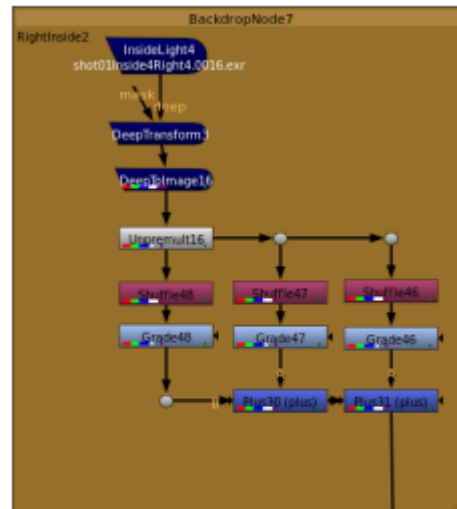


Figure 3.4: Nuke nodes for RGB lights

Images provenant de sa thèse

L'image de gauche représente les différentes modifications apportées aux canaux rouge, vert et bleu. L'image de droite correspond à la suite de nodes dont elle avait besoin pour effectuer ses modifications. Le node « Shuffle » permet de récupérer le canal (1 node par canal), le node « Grade » est utilisé pour la modification des valeurs de chaque canal et les nodes « Plus » réunis les trois canaux modifiés. Il est possible aussi d'utiliser le node « ColorCorrect » afin d'avoir plus de liberté sur les modifications (Global/Ombres/Tons moyens/Tons clairs).

Comme indiqué dans la partie *Nouvelle méthode : Éclairage via les lumières directionnelles*, j'ai testé l'intégration d'une image de décor sur mon rendu de nuage en Compositing. En effet, une image de ciel m'a permis d'apporter plus de profondeur. L'avantage du Compositing est de pouvoir apporter des modifications en plus de ce qui n'a pas été fait au rendu. Ici j'ai donc tenté d'intégrer mes nuages avec le fond dans le but de ne pouvoir dissocier les deux.



Rendu du dragon¹⁰



Rendu des nuages volumétriques



Passe de masque



Rendu Final

6. Développement

Lors du stage réalisé pendant 3 mois à TeamTO en été 2015, il a fallu réfléchir à l'intégration d'Houdini dans leur pipeline. Tout d'abord mon sujet concernait l'étude de la simulation de foule sur Houdini dans le cas d'un système d'import/export entre Houdini et Maya, mais ceci a changé lorsque j'ai eu une réunion avec mon tuteur et le superviseur des effets spéciaux. En effet, je leur ai montré mes différents nuages réalisés sur Houdini et un script sur Maya permettant d'instancier de manière totalement aléatoire les 3 ou 4 modèles de nuages que j'ai sélectionnés dans la scène dans le but de créer une mer de nuage. L'instanciation dépendait alors du nombre de subdivisions et de la taille de la grille qu'on aurait définis au préalable sur la scène ainsi que de l'espacement voulu entre chaque nuage.

De ce fait, mon nouveau sujet était alors de créer des nuages volumétriques sur Houdini et de les rendre sur Maya avec le moteur de rendu Renderman (REYES). Ainsi, après avoir discuté avec le superviseur des effets spéciaux concernant les différents besoins en termes d'outils, il a affirmé que la création de scripts était nécessaire permettant ainsi d'automatiser certaines tâches. L'idée est de modéliser une banque de données de nuages sur Maya, enregistrée dans le format alembic (.abc) et exportée dans un répertoire du projet, ici « alembic », en fonction de la production dans laquelle on se trouve. Un script python nommé « fxExportAbc.py » permet alors d'exporter un set¹¹ sélectionné (comportant les géométries des nuages) depuis Maya, il détecte automatiquement le projet de la production dans lequel l'utilisateur se trouve et crée un système de version sur le fichier créé :

¹⁰ Le rendu a été réalisé par Selami Boudjerda

¹¹ Un set est une collection d'objets sur laquelle une action peut être répercutée sur l'ensemble des objets compris dans ce set.

- nomDuSet.000.abc -> correspond au « *last* » : la version toujours mise à jour
- nomDuSet.001.abc -> première version du fichier alembic
- nomDuSet.nnn.abc -> incrémente à chaque nouvel enregistrement et actualise le « *last* »

Un autre script nommé « fxBuildHip.py », écrit en python et Hscript¹², permet de créer une scène Houdini en fonction des différents fichiers *last* trouvés dans le dossier correspondant au nom du projet, au numéro de l'épisode et au plan indiqué en paramètre. Lancé via un interpréteur Python, il va créer à la racine du projet maya un dossier nommé « nomDuProjet »+ « _houdini » dans lequel il y aura toutes les scènes Houdini créées. Pour chaque scène, il y aura autant de node géométrie que de fichiers alembic trouvés, dans lequel un node Alembic pointera vers le fichier correspondant. La création de fichiers Houdini se fait de la même façon que pour la création de fichiers alembic grâce au système de version. Ce système permettant de laisser une trace des différentes créations et modifications réalisées auparavant.

Le dernier script, nommé « fxHouOpenShot.py », se lance depuis la console python d'Houdini, il permet d'ouvrir la scène Houdini en fonction du nom du projet, du numéro de l'épisode et du plan indiqué.

Enfin, un autre script aurait permis de rafraichir les scènes Houdini dans le cas où il y aurait de nouveaux fichiers alembic créés par exemple, et donc dans ce cas ajouter les nodes correspondant dans la scène en question. Si des fichiers alembics avaient été supprimés, alors le but était de cacher le node sans le supprimer afin que la personne décide ou non de le garder. Ce script n'a malheureusement pas pu être fait en dépit du peu de temps qu'il restait.

En conclusion, réfléchir sur un pipeline fonctionnel et efficace est une des problématiques importantes qui permet à n'importe quel projet d'avancer dans de bonnes conditions. Pour cela il faut prendre en compte le besoin des artistes ou superviseurs qui repèrent les tâches qui pourraient être automatisées. Et enfin, créer des scripts accompagnés ou non d'interface permettant de faciliter le travail et qui, automatiquement apporterait un gain de temps sur un projet.

C'est en effet le poste que j'occupe actuellement chez Brunch Studio depuis le mois de février 2016, studio basé à Paris et correspondant à la fusion du pôle 3D des studios Eddy et NightShift. Alexis Prayez, ancien étudiant d'ATI et ancien lead pipeline chez Brunch Studio, a été mon superviseur pendant 2 mois et demi, ce qui m'a permis de prendre en compte tous ses conseils concernant les méthodes de travail. Il a su partager ses connaissances acquises depuis presque 5 ans d'expérience chez Brunch Studio, ce qui me permet depuis son départ d'effectuer plus facilement les demandes réalisées par le superviseur 3D. De plus, plusieurs professionnels dans le domaine de la 3D qui ont travaillé dans différents studios de Paris, indiquent qu'il existe très peu de boîtes comme Brunch ayant un pipeline aussi solide. Ainsi, étant actuellement seule en

¹² Langage de programmation sur Houdini, y compris Python et VEX.

Recherche et Développement, j'apprends à gérer les différents scripts du pipeline tout en avançant sur l'amélioration ou la création d'outils proposés par le superviseur 3D.

Conclusion

J'ai compris grâce à ce mémoire que le choix du sujet qu'on devait faire en début d'année est important. Il doit pouvoir être l'élément moteur qui te pousse à aller le plus loin possible et il doit regrouper un ensemble de domaines qui t'intéresse, te permettant ainsi d'alimenter ton mémoire durant toute une année scolaire. Effectivement, pour ma part, le sujet que j'ai choisi répond à tous ces critères. En réalité, mes travaux ont commencé avant le début ce mémoire et cela ne m'a pas empêché de toujours chercher à améliorer mes résultats. C'était en effet intéressant de pouvoir continuer ces efforts dans un cadre scolaire et d'être suivie par des professeurs et des intervenants extérieurs présents et t'apportant leur savoir sur ton sujet.

Le travail que j'ai fourni m'a permis de voir l'évolution de mes connaissances dans le domaine de la 3D entre mon arrivée à la formation ATI et la fin de cette 2^e année de Master. Ce mémoire permettra alors de laisser une trace sur tout ce dont j'ai appris et appliqué depuis mon entrée dans cette formation.

Les recherches effectuées ont servi à l'amélioration de la création et du rendu des nuages. Ainsi, pendant le projet intensif qui s'est déroulé en janvier, j'avais une meilleure vision de ce qu'il fallait faire, ceci permettant d'obtenir des nuages qui répondaient à la fois à mes attentes et à ceux du groupe. De plus, la rencontre de nombreux professionnels durant ce projet intensif nous a permis d'avoir des conseils, des avis et une aide extérieure qui a favorisé son bon déroulement.

Depuis le début, je cherchais à découvrir et à traiter les différents domaines afin de comprendre leur fonctionnement et ainsi leur place dans la création du système de nuages volumétriques. Cependant, je n'ai pas pu réaliser ou tester tout ce dont je voulais faire pendant ce mémoire. Par exemple, ma volonté de créer un shader reproduisant la théorie appliquée aux nuages (Théorie de Mie) était une idée qui m'est parvenue suite aux recherches effectuées concernant l'application de cette théorie en image de synthèse. De plus, l'interaction avec des éléments et l'animation du nuage de manière plus approfondie sont deux points que je souhaitais améliorer. Et enfin, l'automatisation de certaines tâche dans la création de nuages volumétriques, qui était de base, un point essentiel dans mon sujet de mémoire.

Je reste convaincue que la fin de ce mémoire n'indique pas la fin de la réalisation des différentes idées qui se sont développées au cours de l'année. Ceci, permettant à l'avenir, de pouvoir apporter mes connaissances aux futurs passionnés de nuages volumétriques et peut-être d'approfondir ce sujet dans le cadre d'une thèse.

GLOSSAIRE

Convection : Mouvement vertical de l'air, ascendant ou descendant, par opposition à l'advection, qui désigne les mouvements horizontaux.

Troposphère : La troposphère est la couche de l'atmosphère terrestre située au plus proche de la surface du globe jusqu'à une altitude d'environ 8 à 15 kilomètres, selon la latitude et la saison. Elle est plus épaisse à l'équateur qu'aux pôles. En moyenne, la température diminue avec l'altitude, à peu près de 6,4 °C tous les 1000 mètres.

Luminance : La luminance est une grandeur correspondant à la sensation visuelle de luminosité d'une surface. Une surface très lumineuse présente une forte luminance tandis qu'une surface parfaitement noire aurait une luminance nulle.

Pipeline : Un pipeline gère le flux de données qui se déplace à travers les différentes étapes de production pour créer des images générées par ordinateur.

Workflow : De façon pratique, le workflow sert à décrire le circuit de validation, les tâches à répartir entre les différents acteurs d'un processus, les délais, les modes de validation, et à fournir à chacun des acteurs les informations nécessaires à l'exécution de sa tâche.

BIBLIOGRAPHIE

Documents (notes, échanges) :

Course Notes :

Production Volume Rendering Fundamentals, Magnus Wrenninge, Nafees Bin Zafar, SIGGRAPH 2011

Volumetric Methods in Visual Effects, Magnus Wrenninge, Nafees Bin Zafar, SIGGRAPH 2010

Cloud Modeling and Rendering for « Puss in Boots », Brett Miller, Ken Museth, Devon Penney, Nafees Bin Zafar, DreamWorks Animation SKG, 2012

VDB : High-Resolution Sparse Volumes with Dynamic Topology, Ken Museth, DreamWorks Animation, 2013

Scattered Spherical Harmonic Approximation for accelerated Volume Rendering, Nafees Bin Zafar, Johan Akesson, Doug Roble, Ken Museth, Digital Domain, 2006

TT Clouds, Nadine Dommanget, TeamTO, 2015 (obtenu suite à un échange Skype)

Mémoires :

Gestion et Organisation d'un pipeline pour les effets spéciaux au sein d'une production, Guillaume LEMAIRE, Mémoire Master 2 ATI, 2013-2014

Thèse :

Volumetric Cloud Rendering : An animation of Clouds, Zhaoxin Ye, Clemson University, 2014

Livres :

J. D. Foley ; A. Van Dam ; S. K. Feiner (1995), *Introduction à l'Infographie*, Addison-Wesley France, 573 p.

D. S. Ebert ; F. K. Musgrave ; D. Peachy ; K. Perlin ; S. Worley (2003), *Texturing & Modeling, Third Edition : A procedural approach*, Morgan Kaufman, 712 p.

M. Pharr ; R. Fernando (2005), *GPU Gems 2 : Programming Techniques for High-Performance Graphics and General-Purpose Computation*, Addison-Wesley, 814 p.

WEBOGRAPHIE

Définitions et caractéristiques des nuages d'un point de vue météorologique :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Nuage>
<http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/les-nuages>
<http://eduscol.education.fr/obter/appliped/circula/theme/nuages.htm>
<http://www.astrosurf.com/luxorion/meteo-oper-nuages.htm>
http://www.notre-planete.info/terre/climatologie_meteo/nuages.php
https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_de_Mie
<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/convection/18962>
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Transmittance>
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Absorbance>
http://tpe-couleurduciel-2009.over-blog.com/pages/II_Le_ciel_bleu_selon_la_loi_de_Rayleigh-2523694.html

Nuages volumétriques :

http://www.sidefx.com/index.php?option=com_content&task=view&id=2034&Itemid=68
https://www.dailymotion.com/video/x3cpo40_the-good-dinosaur-behind-the-scenes_shortfilms
https://www.dailymotion.com/video/x3hbdc9_making-of-pixar-s-the-good-dinosaur_shortfilms
http://www.sidefx.com/index.php?option=com_content&task=view&id=2034&Itemid=68
<http://webstaff.itn.liu.se/~jonun/web/teaching/2009-TNCG13/Siggraph08/talks/1999-abstract.pdf>
<https://www.fxguide.com/featured/behind-the-scenes-with-the-siggraph-caf-winners/>
<http://webstaff.itn.liu.se/~perla/Siggraph2011/content/talks/28-schneider.pdf>
<https://www.fxguide.com/featured/ice-age-4-riding-the-new-wave/>
<http://www.unit-image.fr/film/michelin/33> Pub Michelin
<https://vimeo.com/125565042> Amelia
<https://vimeo.com/50678100> Pub Guinness
<http://www.moving-picture.com/work/perrier-hot-air-balloon> Pub Perrier Hot Air Balloon

Partie Technique :

https://www.sidefx.com/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=117&Itemid=374 Houdini
http://www.sidefx.com/index.php?option=com_content&task=view&id=2391&Itemid=379
Houdini Cloud FX and Volumes
https://www.sidefx.com/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=227&Itemid=381 Houdini Engine
<http://www.ozone-plugin.com/> Vue ou oZone
<http://openpipeline.cc/pipeline-specification/>
<http://www.openvdb.org/>
<http://www.openvdb.org/documentation/doxygen/faq.html>
<http://www.museth.org/Ken/Publications.html>

ANNEXES