

Université Paris 8

Master Création Numérique

parcours : *Arts et Technologies de l'Image Virtuelle*

De la fascination pour la neige : symbiose
sémantique et affective par la pratique
poïétique de la neige en image de synthèse

Florentin LUCE



Mémoire de Master 2

2018 - 2019

Remerciements

Merci à,

L'ensemble de l'équipe pédagogie d'ATI qui nous a accompagné durant 3 merveilleuses années, avec une attention particulière pour Chu-Yin qui a été ma directrice de mémoire.

Les Petits Oignons, Clara, Thomas et Justin, acolytes de toujours qui ont su supporter mon caractère et mes colères durant toutes ces semaines de projets intensifs que nous avons passés ensemble.

Mes camarades de classe pour leur attention et bonne humeur tout au long de la formation.

Gaetan et Laura pour leur oreille attentive dans les moments de doutes.

Ma famille qui m'a toujours soutenu dans mon projet professionnel.

A Anne-Laure sans qui je ne serais certainement pas là.

Résumé

De la fascination pour la neige : symbiose sémantique et affective par la pratique poïétique de la neige en image de synthèse

La Neige surgit dans nos vie sans crier garde pour recouvrir le monde d'un manteau blanc silencieux et ascétique. Sa présence soudaine et imprévisible divise les populations pour qui elle nous ramène à une forme d'enfance tandis que pour d'autres, elle apporte quantité de soucis. Le milieu de l'art s'est de la même manière, partagé sur sa représentation d'autant plus que son potentiel heuristique s'est révélé à la fois multiple et très difficile à appréhender. La neige, établit des relations symbiotiques avec ce que l'artiste lui met à disposition pour pouvoir révéler sa nature sensorielle, fantastique et onirique. Ce mémoire vise donc à mieux comprendre l'importance de la neige comme sujet fascinant dans l'Art et son rapport avec son environnement.

Abstract

Fascination for snow : semantic and emotional symbiosis by the poietics practice of the snow with computer graphic images.

Snow pops silently in our live to cover the world with its white and ascetic mantle. Its sudden and unpredictable presence divides people for whom its brings a mount of problems. In the same way, Art Wold has been divided about its représentation especially its interpretative potential can be very different and hard to work with. Snow build symbiotic relationships with what the artist give it in order to show its sensitive, fantastical and dreamlike nature. This thesis aims to better understand the importance of the snow as a fascinating subject in Art and its relationship with its environnement.

Sommaire

Introduction11

PARTIE I

Le rapport à la neige : une matière fascinante13

I. Représentations artistiques et symboliques au cours de l’Histoire ..15

A. Héritages historiques, symboliques et artistiques.....15

1. La symbolique du blanc immaculé.....15

2. L’innovation flamande : représentations naturalistes16

B. Les outils de l’expression artistique au service d’un message21

1. Le jeu des couleurs : des Flamands au Romantisme22

2. L’impression dans la lumière : romantisme et impressionnisme23

II. La multiplicité sémantique25

A. La Neige, une matière instable.....25

1. Polymorphisme des allégories de l’Hiver.....25

2. Obstacle épistémologique.....27

3. Privation des sens : Ouïe et Vue28

B. L’Inuktitut.....31

1. La thèse de la relativité linguistique.....31

2. Une langue polysynthétique.....32

III. Paramètres physiques et chimiques.....34

A. Généralités et définitions34

1. Phénomène météorologique34

2. Cristaux, flocons et grains de neige36

B. Réaction à la lumière38

1. Types de manteaux et d’amas.....38

2. Eclaircissement et contrastes.....40

3. Couleurs41

C. Attributs particuliers.....43

1. Variabilité et métamorphoses : des cohésions différentes.....43

2. Etudes de Disney.....44

PARTIE II

Reproductions et illusion du réel47

I. Donner vie à la neige.....	49
A. Simulations hybridées.....	49
1. Le choix du Solver.....	49
2. Méthodes Lagrangiennes et Euleriennes.....	50
3. Etude du Material Point Méthode.....	52
B. Particules et fumées.....	54
1. Des méthodes traditionnelles.....	54
2. Piper et la simulation de sable.....	56
II. Processus poétique : shading et rendu.....	60
A. Shading.....	60
1. La Neige, un volume ?.....	60
2. Microdisplacing.....	63
B. Création d'un environnement.....	65
1. Plug-ins.....	65
2. Expérimentations sur Houdini.....	66
C. La question du macro.....	68
1. Flocon en modèles cellulaires.....	69
2. Mise en place en scattering.....	71
3. Les Hair Systems.....	73
PARTIE III	
Mettre en scène la neige.....	77
I. Trois solutions dans l'appréhension de la neige.....	79
A. Les antagonismes à la rescousse de l'auteur.....	79
B. Le « Désert Intérieur » de Gilbert Durand.....	82
C. Le « Tombeau Fructueux » d'Emile Reynaud.....	83
II. Mise en pratique : WWS.....	86
A. Le travail d'échelle.....	86
1. Recouvrir la galerie.....	86
2. Création d'un flocon de neige.....	89
3. La difficulté du gros plan.....	91
B. La dimension symbolique.....	94
1. La Neige au centre de la narration.....	94
2. La sémantique et le rôle de la neige.....	95
Conclusion.....	98
Lexique.....	100

Bibliographie et sources101

Introduction

La neige est un élément météorologique dont l'appréciation varie selon les cultures, leur positionnement géographique et l'exposition à son égard. D'un point de vue occidental et européen, son intrusion rare mais invasive soulève des passions aussi bien positives que négatives. Qu'on s'en amuse, ou qu'on s'en plaigne, elle ne laisse jamais de glace celui qui la découvre. Telle la mer, l'océan ou l'infinie nature, la neige fascine son spectateur et c'est ce qu'il nous faudra comprendre et expliquer. Les peintres, les scientifiques, les auteurs, chacun à sa manière en a parlé et contribué à créer un mythe de la neige pour ceux qui ne la côtoient pas forcément. De fait, la fascination pour la neige implique une rencontre éphémère périodique et peu fréquente. Gontran de Poncins (1900-1962), aviateur et poète français dit à juste titre : « *Dix Jours de neige sont un plaisir, dix mois une obsession* ».

Moi-même ne suis pas insensible à la neige, sûrement parce que je n'ai pas eu très souvent l'occasion de l'observer et c'est peut-être pour cette raison que j'ai développé ma propre mythologie à son égard. Le choix de ce sujet a d'autant plus été motivé par la certaine proximité sémantique que j'entretiens avec la neige. Certains ont eu en effet tendance à me comparer à elle, du fait qu'elle soit à premier abord froide, mais plaisante voire chaleureuse. Notons déjà le paradoxe de la neige qui, dans sa nature est froide, frileuse et pourtant, invite à la convivialité. Cette matière blanche porte en elle un potentiel infini et déjà elle devient le qualificatif de la peau pour la jeune Blanche-Neige sur laquelle deux lèvres rouges sang semblent avoir été déposées, comme pour mieux faire ressortir l'expression de la beauté faciale de la jeune fille.

Cette image de la perle de sang tombant dans la neige, associée au mythe de *Blanche-Neige* a aussi joué un rôle essentiel dans la définition du sujet de ce mémoire. Elle porte en effet une symbolique forte entre pureté et mort, mettant en valeur d'avantage encore la symbolique de l'un et de l'autre. Il m'a paru alors intéressant de savoir comment les deux éléments s'équilibraient entre eux et comment celle image s'est-elle créée. Ainsi, il s'agit de comprendre comment la neige interroge la pratique poétique de l'auteur vers une symbiose sémantique et affective en images de synthèse. Pour cela, l'analyse du rapport des artistes et des scientifiques vis-à-vis de la neige nous montrera non seulement quelles en ont été ses usages aux interprétations multiples

mais aussi ce qu'elle implique en terme de matériaux. Ensuite, nous parcourrons le monde de l'image de synthèse au travers des simulations et des techniques de rendus de neige en connaissance de ses enjeux physiques et visuels, pour enfin, proposer différentes méthodes de mise en scène à partir de solutions théoriques qui répondront à la problématique sémantique de la neige. Afin de procéder au rendu et la mise en place de la neige en images de synthèse, j'utiliserai les logiciels Blender et Maya pour le rendu, ainsi qu'Houdini, logiciel de modélisation procédurale et de FX.

PARTIE I

Le rapport à la neige : une matière fascinante

*« Je m'éveille, attendu par cette neige fraîche
Qui me saisit aux creux de ma chère chaleur.
Mes yeux trouvent un jour d'une dure pâleur
Et ma chaire langoureuse a peur de l'innocence... »*

Paul Valéry, « Neige »

Le poète français Valéry (1871-1945) nous confie ici à la fois sa fascination et son angoisse vis-à-vis de la neige qu'il présente déjà comme un absolu d'innocence. Sa faible représentation artistique ou picturale dans l'Histoire de l'Art peut nous indiquer que le point de vue de l'auteur a largement été partagé. Il s'agit donc de comprendre quelle est l'histoire de la neige en tant qu'objet d'art puis d'expliquer la position mitigée et difficile de l'artiste à son égard avant de se tourner vers la nivologie qui sera peut-être la plus apte à révéler les raisons de la fascination pour la neige.

I. Représentations artistiques et symboliques au cours de l'Histoire

Ce que dit la neige pour les artistes

La représentation de la neige dans les arts picturaux ne peut pas être considérée comme appartenant à un genre à part entière à l'instar des portraits ou des natures mortes dont des codes ont été institués par le milieu de l'Art au fil du temps. Le faible nombre de paysages enneigés témoigne du manque d'attachement des artistes à son égard. Après la peinture flamande du XVIIIème siècle, il faut attendre le romantisme, à la fin du XIXème siècle pour que la neige et l'hiver soient d'avantage exploités et que l'on retrouve un gain d'intérêt pour cette élément dont la symbolique porte pourtant une expressivité à part entière.

A. Héritages historiques, symboliques et artistiques

1. La symbolique du blanc immaculé

*« La neige étant son manteau blanc,
Et les yeux levés vers le ciel
A genoux les petits enfants, »
Tino Rossi, « Petit Papa Noël »*

Lorsque Tino Rossi (1907-1983) entonne sa célèbre chanson de Noël, il fixe immédiatement l'image de la neige comme un voile pieu posé sur le monde. Avant lui déjà, le romantisme littéraire fait de la neige un univers propice à la pureté, l'innocence et le sacré. Quel autre élément que la neige est en effet capable de recouvrir tout un paysage d'un blanc aussi clair ? Encore aujourd'hui il est légitime d'éprouver une certaine satisfaction lorsqu'on découvre un lieu du quotidien métamorphosé par ce dépôt blanc au point qu'on ne le reconnaisse pas toujours. Les poètes romantiques selon l'universitaire et philosophe Gilbert Durand, sont même aveuglés par tant de

lumière qu'il en devient difficile d'écrire à son sujet. Rilke (1875-1926) parle ainsi « *d'un jour trop blanc [qui] prend l'aspect d'éternité* » là où Jean-Marc Bernard (1881-1915) dans *Le Haut-Vivarais l'hiver* ajoute : « *malgré soi on devient la proie de la méditation... dans de pareils déserts tout paysan devient anachorète. Le catholicisme prend un air fermé* ». La neige sous couvert de religieux revêt déjà une certaine anxiété chez les auteurs. Elle en viendra même à s'associer avec certaines créatures malveillantes comme la Dame Blanche ou le Yéti.

Il faut dire que la neige n'est pas un élément toujours sain ; la mort semble en effet être dans son sillage. L'Hiver est une saison froide où le manque de salubrité, les logements précaires et le mode de vie plus difficile des siècles précédents favorisait les décès. La nature elle-même y perd toute force vitale si bien que certains animaux préfèrent plonger dans un sommeil profond en attendant le retour des beaux jours. Fuie par le vivant, la neige est pourtant accueillie avec la joie et les rires des enfants lorsqu'ils la retrouvent. Or ce plaisir ne peut exister que s'il est bref ; il ne faut donc pas que la neige modifie de façon prolongée notre quotidien pour qu'elle conserve son caractère heureux et fascinant.

Durant la renaissance, lors de la redécouverte des mythes greco-latins par les humanistes, on associe l'Hiver au rapt de Perséphone par Hadès. Perséphone est la fille de Déméter, déesse de l'agriculture, qui a été mariée de force à Hadès, dieu des Enfers et par extension des morts. Tous les six mois elle doit rejoindre son mari pour régner à ses côtés en Enfer, avant de pouvoir jouir du même temps en surface aux côtés de sa mère. Cet enlèvement est en fait une métaphore du cycle saisonnier où Hadès, l'Hiver, prive la nature de ses fruits pendant une demie année avant de lui laisser à nouveau sa liberté durant ce qu'il serait aujourd'hui le printemps et l'été.

Ainsi, la neige porte principalement une dimension biblique et mythologique, d'innocence, de mort ou de sommeil que les peintres et les poètes ont tenté d'exploiter. L'analyse du tableau de *L'Adoration des mages sous la neige* (1661) de Bruegel l'Ancien nous confirme cette tendance (Figure 1).

2. *L'innovation flamande : représentations naturalistes*

Pierre Bruegel, dit l'Ancien, est un peintre flamand du XVIème siècle. Avec *L'Adoration des mages sous la neige*, Il propose une interprétation religieuse où le

blanc, symbole de pureté, suggère le Christ à peine visible dans le bord inférieur gauche du tableau. Or la mise en scène semble plutôt valoriser la présence du peuple au travail où chaque personnage s'efface dans la foule qu'il compose, sans faire ressortir un sujet précis sinon le contraste saisissant des couleurs avec le blanc de la neige. Il faut savoir que dans la mythologie grecque l'hiver est aussi associé à Hephæistos, dieu des artisans, forgeron vivant dans un volcan. La neige et l'hiver privant l'Homme de la nature et par extension des activités agricoles, il se tourne alors vers des activités plus artisanales, du foyer ou de la chasse. Ce n'est donc pas surprenant que la neige devienne un symbole de l'activité manuelle et quotidienne que Pierre Bruegel exploitera d'avantage dans ses tableaux.



FIGURE I - L'ADORATION DES MAGES SOUS LA NEIGE, PIERRE BRUEGEL L'ANCIEN, 1561

Dans *Paysage d'hiver avec patineurs et trappe aux oiseaux* (1565) puis *Chasseurs dans la neige* (1565), Bruegel n'exprime aucune narration qui met en valeur un mythe ou un événement religieux. Ici, il cherche simplement à représenter des événements quotidiens sous la neige, sans lui donner aucune connotation allégorique. Pour la première fois, l'Hiver et la neige deviennent alors le sujet du tableau, d'autant

plus que *Chasseurs dans la neige* est issue d'une série où chaque tableau est censé représenter un mois à la manière des Livres d'heures. Ses nombreux tableaux de paysages de neige vont influencer toute l'école flamande du XVI et XVII^e siècle, notamment Hendrick Avercamp (1585-1634) considéré comme « *le meilleur peintre de scènes d'hiver* » (Zumthor, 1969)¹, « *qui peint le côté festif de l'hiver dans ses peintures [...] et la "fièvre de glace" grâce à des détails anecdotiques ou pittoresques* » (Metzger et Tabeaud, 2010).

« Ces scènes sont tellement pénétrées de naïve gaieté et de joie spontanée que ce sont cette gaieté et cette joie qui semblent constituer le vrai contenu, et non la grossièreté et la vulgarité des scènes. (...) Le moment idéal réside justement dans cette licence exempte de soucis : c'est le dimanche de la vie, qui nivelle tout et éloigne tout ce qui est mauvais ; des hommes doués d'une aussi bonne humeur ne peuvent être foncièrement mauvais ou vils »
Hegel, *Esthétique*, 1971

La florissante production de paysages hivernaux de l'école flamande résulterait selon William James Burroughs d'une période où les températures européennes ont été excessivement basses durant ce qu'on a appelé le « petit âge glaciaire » et auraient marqué les peintres sur un siècle compris entre 1565 et 1665. Il en veut pour preuve qu'avant cette époque, la représentation picturale de la neige était bien moins abondante voire inexistante. Ce n'est en revanche pas pour autant qu'une fois les températures revenues à leur niveau d'origine que les paysages hivernaux ont cessé d'être peints. Leur continuité s'explique en fait par un phénomène de mode qui a traversé l'école flamande du XVII^e siècle.

Il est légitime de se demander jusqu'à quel point les peintres flamands ont représenté avec fidélité la réalité de l'hiver. Alexis Metzger et Martine Tabeaud soulignent en effet que si le changement climatique a bien été un facteur de la représentation de la neige à cette époque, il n'en reste pas moins que l'Hiver a été magnifié. Tout d'abord, en comparaison avec les recherches de Jean Lombard dans *Peinture et société dans les Pays-Bas du XVII^e siècle*, l'intensité du froid a été

¹ Paul Zumthor dans son introduction pour *La vie en Hollande au XVII^e siècle: tableaux, dessins, estampes, argenterie, monnaies, médailles et autres témoignages*; exposition 11 janvier - 20 mars 1967, Musée des Arts Décoratifs, Paris 1967. Inst. Néerlandais, 1967.



FIGURE 2 - *CHASSEURS DANS LA NEIGE*, PIERRE BRUEGEL L'ANCIEN, 1565



FIGURE 3 - *SCENE D'HIVER*, JACOB VAN RUISDAEL, 1670



FIGURE 4 - PAYSAGE D'HIVER, CASPAR DAVID FRIEDRICH, 1811



FIGURE 5 - LA PIE, CLAUDE MONET, 1869

exagérée pour pouvoir peindre certains éléments emblématiques de la neige, à savoir l'eau gelée sur laquelle peuvent patiner les gens. De plus, alors que les contemporains ont fait part d'épisodes neigeux très violents, provoquant parfois la mort d'animaux, d'humains et le manque de vivre, les tableaux flamands en font abstraction dans leurs représentations. Le choix de cette amélioration de la réalité prouve que les peintres « ont plutôt représenté des contes visuels, refusant le plus souvent, sous couvert d'en peindre les apparences, l'ici et le maintenant » (Lombart, 2001). Le choix de créer un conte à partir de la neige n'est finalement rien d'autre qu'une forme de fascination que les artistes ont voulu transmettre à leurs contemporains.

La représentation de la neige par les peintres flamands est donc le fruit d'un événement météorologique qui a marqué les populations. Les artistes se sont donc voulu les artisans d'une « *fenêtre sur le monde* » selon les termes d'André Bazin (1918-1958), à savoir laisser une trace de ce qui a été, même si certains éléments ont été améliorés. C'est pourquoi, dans ces peintures, il n'y a ni religion, ni mort, ni sommeil, juste la neige et les gens dans leur quotidien. C'est le reflet d'une certaine connivence partagée par ces peintres pour la neige qu'ils ont cherché à représenter sans arrière-pensées. Pourtant, malgré une relative objectivité, certains éléments picturaux de l'école flamande témoignent de la volonté de l'artiste de faire de la neige un sujet à part entière.

B. Les outils de l'expression artistique au service d'un message

Gilbert Durand, dans *Champs de l'imaginaire* (1999) note que la principale difficulté apportée par la neige est sa privation visuelle. En effet là où l'artiste est habitué à composer avec des couleurs, il est confronté à son blanc bien vierge. Pourtant, les peintres flamands des paysages d'hiver comme Bruegel ou Avercamp ont choisi de jouer sur cette clarté pour non seulement la mettre en valeur mais aussi appuyer leur fascination à son égard.

1. *Le jeu des couleurs : des Flamands au Romantisme*

Reprenons le tableau *Chasseurs dans la neige* de Bruegel évoqué précédemment, qui représentait non pas du religieux mais du quotidien où la neige ne porte plus une signification si ce n'est celle de sa présence dans l'Histoire (Figure 2). Elle y prend une place prédominante comme élément de décors et s'accorde une légère teinte verte donnée par le ciel pour témoigner de la dureté de la saison. Pourtant, le froid ainsi présent et ressenti aussi bien par le spectateur du tableau que les hommes et femmes représentés, n'entame pas la joie de chacun notamment de ceux jouant sur les étangs gelés. Ceux-ci sont mis en avant par le contraste du noir qui oppose leur silhouette au blanc de la neige. L'utilisation du contraste par obscurité est un élément essentiel dans la mise en scène de l'hiver ; Monet, Daubigny et d'autres reproduiront les mêmes astuces colorimétriques pour leur tableaux de neige. Les habitations humaines portent elles aussi un contraste via à vis de la neige pour mieux la faire ressortir. De couleur orangée, elles s'opposent au vert bleuté de l'extérieur dans un soucis peut-être symbolique, pour signifier la chaleur du foyer où il fait bon d'y retourner.

De prime abord, l'utilisation des couleurs chaudes et du noir permettrait de contraster avec le blanc de la neige ; mais elle permet aussi d'insérer dans la composition de l'image des lignes de forces qui nous proposent une lecture chez Bruegel plutôt positiviste de l'Hiver. Les arbres et les maisons du premier plan forment une diagonale qui amène vers les étangs où l'on s'amuse tandis que le lointain est bloqué par une montagne. Ainsi, les chasseurs de retour sont invités à aller se détendre avec le reste du village, récompensés de leur dur labeur. Cependant, une même proposition de composition que la neige permet, peut donner une lecture beaucoup plus sombre de la vision d'un artiste. Car la neige est un élément clivant, elle fascine aussi bien en bon qu'en mal. Le peintre hollandais Jacob Van Ruisdael (1628-1682) dans *Scène d'Hiver* (1670) propose un paysage beaucoup plus pessimiste où le noir vient plutôt se mettre du côté de la neige et créer un chemin de clarté vers le lointain. Ici, le peintre donne l'impression que la neige est une menace et que le retour des beaux jours est attendu avec impatience (Figure 3). Ce tableau parle alors plutôt d'espoir.

2. L'impression dans la lumière : romantisme et impressionnisme

Lorsque les peintres romantiques allemands et anglais peignent à nouveau l'Hiver et la neige durant la deuxième décennie du XIX^{ème} siècle, une nouvelle vague de froid vient de frapper l'Europe. L'événement le plus célèbre est certainement l'échec de la campagne de Russie des armées Napoléoniennes, obligées de battre en retraite face à la voracité des températures négatives. Si les peintres cherchent à représenter ce nouvel épisode météorologique, il s'agit pour eux de rendre compte non plus d'une situation mais plutôt d'une atmosphère. A l'opposé des flamands, dont les couleurs vives permettaient à la neige de surgir du tableau, les romantiques puis les impressionnistes choisissent des palettes de couleurs plus réduites mais avec un jeu de lumière plus réaliste pour mettre en valeur le paysage.

Caspar David Friedrich (1774-1840) représente des paysages d'hiver, pour en faire des lieux de solitude, jamais fréquentés, où l'Homme est absent, en total opposition avec ceux grouillant de vie des peintres flamands. De manière générale, ses oeuvres portent une intense gravité, mais lorsqu'il y ajoute de la neige, elles prennent un caractère sacré où règne l'austérité. Le romantisme cherche à exacerber les émotions. C'est pourquoi, ses paysages immaculés portent une dramaturgie spirituelle portée par la lumière. Ainsi, si la neige y est un sujet à part entière, les artistes romantiques lui confèrent un caractère religieux qui se retrouve chez les poètes de la même époque. *Paysage d'Hiver* (1811) de Friedrich permet de rendre compte du niveau de spiritualité et d'idéalisation que le peintre fait de la neige (Figure 4). Il y développe la notion de paysage romantique rempli de sentiments : « *die romantische Stimmungslandschaft* » où le contraste saisissant apporté non plus par les objets mais par la lumière du tableau révèlent la force terrifiante de la nature. La présence d'un crucifix, devant lequel un éclopé prie pour sa guérison, auquel s'ajoute au fond dans une brume qui n'envie rien au *sfumato*² de De Vinci, une imposante église, redonne à la neige tout son caractère divin qui caractérise presque l'art symbolique.

Les réalistes et impressionnistes de la fin du siècle, perdureront la tradition de la mise en scène lumineuse de la neige mais cette fois en reprenant le concept des

² Effet pictural qui donne aux éléments d'un tableau des contours imprécis

flamands où elle est vue comme lieu de vie. Que l'on observe les tableaux de Renoir, Monet ou Daubigny, l'usage de la lumière se reflétant dans la neige est primordiale. Ainsi, la neige revêt des couleurs parfois orangée, parfois bleutée, ce qui lui offre un panel de représentation très grand. Bien que le jeu des contrastes noir/blanc soient très présents, l'existence de la neige est assurée grâce à deux moyens picturaux. Tout d'abord la lumière permet de donner une certaine vivacité aux couleurs, auquel s'ajoute les coups de pinceaux rendus visible pour apporter un relief et une « impression » de neige. Si l'on prend la très célèbre *Pie* de Monet (Figure 5), le sujet existe aussi bien par son contraste avec la neige (noir sur blanc) que par sa netteté vis-à-vis du reste du paysage, à l'image d'un flou de profondeur de champs.

Les peintres ont ainsi, à travers les siècles, su développer leur propre langage pour représenter la neige. Sa symbolique renvoie principalement à du spirituel mais lorsque la neige s'incruste dans leur vie, ils se plaisent à en faire un sujet à part entière autour duquel les gens ou le silence s'activent. Pour certains elle en devient une source de plaisir, voire une muse, tandis que pour d'autres, son envahissante présence appelle un prochain espoir. Ainsi, contrairement à d'autres éléments, la neige dispose de plusieurs significations qui sont en opposition et il n'existe pas de consensus à son sujet si ce n'est que sa présence fascine. De plus, sa peinture a été le fait de brefs moments motivés uniquement par une volonté de témoigner d'événements historiques. Néanmoins, il en ressort donc une représentation limitée de la neige dans les Arts dont le caractère clivant peut s'expliquer par sa complexité physique et sémantique.

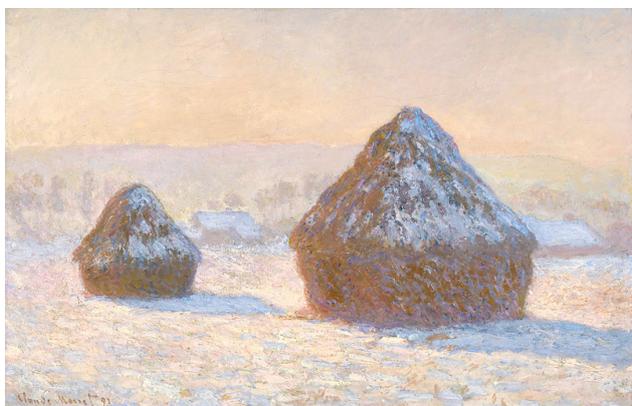


FIGURE 6 - LES MEULES, EFFET DE GELÉE BLANCHE, CLAUDE MONET, 1881



FIGURE 7 - LES PATINEURS À LONGCHAMP, AUGUSTE RENOIR, 1868

II. *La multiplicité sémantique*

La difficulté de la représentation de neige

La sémantique désigne l'étude des différents sens des mots et du langage, ou le rapport entre signifiant et signifié. On pourrait expliquer la présence spontanée, aux interprétations très diverses voire en opposition, de la neige dans les Arts (et les Lettres) par le fait qu'elle est très difficile à appréhender pour un artiste. La neige souffre en effet d'une sémantique trop peu définie car c'est une matière polymorphe, en manque de mots pour la décrire dans des langues peu habituées à sa présence.

A. *La Neige, une matière instable*

La neige est une matière instable qui de fait peut prendre des formes très diverses selon son environnement. Pour la décrire les langues indo-européennes disposent d'un champs lexical très réduit. D'un point de vue artistique, nous retrouvons cette difficulté sémantique par une variété d'interprétation que j'illustre au travers une analyse de deux allégories de l'Hiver (Figures 8 et 9) dont la neige en est l'essence. La diversité qui en découle peut s'expliquer par le caractère polymorphe et aseptisant de la neige sur le sensible.

1. *Polymorphisme des allégories de l'Hiver*

Si la neige dans l'Art occupe une période plutôt récente avec la photographie, la peinture, et même la poésie, l'Hiver a eu, en tant qu'allégorie une place de choix dans la sculpture classique. Or, en pleine période de normalisation de la représentation artistique, il est surprenant de voir à quel point sa personnification comporte des éléments parfois bien contradictoires que n'ont pas les autres allégories.

Ces deux termes³ représentent l'Hiver sous les traits d'un vieillard couvert par un drap. Une observation rapide nous laisse constater qu'en dehors de leur aspect physiologique, ces deux statues s'opposent en de nombreux points. Tout d'abord, dans leur posture, l'une semble faire face péniblement au froid qui l'entoure, emmitouflée

³ Nom donné aux statues dont les jambes sont des piédestaux appelés gaines

dans un épais tissu qui ne laisse percevoir que très peu de peau. L'autre au contraire affronte la tempête glaciale, barbe au vent et toge tombée qui dévoile un corps sec, vieilli mais musclé et résistant.



FIGURE 8 - L'HIVER DE JEAN RAON, MUSÉE DU LOUVRE



FIGURE 9 - L'HIVER DE PIERRE LE GROS, JARDIN DES TUILERIES

La présence d'un objet sur l'une des statues doit attirer notre attention. Il s'agit d'un brasero, petite vasque contenant un feu. Le vieil homme qui semble affronter le froid y puise ses forces comme le suggère sa main droite, prête à utiliser les flammes comme une arme contre la violence hivernale. Peut-être que la statue de Jean Raon (Figure 8), si elle avait été accompagnée d'un tel feu, aurait pu résister plus facilement et se présenter sous une plus grande vivacité. Pourtant, pour présenter une autre allégorie de l'Hiver, sculptée par François Girardon et munie d'un brasero à ses pieds, le musée de Versailles parle « *d'un homme en proie aux forces de la mort ; son attitude recroquevillée sur le brasero traduit indéniablement l'instinct de survie de ce vieillard*

qui se sait condamné ». Autrement dit la présence d'un feu n'est pas synonyme de posture défensive ou de survie. Ainsi, malgré des attributs communs les artistes ont vu dans l'hiver une multitude de représentations.

Si ces deux allégories avaient été sculptées à des époques différentes, on aurait pu légitimement proposer que leurs différences venaient d'une interprétation de deux artistes éloignés de plusieurs décennies, à des desseins distincts. Il n'en est rien. L'une a été sculptée par Pierre le Gros à la fin du XVII^e siècle et la seconde par Jean Raon en 1712. Elles ont donc été faites à la même époque, en plein classicisme français. Qui plus est, ce sont deux commandes passées par Louis XIV pour le château de Versailles. Leur proximité est donc multiple et n'explique pas pourquoi, contrairement aux autres allégories saisonnières, l'Hiver est représenté avec de telles différences sémantiques.

Au travers des représentations de l'Hiver, il ressort une diversité d'interprétations des artistes qui témoigne non seulement d'une certaine fascination mais aussi d'une liberté poétique. Etant donné que la neige est l'essence même de l'hiver dans l'imaginaire collectif occidental, on peut proposer l'hypothèse que le potentiel heuristique⁴ de l'un est lié à celui de l'autre.

2. *Obstacle épistémologique*

Il est possible que la variété de représentations de l'incarnation de la neige soit liée au fait qu'il s'agisse d'une matière instable et difficile à saisir. Gilbert Durand, dans son livre *Champ de l'imaginaire*, explique que la neige est un obstacle épistémologique car elle ne se laisse ni décrire ni classer en terme de matière eau. Il ajoute qu'il serait ridicule de dire qu'on fait avec de la neige des boules d'eau, et même si elle est friable, ce n'est pas non plus de la terre.

« Car il est ridicule pour la conscience matérialiste et manuelle de dire que l'on fait des boules avec de l'eau, et les boules de neige sont radicalement distinctes des mottes de terre, fades, sales, non immaculées, et brulantes aux doigts comme celles de la neige. »

Gilbert Durand, *Champs de l'imaginaire*

⁴ Force d'interprétation d'un sujet

La neige emprunte une multitude d'adjectifs à des éléments qui n'ont souvent rien à voir les uns des autres. Elle peut bruler le visage comme une flamme, elle est crousteuse et cassante comme un élément solide, elle s'insinue comme l'eau. Et une fois de plus, c'est Durand qui nous en fait la plus belle description :

« Elle est tôle, hostile comme un miroir d'acier, elle est béton qui construit des séracs chaotiques, ou encore soupe des brulants midi de mai. Elle se fait grésil que le gicleur du vent injecte, corrosif entre lunettes et cagoule ; elle se fait givrage d'étoiles impalpables, ou flocons lents et mouillés, ou encore le gel printanier la transforme en large facette de borate céleste. »

Gilbert Durand, *Champs de l'imaginaire*

En fait la neige souffre du fait qu'elle n'est ni liquide, ni glace, mais un peu des deux ; un élément inclassable est terme de matière. Et si le tangible ne peut la décrire avec des mots qui lui seraient propre, c'est parce que seul le sensible en a les capacités. Gilbert Durand propose que la neige doit s'intérioriser et s'apprécier d'un point de vue psychologique. L'appel au sens devient alors essentiel dans l'appréciation de la neige, avec notamment l'ouïe et la vue, auxquels j'ajouterai le toucher.

Ce dernier est certainement le plus important dans l'appréciation de la neige qui au premier contact nous fait dire qu'elle est froide. Mais après une exposition prolongée, le froid devient une brûlure, et la description de la neige quitte le champ lexical du froid pour se tourner vers celui du feu. La neige au toucher est une matière instable et une fois de plus sa description s'en retrouve compliquée. En effet, si le terme de poudreux lui est très associé, les termes de « friables », « cassant », « rugueux » qu'on peut lui accorder, sont plus souvent rattachés à la terre. Or, le poète ne peut créer autour d'un élément en appelant des adjectifs que l'imaginaire collectif ne lui prête pas. A partir de ce moment là, la neige retombe dans ce qu'elle a de plus problématique : elle ne dispose pas de ses propres qualificatifs.

3. *Privation des sens : Ouïe et Vue*

Il ne reste donc plus que l'ouïe et la vue, les sens proposés par Gilbert Durand pour le poète face à la neige. Ses caractères sonores sont dûs en grande partie à ce qu'elle est au touché, à savoir, douce et molle ce qui en fait un amortisseur de bruit.

Car la neige à l'oreille est silencieuse et se révèle au petit matin sans un bruit. Il est en effet frappant et fascinant de se retrouver sous une précipitation de neige dans un lieu habituellement bruyant. Prenons Paris en janvier 2018 lorsque la ville fut touchée par un épisode climatique neigeux. Les voitures se sont tus, les passants rares, et il ne restait plus que le son discret des flocons se posant sur le manteau neigeux. Verhaeren a su saisir le silence de la neige par une allusion textile et emmitouflante :

*« Le sol trempé se gerce aux froidures premières,
La neige blanche essaime au loin ses duvets blancs,
Et met, au bord des toits et des chaumes branlants,
Des coussinets de laine irisés de lumières. »*

Émile Verhaeren, « En Hiver »

Et même lorsque les enfants sortiront jouer dans la neige, le calme sera toujours aussi profond ; les rires, les batailles, les jeux, tout sera amortis. Car comme dit l'alpiniste Georges Rival : « *silence absolu de la neige...* ». Ainsi pour Gilbert Durand, la neige se révèle un instrument poétique acoustique qui porte un absolu de vide et de silence. Valéry parle ainsi d'effacement et De Pocius de la neige qui « *défait tout* ».

En plus d'amoindrir le son, la neige efface les couleurs pour ne laisser à la vue qu'une grande étendue lumineuse. En effet, malgré le vide sonore, il ne fait pas nuit ; la neige apporte toujours de la lumière selon Durand pour qui « *rien n'est plus présent que la douce et infinie lumière dans une nuit de neige apaisée* ». Cette lumière ne serait pas tant celle de la matière que celle de l'émotion psychologique. La notion de blancheur de la neige renvoie très facilement à des significations politiques, morales ou religieuses. Elle devient ainsi « *immaculée* », un « *manteau blanc* » ou un « *linceul* », autrement dit bien trop superlative. Dès lors, vue et ouïe se rejoignent dans le grand néant apporté par la neige. S'il ne reste que ses deux sens pour la décrire, la neige fait en sorte de nous en priver d'avantage. Son silence en devient trop lumineux et sa blancheur trop silencieuse. La neige finit par être un absolu de vide et de silence dont Paul Valéry se sent terriblement saisi :

Quel silence, battu d'un simple bruit de bêche !

[...]

*Quel pur désert tombé des Ténèbres sans bruit
Vint effacer les traits de la terre enchantée
Et la fondre en un lieu sans visage et sans voix »*

Paul Valéry, « Neige »

Face à ce silence et tout ce blanc lumineux, l'auteur romantique se retrouve en mal de créativité. La neige devient une cisaille aux yeux et un silence aux oreilles. Pour Rimbaud, il n'y a que des « *neiges éblouies* ». Selon Durand, face à ce caractère de la neige, le poète ne peut que la fuir ou se tourner vers le religieux. La neige, associée à Dieu prend là un caractère qui a certainement encore plus fasciné les auteurs dans sa représentation. Mais de manière générale, alors habitué à la couleur et aux sons, le poète devant la neige est bien incapable de composer avec du blanc et du silence. La neige est une ascèse ; elle prive le regard de tout repère et réduit un environnement à une masse blanche difforme. C'est peut-être une des raisons qui explique la fascination qu'elle procure. Je me souviens, lors de cet épisode neigeux sur l'île de France, avoir fait la réflexion, en découvrant Saint-Denis tout blanc, que jamais la ville n'avait semblé aussi propre. En effet, la neige en tombant ne fait aucune distinction entre le beau et le laid ; elle recouvre tout de blanc et efface dans les moindres détails pour uniformiser le paysage.

Il semble que face à la neige, les artistes aient longtemps été démunis aussi bien en mots qu'en images. Si les peintres ont réussi à la représenter sans jamais lui donner une signification propre, les poètes ont tenté de s'y pencher d'avantage pour lui donner un sens. Cependant son aura leur a posé un grand nombre de soucis car sa description textuelle, qui doit passer par l'utilisation des sens, se fait via une privation. André Gide n'est-il pas allé encore plus loin dans son dégoût de la neige en disant « *Si de l'arbre la montagne [ou la neige] fait un sapin, on juge ce qu'elle peut faire de l'Homme* » ? Ainsi, serait-il possible que les artistes fascinés par la neige, car rappelons-le, elle est rare est éphémère, manquent de vocabulaire et qu'il serait plus aisé pour des populations habituées à sa présence, de la décrire ?

B. L'Inuktitut

Il est dit qu'il existerait plus d'une centaine de mots pour désigner la neige chez les esquimaux car leur contact quotidien aurait favorisé leur développement dans un but d'adéquation environnementale. Or étant donné que le soucis de l'artiste occidental vis-à-vis de la neige est son manque de vocabulaire, on peut proposer l'hypothèse selon laquelle, les peuples esquimaux-aléoutes seraient plus aptes à composer avec.

1. *La thèse de la relativité linguistique*

Franz Boas est un anthropologue diffusionniste germano-américain. En 1911, il publie *Handbook of American Indian Languages* suite à un voyage de plusieurs années en Amérique du Nord, notamment avec auprès de populations inuits et esquimaux. Dans ce livre, il développe l'idée selon laquelle il y aurait une limite du nombre de groupes phonétiques pour exprimer des idées. Boas cherche à illustrer qu'une idée peut être exprimé par des mots de racines différentes qui ne renvoient pas forcément au même concept selon les langues. Il prend ainsi l'exemple de mots anglais liés à l'eau comme lac, rivière ou pluie qui n'ont rien en commun mais renvoie à un même concept. Il utilise ensuite les mots inuktitut « *aput* » (neige au sol), « *qana* » (neige qui tombe), « *piqsiqsuq* » (neige qui glisse), « *qimuqsuq* » (neige glissante) pour étayer son argumentaire.

Mais en 1940, Benjamin Lee Whorf, utilise cette exemple à des fins totalement différentes puisqu'il cherche à montrer que si les esquimaux et inuits disposent d'un vocabulaire plus riche pour définir la neige, l'anglais, et beaucoup de langues européennes ne jouissent pas d'une telle diversité. Dans les années 1950, la thèse dite de Sapir-Whorf s'étaye d'avantage pour démontrer qu'il y aurait une relativité linguistique liée à la culture et à l'environnement. Si initialement Whorf ne compte que trois mots inuit pour définir la neige, le temps finira pas en proposer jusqu'à une centaine. Ainsi, il y aurait chez les peuples esquimaux-aléoutes une plus grande affinité avec la neige qui pourrait nous permettre une meilleure appréciation et explication de la fascination qu'on pourrait avoir. Autrement dit, les peuples de la neige et du froid seraient plus aptes à composer artistiquement avec la neige.

Or il n'en est rien car la thèse de Sapir-Whorf a été invalidée dès les années 60 par les anthropologues Brent Berlin et Paul Kay. En effet, ces derniers ont tenté de l'appliquer sur le lexique des couleurs et sont arrivés à la conclusion selon laquelle il y aurait une organisation presque universelle des couleurs. Ils conclurent même que la langue était déterminée par l'organisation mentale et non l'inverse. L'inuktitu ne dispose donc pas d'une aussi grande variété de mot pour définir la glace. Dans son dictionnaire de l'Inuktitut du Nunavik (Québec arctique), le linguiste missionnaire Lucien Schneider (*Dictionnaire français-esquimau du parler de l'Ungava*, 1970) cite une douzaine de mots de base gravitant autour de la neige ou la glace dont voici quelques uns :

- *Qanik* : neige qui tombe
- *Aputi* : neige sur le sol
- *Pukak* : neige cristalline sur le sol
- *Aniu* : neige servant à faire de l'eau
- *Siku* : glace en général
- *Nilak* : glace d'eau douce, pour boire
- *Qinu* : bouillie de glace au bord de la mer

On est donc bien loin de la centaine de mots cités par les partisans de l'hypothèse de Sapir-Whorf. Or si cette idée selon laquelle il y aurait autant de façon de définir la neige en langue inuit, perdure c'est parce que l'Inuktitut est une langue polysynthétique.

2. Une langue polysynthétique

En linguistique, on appelle une langue polysynthétique, ou agglutinante, une langue dont les mots sont composés de nombreux morphèmes qui peuvent s'associer les uns aux autres. Un morphème correspond à la plus petite entité linguistique significative, qui bien souvent n'a aucune autonomie s'il est utilisé seul. Le mot *danseurs* est par exemple constitué de trois morphèmes : *dans-* (l'action), *-eur-* (qui fait l'action) et *-s* qui marque le pluriel. A l'inverse, *pomme-de-terre* n'est composé que

d'un seul morphème et non de trois comme on pourrait penser car il ne s'agit pas d'une pomme composé de terre mais bien d'un tubercule à part entière.

Ainsi, l'inuktitut est en capacité d'accumuler une infinité de morphèmes pour former un mot très précis qui doit plutôt s'apparenter à une phrase. On trouve ainsi en exemple sur la page wikipedia des langues polysynthétique, le mot barbare « *Angyaghilangyugtug* » qui signifie « il veut acheter un grand bateau » à partir des morphèmes « *Angya* » (bateau) , « *ghilla* » (grand), « *ng* » (acquérir), « *yug* » (volonté), et « *tug* » (3^e personne du singulier). Concernant la neige, il est alors possible d'obtenir un grand panel de mots pour la définir sans qu'on puisse les considérer comme en étant de nouveaux mais plutôt une phrase à part entière. Dans ce cas là, la langue française est tout autant capable de produire une variété similaire de descriptifs pour la neige.

Ainsi, le langage n'est pas plus apte que les sens à comprendre la neige, ce qui peut expliquer encore plus non seulement l'inquiétude des artistes à son égard mais aussi la fascination qu'elle peut provoquer. Puisque les mots et les arts semblent être au dépourvu devant son mystérieux caractère, peut-être que la science saura plus facilement nous l'expliquer.

III. Paramètres physiques et chimiques

Comprendre la spécificité de la neige

Dans le cadre d'un travail artistique, il est essentiel de procéder à une observation complète et détaillée de ce que l'on souhaite rendre en image de synthèse, ici, la neige. Il ne s'agit pas simplement de s'entourer de références qui ne permettraient pas de comprendre les mécanismes à l'origine de l'esthétique de cette dernière, mais bien de se plonger dans ses paramètres physiques et chimiques pour en saisir l'essence et les enjeux visuels qui en découlent.

A. Généralités et définitions

1. Phénomène météorologique

Pour définir la neige, la nivologie, science qui lui est dédiée, fait la distinction entre deux de ses principaux états. Tout d'abord, il s'agit d'une forme de précipitation atmosphérique de particules de glace, souvent cristallisées, contenant de l'air, agglomérées en flocons. Elle se produit lorsque les températures au sein des nuages sont négatives et l'atmosphère suffisamment humide pour que la vapeur d'eau puisse se condenser autour d'impuretés appelées noyaux de congélation. Ce sont des particules microscopiques qui peuvent être naturelles (poussière, particules végétales et salines) ou artificielles (pollution) sur lesquelles vont alors s'agglomérer de micro-gouttes liquides en surfusion⁵ ou des micros germes de glace. Le cristal entre alors dans sa phase de croissance par effet Bergeron, c'est-à-dire qu'il se nourrit de l'eau en vapeur à proximité immédiate, lui permettant de passer de quelques micromètres à quelques millimètres. En respectant une symétrie hexagonale, la croissance axiale du cristal varie selon la température de l'air dans les nuages et l'humidité. Lorsqu'il est suffisamment lourd, il entame alors sa chute vers le sol durant laquelle il peut être altéré et diverger de sa forme initiale.

⁵ se dit lorsque l'eau reste liquide à des températures négatives

Or, la neige c'est aussi le dépôt de cette précipitation au sol, qu'on appelle plus scientifiquement manteau neigeux. Elle pourrait être qualifiée de « non pure » au sens où elle est constituée d'une très grande variété de cristaux plus ou moins abimés par le temps, la température et toutes les interactions externes liées à son environnement. Son aspect visuel peut donc être très divers et sa composition plus ou moins solide. Lorsque le manteau neigeux est frais, c'est-à-dire qu'il n'a pas été altéré, on parle de **neige fraîche**.

Il convient de faire la distinction entre flocons et cristaux de neige pour pouvoir aborder la suite des recherches. Un cristal désigne la structure la plus élémentaire de la neige, à savoir ce qui est issu de la condensation germée sur un noyau de congélation et qui n'a subi aucune transformation par la suite. Visuellement, il prend souvent la forme de l'étoile à six branches, symbolique de l'élément mis en évidence dès le XVII^{ème} siècle par Johan Kepler dans *L'Étrenne ou la neige sexangulaire*. A l'inverse, le flocon est l'amas de différents cristaux et n'est visible que dans le cas d'une neige fraîche tombée sans vent. De fait, il peut être préférable de parler de grains pour signifier l'ensemble des éléments composant la neige en tant que précipitation ou dépôt. Par ailleurs, il existe d'autres types de formations qu'on qualifierait de neigeuses sans vraiment en être et que j'exclus de ma recherche. Il s'agit, pour la plus importante du givre. En effet, si visuellement, il ressemble à la neige, sa formation et ses propriétés sont très différentes. Non seulement, il n'a aucune cohésion, mais il se forme sur une surface froide, en se nourrissant de l'humidité contenue dans l'air qui la fait pousser comme de l'herbe et lui donne une aspect de micro stalagmites (Figure 10).



FIGURE 10 - ROSE RECOUVERTE DE GIVRE

2. Cristaux, flocons et grains de neige

Si météo France propose une double catégorisation des grains de neige selon qu'ils soient fraîchement tombés (neige récente) ou, au contraire, altérés plus ou moins rapidement par le temps (neige évoluée ou vieille-neige)⁶, la catégorisation proposée par l'Association Nationale pour l'Étude de la Neige et des Avalanches (ANENA) me semble plus pertinente. Elle distingue en effet six grandes familles de grains de neige : les cristaux, les particules reconnaissables, les grains fins, les grains à face plane, les gobelets et les grains ronds.

Les Cristaux de neige, correspondent à sa forme élémentaire qui n'a subi aucune transformation depuis leur création, possédant une structure de base hexagonale dont la forme dépend de subtiles variations de saturation en molécules d'eau, de température et de parcours dans les nuages. Ceci explique leur forme quasi unique qui donne parfois raison à l'adage selon lequel il n'existe pas deux cristaux de neige identique. C'est pourquoi leurs paramètres physiques et réfléchissants ne peuvent être connus et référencés avec exactitude, si ce n'est qu'ils ont en commun d'être transparents. Mais dans leur multiplicité, trois formes de cristaux peuvent être isolés. La plus célèbre est l'étoile, reconnaissable par sa forme stellaire à six branches, elles-mêmes subdivisées en respectant une récurrence hexagonale. Elle symbolise à elle seule la neige et, par abus de langage, désigne le flocon, alors qu'elle n'est finalement qu'une représentation parmi tant d'autres. Ses branches, appelées dendrites, sont à l'origine du phénomène de feutrage, qui confère au cristal une certaine adhérence les uns aux autres par leur enchevêtrement. Cette propriété leur permet par ailleurs une certaine contiguïté sur les surfaces, même raides ou verticales. En revanche la cohésion de feutrage est à la fois fragile (car poudreuse) et courte. La fonte ou la pression du manteau fragilisant les dendrites, est à l'origine du glissement de plaques neigeuse qui peut parfois aller de la simple chute d'un pan de neige, voire une avalanche.

Le deuxième type de cristal est la plaquette, il se forme lorsque les température avoisinent les -2°C et prennent la forme d'un hexagone plat régulier. Il est la forme pleine de l'étoile.

⁶ « Neige, flocons, cristaux de neige - Météo-France ». Consulté le 11 février 2019. <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/la-neige-et-ses-transformation>.

Le troisième type de cristal qui nous intéressera se forme à des températures inférieures à -5°C ; ce sont les cristaux en aiguilles ou colonnes. Semblables à des crayons, ils ne disposent pas d'une cohésion de feutrage très importante et donnent une neige froide qui coule entre les doigts puisque beaucoup plus poudreuse.



FIGURE 11 - ETOILE DE NEIGE

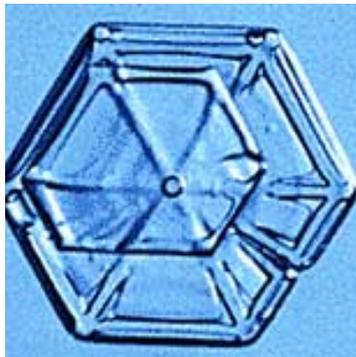


FIGURE 12 - PLAQUETTE

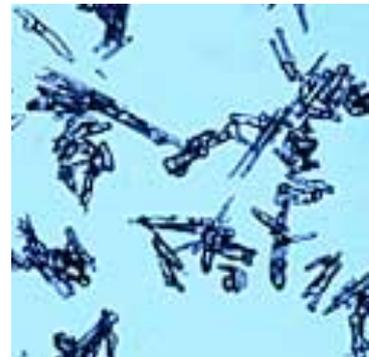


FIGURE 13 - AIGUILLES / COLONNES

Il a été dit précédemment que les variations de températures et d'hygrométrie au sein des nuages lors de la chute des cristaux de neige sont des facteurs importants dans la création des cristaux de neige. Or, le vent joue un rôle essentiel dans leur mutation en flocon puisque les dendrites, fragiles par nature, se brisent, et transforment les cristaux en particules reconnaissables. Par effet de chaleur ou par collision, ils peuvent fondre, fusionner entre eux ou se casser. Leur forme est donc beaucoup moins homogène mais leurs propriétés physiques et de feutrage restent sensiblement les mêmes, malgré des possibilités d'enchevêtrement réduites. Ces particules, qui sont, par agglomération précisément ce qu'on appelle flocon, peuvent fondre légèrement et devenir plus arrondies et soudées entre elles par un pont de glace qui confère au grain une cohésion dite de frittage. La neige de particules reconnaissable est une neige poudreuse dans laquelle on s'enfonce, et qui résulte bien souvent de la précipitation de neige sèche.

Grains fins, à faces planes, ronds et gobelets sont les évolutions des cristaux et flocons de neige fraîche après leur dépôt et altération sous l'effet de conditions météorologiques (température, pluie, vent) ou d'agent environnementaux (poids du manteau, interaction d'animaux, etc.). Il serait fastidieux de procéder à une description

détaillée de chacun de ces grains dont l'ANENA s'est déjà occupée⁷. En revanche, il convient de noter que ce sont souvent des grains plus gros et de composition plus dense (sauf pour les gobelets) formant en grande majorité ce qu'on appelle la neige évoluée. L'ensemble de ces grains et cristaux forment la neige sèche c'est-à-dire qu'ils ne contiennent pas d'eau liquide, à l'exception des grains ronds qui se forment via le ruissellement d'eau, constituant alors la neige dite humide.

Ainsi, la neige est un élément très diversifié dans sa composition. Le cristal, qui en est sa particule la plus élémentaire, peut s'agglomérer à d'autres dans sa chute pour former un flocon selon des conditions météorologiques clémentes. Lorsque celles-ci sont beaucoup plus agressives, les cristaux peuvent fondre ou se casser dans leur chute devenant difficilement reconnaissable et que l'on qualifiera de grains. Après dépôt au sol, puis accumulation, ils forment le manteau neigeux. Lorsque les cristaux sont encore reconnaissables ou intacts, on parle de neige fraîche. Plus ou moins rapidement, le temps les altère, les cristaux en flocon s'abiment et prennent des formes très différentes pour donner ce qu'on appelle la vieille neige ou neige évoluée.

B. Réaction à la lumière

Face à une telle diversité morphologique et matérielle, il est difficile de pouvoir organiser un ensemble de règles précises pour qualifier et référencer les caractéristiques physiques de la neige. Par leur unicité, les chercheurs sont donc incapables de donner aux grains une unique propriété réfléchissante et réfractante. C'est pourquoi, il s'agit ici de dégager de grands dénominateurs communs à la neige en terme de réactions visuelles à la lumière, nous permettant plus tard de choisir quel type de manteau sera à privilégier en image de synthèse.

1. *Types de manteaux et d'amas*

Puisque le manteau de neige est un dépôt au fil du temps, il semble très probable que sa structure soit similaire aux formations des falaises qui façonnent le paysage du sud de la France, formées il y a des millions d'années par l'accumulation stratifiée de matières calcaires dans le fond des océans. L'examen d'une coupe d'un

⁷ « Aide à la reconnaissance des grains de neige - ANENA ». Consulté le 1er mars 2019. <http://www.anena.org/7022-aide-a-la-reconnaissance-des-grains-de-neige.htm>

manteau neigeux nous montre en effet qu'il est composé d'un empilement de strates aux propriétés très différentes. Chacune de ces strates (Figure 14) est la résultante d'un épisode neigeux dont les conditions météorologiques au moment de sa chute puis de son dépôt sont à l'origine de ses caractéristiques jusqu'à la fonte totale. Par ailleurs, l'exposition topographique joue aussi un rôle important dans leur constitution puisqu'elle peut modifier les effets météorologiques. Les propriétés physiques et mécaniques d'une strate de neige dépendent en grande partie des types de cristaux de neige qui la composent. À partir de la neige fraîche qui se dépose, on assiste à des transformations des cristaux initiaux sous l'influence d'effets thermodynamiques et mécaniques qui vont conduire à la fonte par une évolution continue.

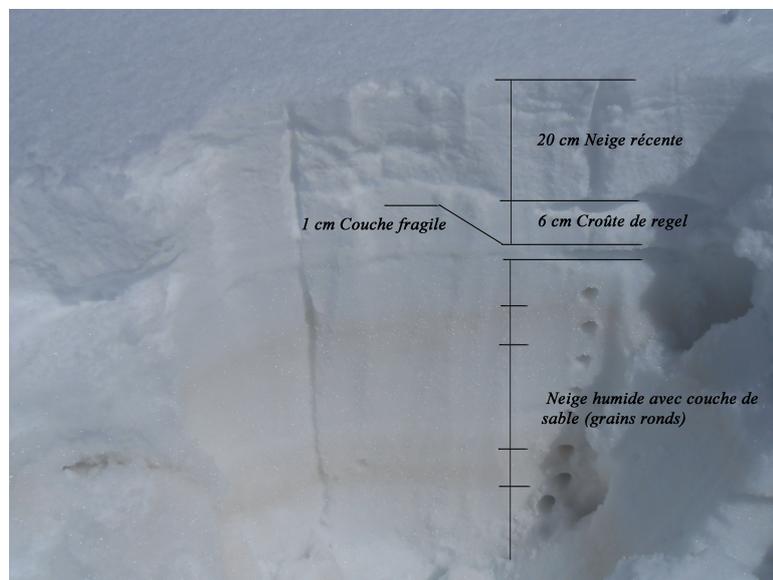


FIGURE 14 - COUPE D'UN MANTEAU NEIGEUX

Par l'hétérogénéité des cristaux qui le composent, le manteau neigeux présente un aspect de surface très différent. Une fois de plus l'analyse de sa coupe nous montre bien une diversité morphologique de chacune d'entre elles, distinctes les unes des autres. Ainsi, une couche de neige fraîche constituée de cristaux et particules reconnaissables est plutôt blanche et brillante en raison de son aspect poudreux, permettant l'identification des grains au sein du volume. Une couche de grains fins sera légèrement plus bleutée et très uniforme en raison de leur cohésion de frittage. Les grains plus gros comme les gobelets et à faces planes donnent au manteau une structure très perturbée, terne et sombre. Enfin, les traces d'eau liquide présents notamment dans les grains ronds confèrent au manteau un aspect réfléchissant plus

important qui peut non seulement augmenter sa brillance mais aussi le ternir selon l'angle d'observation.

Ainsi, lorsqu'on imagine un paysage enneigé, c'est celui de la neige fraîche recouvrant toutes les surfaces par effet de feutrage qui nous vient en tête, le tout uniformisé par le blanc cotonneux et irisé de la neige. Or, comme nous l'avons vu, c'est une neige éphémère que le temps finira bien pas détruire. Le vent peut en effet lui donner un aspect de dune tandis que la pluie ou la fonte, responsable d'un apport d'eau liquide sur la neige peut non seulement changer sa forme mais aussi créer une surface de glace sur la neige appelée croute de radiation, donnant au manteau neigeux un aspect luisant très réfléchissant. On parle alors de neige vitrifiée.

2. *Eclairement et contrastes*

Pour expliquer ces différences, il faut une nouvelle fois prendre en compte la diversité des éléments qui la compose où chaque grain dispose d'une réflectance propre. De plus, la neige fait parti des matériaux les plus réfléchissants avec des valeurs entre 95% de la lumière renvoyée pour la neige fraîche et 50-70% pour la neige à grain ronds. Cette dernière, par sa nature mouillée présente une spéculaire très importante lui donnant un aspect brillant. Au soleil, les valeurs de luminance peuvent atteindre jusqu'à 10^5 cd.m⁻².

En photographie, on appelle contraste la différence de valeurs lumineuses (luminance) entre les éléments d'une image. On peut l'exprimer en EV (*exposure value*) à l'aide d'une échelle logarithmique où +1EV correspond à deux fois plus de lumière. Les paysages enneigés sont considérés comme ceux ayant un contraste le plus élevé et lors de ses recherches personnelles, Ariane Luçon apprend de Laurent Chalet, directeur de la photographie sur *La Marche de l'Empereur*, qu'il a relevé des contrastes allant jusqu'à 20EV. Il faut toutefois prendre garde à ne pas envisager la neige comme un champ de contraste infini. En effet, il est tout à fait possible d'avoir des zones de neige avec très peu de contraste car une immense étendue de neige éclairée par un vif soleil, peut se comporter comme un puissant réflecteur et illuminer toutes les zones sombres et ombragées. Pour observer un contraste suffisamment important, il faudrait envisager un environnement avec des parties plus sombres qui ne subiraient pas la réflexion lumineuse de la neige.

En outre il est important de ne pas considérer la neige comme seulement une matière uniforme blanche ou bleutée. On l'a vu, sa composition hétérogène de petits éléments eux-mêmes très différents doit être pris en compte pour l'étude de son contraste ponctuel. Il s'agit de l'expression des écarts de luminance sur une partie réduite d'un sujet. Ainsi, la perception des grains de neige sur sa surface est permise par des variations de lumières dont la quantité reçue change selon la météo. Une lumière zénithale ou rasante apportera beaucoup plus de contrastes que lors d'un temps nuageux. Les spéculaires renvoyées par la neige face à une lumière déjà diffusée par les nuages tend à faire disparaître les contrastes et les micro-détails.

Alors traiter de la neige demande une attention particulière à la gestion des valeurs de blanc. Les sujets à éclairer au milieu de la neige peuvent facilement être sur-exposés en présence d'une lumière forte, ou au contraire très ternes si la lumière est trop diffuse. Par son caractère très réfléchissant, la neige peut effacer les ombres marquées et donc le contraste d'un image qui aurait été appréciable selon certaines intentions artistiques.

3. Couleurs

Le traité des couleurs de Libero Zuppirolo distingue trois types de couleurs : les couleurs physiques liées à la relation entre la lumière et des milieux en soi incolores, les couleurs chimiques, qui sont attachées à la matière même de l'objet, et enfin les couleurs physiologiques, liées à la nature de l'oeil, et qui regroupent tout les phénomènes colorés ne pouvant se résumer dans les deux autres catégories. Il convient donc de bien comprendre les enjeux liés à la lumière pour aborder la suite de cette partie. La lumière est un rayonnement électromagnétique dont le spectre visible s'étend de 400 à 800nm environ, du bleu au rouge. L'ensemble de ce spectre et de ces couleurs forment la lumière blanche de 6500K. Lorsqu'elle rencontre un objet, la lumière incidente peut-être réfléchi et/ou diffusée. Les rayons diffusés sont ceux absorbés par l'objet puis renvoyés, lui donnant sa teinte ; ceux réfléchis sont ceux renvoyés directement par la surface de l'objet. De manière générale, tous les rayons sont réfléchis à l'exception des métaux qui peuvent ne réfléchir que certaines longueurs d'onde, expliquant la couleur de leur spéculaire. Par ailleurs, la qualité de diffusion et de réflexion des rayons lumineux n'est pas la même selon la nature de la surface de

l'objet ; un objet rugueux renvoie les rayons dans plusieurs directions là où un objet lisse renvoie les rayons dans une seule direction. (Figure 15)

L'eau est un élément incolore et la neige, à l'échelle microscopique, l'est tout autant. Les couleurs qui en résultent sont donc de type physique. Or, il est légitime de se demander pourquoi l'eau liquide ou la glace sont transparents là où la neige est en grande partie blanche lorsqu'elle est sèche. Ce sont les cristaux et leur organisation aléatoire au sein du manteau qui sont responsables de ce phénomène par effet de rugosité renvoyant les rayons de lumière réfléchis dans toutes les directions. Alors, si à l'état liquide ou de glace, la surface de l'eau est assez lisse celle de la neige, composée de multiples grains, est extrêmement rugueuse.

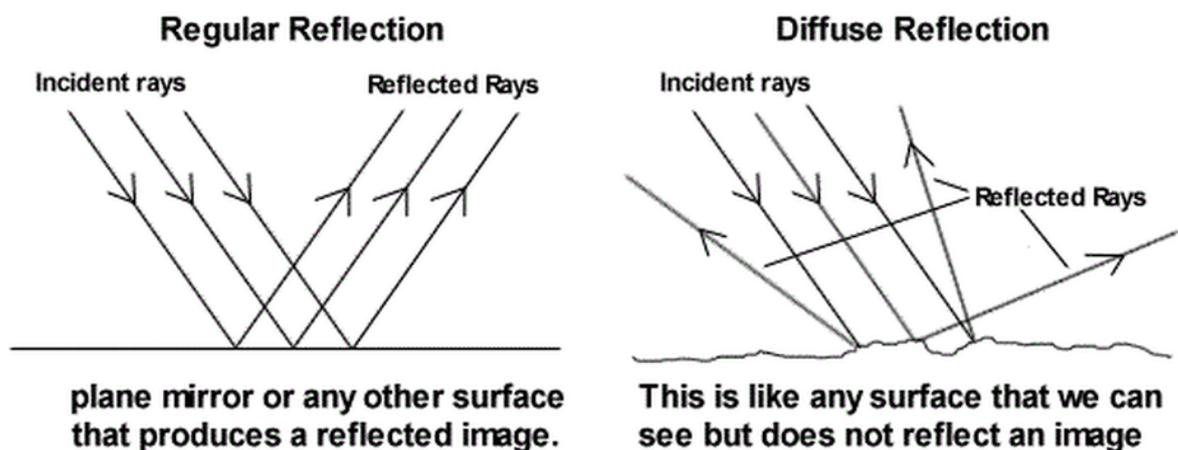


FIGURE 15 - RÉFLEXION ET DIFFUSION

En réfléchissant tous les rayons incidents du spectre visible, la neige prend donc une couleur blanche parfois teintée selon la nature de la lumière ou des particules présentes dans l'atmosphère. De cette manière, les teintes bleutées des zones ombragées de la neige est à attribuer à la diffusion d'une plus grande part des longueurs d'onde de la couleur du ciel par rapport à celles de la lumière directe du soleil. Par ailleurs, la taille des grains joue aussi un rôle essentiel dans la coloration de la neige. Les particules de petites tailles ont en effet tendance à renvoyer plus facilement les courtes longueurs d'onde, donc la couleur bleue. C'est ce qui explique pourquoi les couches de grains fins sont légèrement plus bleutées que d'autres couches.

Enfin, les grains de neige étant transparents, ils permettent la réfraction et la transmission des rayons incidents et sont à l'origine de la diffraction de certains d'entre eux, laissant apparaître des zones irisées et orangées sur les bords des cristaux ; la couleur transmise étant la complémentaire à celle diffusée.

En conclusion, dans le cadre de la création de neige en image de synthèse il est donc important de bien observer l'environnement général de la scène, son histoire et sa diégèse afin de choisir un type de manteau à rendre qui soit cohérent. Par exemple, s'il a neigé depuis quelques semaines et que le soleil est revenu, il sera indispensable de privilégier le rendu d'une neige humide, beaucoup moins lumineux mais plus réfléchissant qu'une neige fraîchement tombée.

C. Attributs particuliers

1. *Variabilité et métamorphoses : des cohésions*

différentes

La neige n'est pas un matériau figé, elle évolue au fil du temps et des interactions liées à son environnement. Déjà dans leur chute, flocons et cristaux sont transformés au point de ne plus ressembler systématiquement à ce qu'ils étaient initialement. En premier lieu, le vent joue un rôle destructif sur ces derniers ; il les fait s'entrechoquer pouvant parfois casser les parties les plus fragiles, notamment les dendrites des étoiles, ou les aiguilles. Au cours de sa chute, le cristal peut être soumis à des températures positives et fondre, perdre sa forme originelle et arriver au sol très humide, gorgé d'eau, au quel cas, il est déjà de la neige évolué. Dès sa chute les transformations du cristal nous dévoile déjà la fragilité de la neige.

Au sol, le manteau neigeux évolue depuis les couches qui la composent, pour fondre selon des facteurs mécaniques et physiques. Dans un premier temps, le vent, suffisamment fort, peut balayer les grains situés en surface et les transporter. De nouveau soumis à des chocs violents, les parties les plus fragiles des cristaux et grains se brisent leur donnant une cohésion de frittage de plus en plus importante. Autrement dit, ils se soudent les uns aux autres sous l'effet de la chaleur due aux frottements. Puis, selon le principe de dépôt par strate, les cristaux se déposent peu à peu les uns sur les

autres. Les premiers arrivés qui se retrouvent le plus proche du sol, sont alors soumis à une masse de plus en plus importante, pouvant les briser d'avantage.

Ensuite, il faut savoir que la température n'est pas répartie de la même façon dans le manteau neigeux. On appelle gradient de température le rapport entre la différence de température entre le sommet et la base de la couche, et l'épaisseur de cette couche de neige. Lorsque la température est sensiblement la même dans toute la verticalité du manteau, le gradient est faible alors qu'un haut gradient signifie que la température varie très fortement. L'épaisseur de la couche de neige est importante dans cette mesure puisque si elle est fine, il suffira d'une petite différence de température pour avoir un très fort gradient, là où il en faudrait une très importante si la couche de neige était épaisse. On distingue deux types de métamorphoses via cette mesure. La première est la métamorphose de fort ($<20^{\circ}\text{C}/\text{m}$) et de moyen (entre 5 et $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$) gradient qui a pour conséquence de former des angles sur les grains et d'augmenter leur taille. La couche de neige qui en résulte n'aura plus qu'une très faible cohésion, voire aucune cohésion. A l'inverse, la métamorphose de faible gradient ($<5^{\circ}\text{C}/\text{m}$) arrondit les grains, réduit leur taille et donne une cohésion de frittage à la couche concernée.

Ainsi, via la métamorphose du manteau neigeux, les chercheurs ont pu mettre en évidence que la neige était un élément non seulement poudreux, friable et adhérent lorsqu'elle est fraîche et sèche grâce à la cohésion de feutrage, mais aussi cassable en bloc soudé lorsqu'elle est humide ou évoluée grâce à la cohésion de friction qui fait s'assembler par fonte les grains.

2. Etudes de Disney

En réalisant le film *Frozen* (2013), Disney s'est penché sur une analyse poussée de la neige et de ses propriétés physiques afin de créer des outils de simulations crédibles. L'analyse précédente des flocons a permis d'expliquer les variations de types de manteaux neigeux et de comprendre leurs différences mécaniques. Etudier la neige rendre compte de la variabilités des paramètres des matériaux qui la composent. C'est certainement en procédant à des analyses du microscopique que les scientifiques des studios Disney sont arrivés à extraire des observations sensiblement similaires que ce que j'ai pu relever concernant l'unicité de la neige. Tout d'abord, ils notent que la

neige, contrairement à l'eau sous sa forme liquide, peut être compressible avec une résistance variable au changement de volume. Cet attribut s'explique notamment par la forte présence d'air dans le grain de neige dès sa formation. La rigidité de la neige est le deuxième élément que Disney met en avant dans ses recherches, résultant de la cohésion de friction. En effet, c'est un élément difficilement déformable en raison de deux autres caractéristiques essentielles : sa plasticité et son côté cassable en fracture.

Il apparaît donc que la matière neige est intrinsèquement liée à sa composition granulaire hétérogène. Selon la nature des grains qui la composent, elle peut-être poudreuse, cassable, rigide, compressible, friable, changer de teinte ou de luminosité. Tout ces attributs sont en grande partie dus à la cohésion de feutrage et de friction qui fait s'associer ou s'accrocher les grains entre eux. En recherchant à extraire ses attributs principaux, Disney a voulu mettre en évidence l'importance de l'observation scientifique afin d'expliquer, comprendre et reproduire en image de synthèse le comportement de la neige qui se trouve être très particulier. En effet, si la neige est à la fois eau et glace elle n'en prends pas pour autant toutes les caractéristiques. Elle peut ainsi être compressible, là où l'eau liquide ne l'est pas ; elle se brise ou s'effrite contrairement à la glace qui est beaucoup plus rigide est cassante. Ainsi, si les artistes et poètes en se tenant seulement au caractère sensible de la neige ont éprouvé des difficultés à sa représentation, dont la sémantique est très variée, il nous faudra plutôt adopter une pensée scientifique et réfléchie avant d'être sensitive. Il s'agit donc de reproduire en image de synthèse une neige à partir des observations raisonnées faites précédemment.

PARTIE II

Reproductions et illusion du réel

« J'avais confiance en mon idée mais elle est pourrie »

Justin Lejeau

La neige fascine aussi bien l'artiste que le scientifique par sa sémantique multiple et ses caractéristiques physiques issues de différents états de la matière. Cette fascination doit pouvoir être transmise à nouveau en image de synthèse et c'est pourquoi nous avons complété la vision du scientifique à des fins de compréhension du processus nivologique. Or, si la neige est une couleur et une réaction à la lumière particulière, elle est avant tout une forme d'interactions qui se doit de respecter des attributs scientifiques. Nous traiterons ici de l'exercice d'expérimentations et d'essais qui a été mené sur la question de la neige en images de synthèse.

I. Donner vie à la neige

Comprendre les technique de simulations

Après avoir étudié la neige en tant que matériau naturel et fait ressortir ses caractéristiques essentielles, nous pouvons nous intéresser à son traitement en images de synthèse, en commençant par sa simulation. Or, celle-ci doit prendre en compte les quatre paramètres cités par Disney : « préservation du volume », « plasticité », « fracture » et « rigidité », qui sont des propriétés à la fois liquide et solide. Cela pose donc la question du choix d'algorithmes à privilégier pour la reproduire.

A. Simulations hybridées

1. Le choix du Solver

Créer de la neige et la simuler peut se faire de différentes façon. Tout d'abord, elle peut être simplement modélisée à partir de géométries en utilisant parfois des *height maps*⁸ pour simuler son épaisseur au fil du temps. C'est une solution très répandue dans le jeu vidéo qui ne peut s'offrir le luxe d'animer avec précision la neige. L'utilisation des matériaux granulaires est la méthode traditionnellement utilisée, par le mélange de particules et de *rigid bodies* simplifiés mais dont l'augmentation en nombre peut vite poser problème. Enfin, l'elasto-plasticité propose de travailler sur la déformation du maillage d'un modèle 3D allant parfois jusqu'à sa reconstitution (on parle de *remeshing*). Certains chercheurs ont même travaillé avec des points plutôt qu'un maillage, afin de simplifier les calculs⁹. C'est un modèle extrêmement pertinent pour prendre en compte les simulations de fluides non newtoniens.

Afin de savoir quelle simulation serait la plus apte à rendre la neige, les chercheurs de Disney ont procédé à une comparaison de différents modèles en prenant en compte les attributs primaires de la neige à l'état naturel à savoir sa fracture, sa préservation du volume (compressible), sa rigidité et sa plasticité. Une table de

⁸ littéralement, carte de hauteur. Ce sont des textures en niveau de gris donc l'intensité de blanc définit la hauteur de la surface sur laquelle elle s'applique.

⁹ WOJTAN, C., AND TURK, G. 2008. Fast viscoelastic behavior with thin features. In *ACM Trans. on Graph.*, vol. 27, 47.

préférence des différentes méthodes de simulation (Tableau 1) a ainsi été établie selon ces critères.

Method	Compressibilité	Rigidité	Plasticité	Fracture
Reeve particules	-	-	-	-
Rigid bodies	* *	* *	-	*
Mesh-based solids	*	* * *	* *	*
Grid-based fluids	* * *	*	* *	* * *
SPH	*	*	*	* * *
MPM	* *	* *	* * *	* * *

TABLEAU 1 : COMPARAISON EFFECTUÉE PAR DISNEY ENTRE DIFFÉRENTES MÉTHODES DE SIMULATION SELON QUATRE CRITÈRES ESSENTIELS A LA NEIGE

Il en ressort que le MPM (*Material Point Methode*) est la méthode la plus apte à restituer les attributs de la neige en image de synthèse. Bien que celles issues de fluides basées sur une grille et celles reposant sur l'élasticité des meshes sont plus appropriées vis-à-vis de, respectivement, la compressibilité et la rigidité, le MPM semble bien plus adéquat concernant les autres attributs. De plus, il disposerait selon les résultat de la recherche, d'un gradient de simulation qui ne se dissipe pas et reste synchronisé sur les positions. Mais, la force du MPM repose notamment sur l'hybridation des méthodes de simulations Lagrangiennes de particules avec celles des fluides dites Euleriennes.

2. Méthodes Lagrangiennes et Euleriennes

La simulation de neige prend en compte des paramètres de matière à l'état solide et à l'état liquide. Pourtant les principaux *solvers* de fluides ne sont pas les plus pertinents à choisir car la neige est un matériau granulaire. C'est pourquoi il est préférable de s'orienter vers deux types d'algorithmes de simulations que sont les méthodes lagrangiennes et les méthodes euleriennes.

Les méthodes Lagrangiennes, dites discrètes, reposent sur la simulation de particules avec le calcul de leurs coordonnées mobiles dans l'espace. Sur Houdini, le *PBD Solver* repose sur ce type d'algorithme par le calcul des forces via l'interaction

des particules à chaque itération. Les grains simulés disposent d'une cohésion et d'attributs propres, ce qui permet à la simulation de prendre une forme issue de leurs frictions et agglomérations via de multiples interactions. La dynamique peut donc être extrêmement variable puisque les grains évoluent librement les uns avec les autres. C'est pourquoi, lorsqu'on exerce une force violente sur un matériau granulaire en simulation discrète, les particules semblent exploser et s'éparpiller via un changement brusque de direction. L'inconvénient de cette méthode est l'uniformité des particules, souvent représentées par un point avec un rayon similaire pour simplifier les calculs. Il faut donc parfois privilégier les particules dites non sphériques, basées sur l'agrégation de particules classiques, donnant un ensemble irrégulier, plus réaliste avec des masses différentes.

A l'inverse, les méthodes Euleriennes utilisent des grilles de voxels¹⁰ contigus et calculent le transfert des données d'un voxel à un autre par proximité immédiate avant de les affecter sur particules. Ces méthodes dites continues sont à la base du *SPH Solver* sur Houdini et ne sont pas forcément utilisées pour les simulations de matériaux granulaires, mais plutôt celles des fluides. En effet, les méthodes Euleriennes permettent de résoudre plus facilement des équations complexes affectant la physique des liquides dont le changement de valeurs influ sur l'ensemble des points, en agissant principalement sur l'incompressibilité, la friction et la cohésion des fluides¹¹. Qui plus est, elles peuvent après de légères modifications mathématiques, donner des simulations proches des matériaux granulaires. Par ailleurs, les méthodes de calculs Euleriens sont les plus efficaces dans les simulations prenant en compte la viscosité, la friction et les collisions par le passage des valeurs de la grille sur des particules. Le principal défaut dans cette technique est le lissage de ces valeurs lors de leur transfert, ce qui fait que les particules ne se déplacent alors pas aussi librement que celles des méthodes Lagrangiennes. De plus, les calculs se faisant par proximité immédiate, le déplacement rapide d'une particule sur plusieurs cases de voxels peut biaiser le résultat final de leur vitesse¹².

¹⁰ Equivalent du pixel mais en 3D

¹¹ ALDUAN, I., AND OTADUY, M. 2011. SPH granular flow with friction and cohesion. In Proc. of the 2011 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symp. on Comp. Anim., 25–32. Alduán, Iván, et Miguel A. Otaduy. « SPH granular flow with friction and cohesion », 25–32. ACM, 2011. <https://doi.org/10.1145/2019406.2019410>.

¹² *Ibid.*

De fait, si les simulations granulaires ont tendance à préférer les méthodes lagrangiennes et les fluides les méthodes euleriennes, la neige peut se satisfaire d'une hybridation des deux. En effet, par son caractère ambigu, les algorithmes continus peuvent se relever utiles pour rendre sa plasticité et ses attributs hérités de son état liquide, tandis que ceux discrets reprennent sa physique granulaire. La simulation de neige en images de synthèse doit donc prendre non seulement en compte ses propriétés solides issues de sa composition granulaire microscopique, mais aussi celles liquides dans une hybridation d'algorithmes.

3. Etude du Material Point Méthode

Le MPM (*Material Point Methode*), est une méthode de simulation développée par les chercheurs de Disney pour le travail de neige du film *Frozen*. Elle combine les algorithmes de particules Lagrangiennes et de grilles Euleriennes avec un nouveau modèle reposant sur l'élasto-plasticité de points et non sur une topologie.

Son algorithme principal repose sur l'utilisation de particules pour suivre la masse et la déformation. La méthode Lagrangienne permet alors de faciliter les calculs de dérivées tandis que la méthode Eulerienne, en arrière plan, aide à une meilleure évaluation du calcul des forces par la connectivité des voxels.

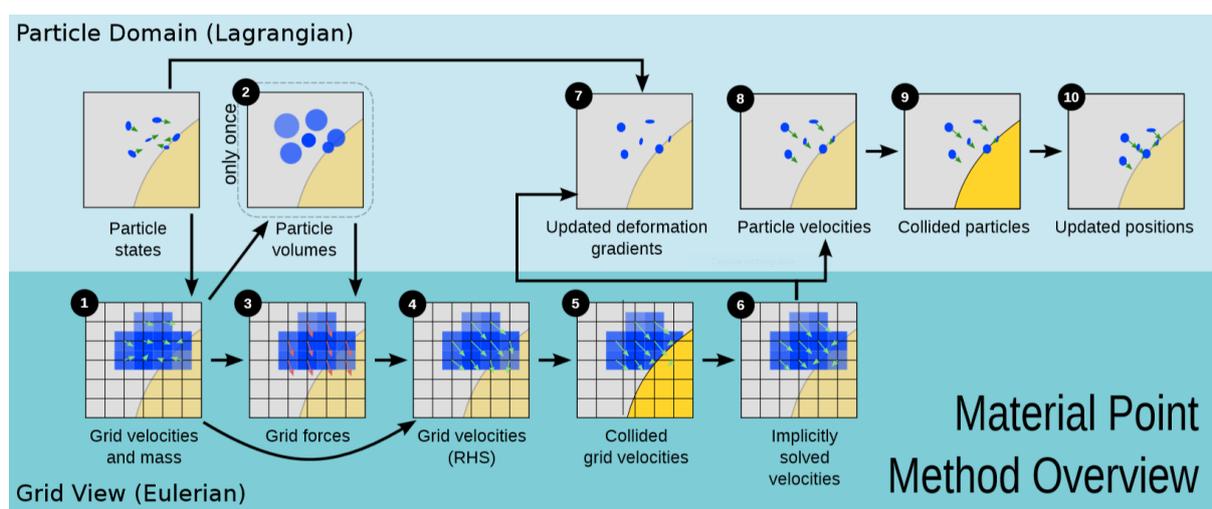


FIGURE 16 - MÉTHODE ALGORITHMIQUE DU MPM CHEZ DISNEY

La Figure 16 ci-dessus illustre l'hybridation des techniques Lagrangiennes et Euleriennes qui se compose ainsi :

1. Les données des particules sont appliquées sur la grille de voxels, notamment la masse et la vitesse.
2. Évaluation du volume et de la densité des particules à l'aide d'équations Euleriennes.
3. Évaluation des forces depuis la grille de voxels
4. Mise à jour des vitesses sur la grille. Les données issues des particules sont appliquées sur la grille.
5. Calcul des collisions
6. Résolution du système de collision
7. Mise à jour de la déformation depuis le système de particules.
8. Mise à jour de la vitesses des particules
9. Collision des particules
10. Mise à jour de la position des particules

La méthode du MPM permet ainsi de proposer une large variété de comportements lors de la simulation de neige, capables de s'appliquer sur n'importe quelle forme de mesh. Via les principes de fracture, de compressibilité et de plasticité, il est possible d'obtenir l'effet collant si emblématique de la neige lorsqu'elle vient s'écraser sur un mur par exemple. En étant généralisé sur l'ensemble du film *Frozen*, le MPM a prouvé qu'il pouvait s'appliquer pour un large champ de simulation nivologique sur ordinateur, comme l'interaction d'un personnage avec la neige, l'explosion d'une boule de neige ou sa chute de différentes façons (figure 17).

Ainsi, en développant sa propre méthode de simulation, Disney s'inspire à la fois des matériaux granulaires en fusionnant les techniques de simulations Lagrangiennes et Euleriennes, et en même temps y combine les méthodes d'élasto-plasticité sur un nuage de points représentatif du modèle 3D. Le fait d'hybrider des techniques de simulations se basant sur des particules et d'autres sur des grilles de voxels est d'autant plus pertinent que la neige est un matériau dont les aspects physiques relèvent à la fois du solide et du liquide.

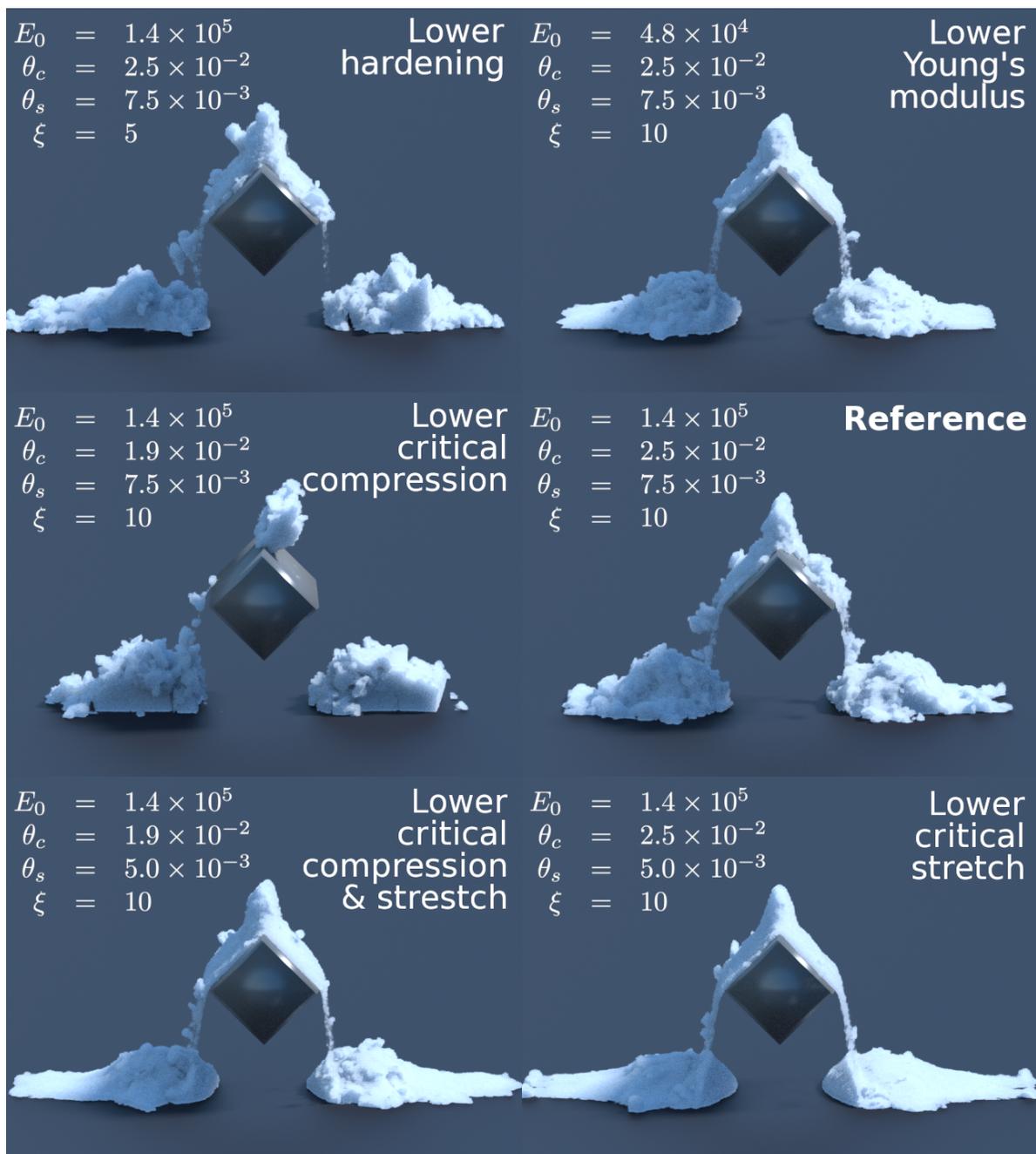


FIGURE 17 - DIFFÉRENTES SIMULATIONS DE NEIGE SUR UNE PENTE GRÂCE AU MPM PAR DISNEY

B. Particules et fumées

1. Des méthodes traditionnelles

La simulation de neige ne demande pas toujours d'avoir recours à des méthodes aussi poussées que celles du MPM. Dans les films en prises de vues réelles,

elle n'est nécessaire que pour la création d'avalanche ou de soulèvement ce qui implique des approches plus traditionnelles en effets spéciaux.



FIGURE 18 - PHOTOGRAMME DE L'AVALANCHE DU FILM XXX

Le film xXx de Rob Cohen sorti en 2002 serait le premier à recourir aux images de synthèse pour créer une avalanche dont la demande artistique étaient bien précises : « bords bien distincts, des plaques ou paquets qui se désintègrent en particules » avec « des gros morceaux de neige éjectés en l'air et s'explosant au sol » (Kapler, 2003). Toute la base de la simulation a été faite sur Houdini en voxels, c'est-à-dire à l'aide de volumes, mais l'ajout des gros morceaux de neige voulu par la réalisation, a demandé de placer des particules par dessus pour leur donner une plus grande rigidité. Afin que ces blocs de neige éjectés paraissent plus durs encore, des milliers de voxels représentant les grains ont été rajoutés en instance sur chaque particule. Un si grand nombre de particules créant autant de voxels à demandé aux équipes du film d'optimiser au maximum leur système sur Houdini, à une période où les ordinateurs n'étaient pas aussi performants qu'aujourd'hui. C'est pourquoi, chaque particule dispose d'un très grand nombre d'attributs pour les rendre le plus contrôlable et intelligente possible (à savoir où elles devaient atterrir, est-ce qu'elles sont visibles à la camera, etc.). L'intérêt du développement d'autant d'attributs est de permettre aux particules de communiquer plus facilement avec les voxels qu'elles émettraient lors de la simulation.

Au cours de son alternance, et rendu compte dans son mémoire, Mathieu Kornacki a présenté ses travaux de FX sur le film *Santa & Cie* d'Alain Chabat (2017). Il s'agissait pour lui de simuler dans Houdini le passage du traîneau de Santa au décollage, incluant le traçage puis le soulèvement de la neige. Pour ce faire, trois couches de simulations ont été nécessaires. La première représente la neige par des grains. La deuxième est faite de particules émises par ces grains pour densifier la neige. La troisième est une couche de fumée produite par les particules et leur vélocité. Toute la scène a été simulée dans ce qui peut s'apparenter à une boîte remplie de grains servant de support au traîneau.

En précisant qu'il ne cherche qu'à procurer une « *sensation de neige* », le plan étant rapide, bref, sombre et en contre plongé, Mathieu a pu s'affranchir de simulation aussi complexes que le MPM ou même celles développées pour des avalanches. L'utilisation des grains peut donc être suffisante pour certains rendus de neige dynamique, mais va demander une densité de particule élevée. L'utilisation de la fumée permet de son côté d'uniformiser la surface et de donner, en plus des particules, l'éjection d'éléments dans l'air au passage du traîneau. Cependant, le choix de particules et de grains plutôt que du MPM doit parfois exiger leur conversion en mesh dynamique pour que les moteurs de rendus puissent les calculer.

Il faut donc retenir que les méthodes de simulation de neige peuvent varier selon le résultat voulu et qu'il peut être préférable de choisir des méthodes plus simples lorsque le plan peut s'en satisfaire.

2. Piper et la simulation de sable

Piper (2016) est un court-métrage de recherche et développement créé par Disney en préparation du film *Finding Dory* pour travailler les simulations et le rendu d'eau et de sable. Il peut paraître surprenant que j'y ai trouvé une grande source d'intérêt. Or, sable et neige partagent un certain nombre de points communs physiques, si ce n'est l'incompressibilité de l'un par rapport à l'autre. Initialement j'espérais savoir comment les équipes du film avaient fait pour rendre le sable avec des échelles de plans aussi serrées et si je pouvais réutiliser leurs méthodes, appliquées au cadre de mon mémoire. Pourtant c'est dans la construction de leur simulation que j'ai trouvé un

grand nombre de réponses à des problèmes qui ne s'étaient pas encore matérialisés dans mon esprit.

Les méthodes de simulation que j'ai qualifiées de traditionnelles permettent en tout point de générer des mouvements de neige sous forme d'une poussière plus ou moins dense sans parvenir à une interaction aussi poussée que celle permise par le MPM. Mais, sa mise en place peut s'avérer difficile sur un large terrain. C'est donc en m'intéressant à la création de *Piper*, que j'ai découvert quelques astuces pouvant s'avérer utile pour une simulation de neige. En effet, en choisissant de modéliser les grains de sables, à près de 5000 polygones pour parvenir à un rendu et un niveau de détails des plus crédibles, les équipes de Pixar ne pouvaient pas se permettre de les générer sur l'ensemble de la plage.



FIGURE 19 - GROS PLAN DE SABLE DANS LE FILM PIPER DE PIXAR

Alors, afin que les grains ne soient disposés que dans les zones d'interactions, les graphistes ont créé une tranchée définie par le passage des personnages virtuels. L'utilisation de volumes en booléen soustractif est certainement la solution la plus simple pour parvenir à cela ; la mère oiseau creuse par pénétration de son modèle 3D dans la surface et soustrait les zones de contact. Le chemin ainsi obtenu est alors rempli

de grains de sable à simuler avant que d'autres ne soient répartis aléatoirement sur le reste de la surface, dans un soucis d'uniformisation (Figure 20) .

Les grains de sable simulés sur Houdini utilisent des méthodes seulement Lagrangiennes (c'est-à-dire de particules) avec un *pop solver* plutôt qu'un *rigidBody* car beaucoup plus léger dans les calculs. Le sable, même mouillé, ne partageant pas les propriétés de fluide dont la neige dispose, il n'est pas intéressant de retenir la simulation proposée par Pixar dans le cadre de mes recherches. En revanche, sa mise en place via la technique de la tranchée générée par les personnages me semble être des plus pertinentes.

Par ailleurs, l'application d'une texture sur la surface non simulée, couplée avec l'ajout des grains, permet alors d'uniformiser et de masquer la jointure de la tranchée. En revanche, procéder de la même manière peut paraître beaucoup plus compliqué pour la neige car la différence entre une surface solide et une partie simulée pourrait être plus difficile à cacher au shading.

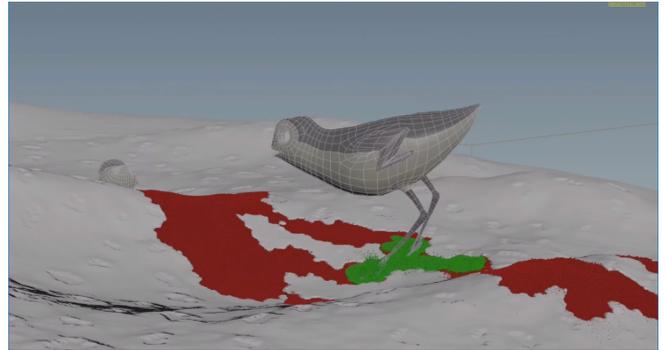
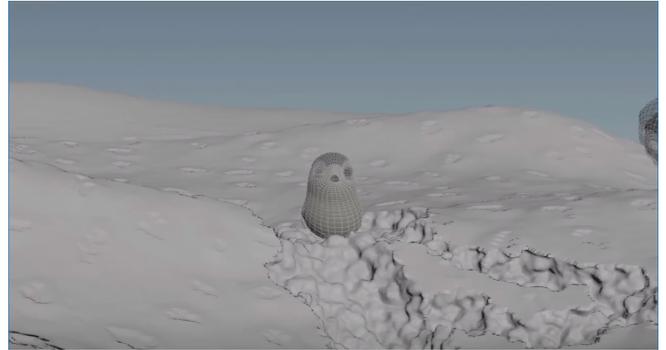
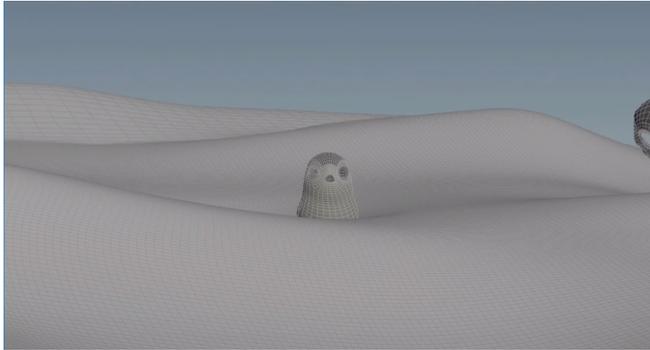


FIGURE 20 - PROCESSUS DE SIMULATION DE SABLE SUR PIPER
(DE HAUT EN BAS ET DE GAUCHE À DROITE : SURFACE MODÉLISÉE - EXTRUDE DÉFINIE PAR LE PASSAGE DE L'OISEAU - TRANCHÉE REMPLIE DE SABLE -
SIMULATION - AJOUT DE SABLE SUR L'ENSEMBLE DE LA SURFACE E- IMAGE FINALE

II. *Processus poétique : shading et rendu*

Rendre la neige en images de synthèse

Si l'on souhaite en effet utiliser le *set-up* de simulation étudié dans Piper, il faut que le shading soit suffisamment bien préparé pour éviter que la séparation entre le mesh de surface et la partie simulée soit visible. Les problématiques de rendu liées à la neige permettront de mettre en évidence différentes techniques capable de la restituer visuellement en images de synthèse en terme de matériau et de réaction à la lumière. Grâce au long état scientifique développé précédemment, nous savons qu'il existe différents types de manteaux neigeux mais surtout pourquoi et comment sont-ils faits. Ainsi, nous pouvons tenter d'appliquer ces connaissances à la technique de l'image de synthèse pour tendre à un rendu proche de la réalité.

A. *Shading*

Le shading en images de synthèse désigne la technique de 3D visant à créer des matériaux à l'aide d'algorithmes pour rendre un objet dans un espace virtuel. Le but de ce mémoire étant de travailler la neige d'un point de vue photoréaliste, c'est-à-dire qui soit le plus crédible en comparaison avec la réalité, la recherche s'effectuera sur des shaders dit PBR (*Physical Based Rendering*). Il s'agit de rendre les matériaux des objets selon leurs paramètres physiques réels comme la quantité de mélanine pour les cheveux ou l'intensité des spéculaires pour des surfaces.

1. *La Neige, un volume ?*

La sortie du *Grinch* par le studio Illumination MacGuff en décembre 2018 m'a permis d'aborder le rendu de neige d'une façon assez inattendue. En effet, en discutant avec son lead lighting, Victor Pajot, j'ai appris que ce n'était pas via un shader de type surface mais plutôt de volume qu'il a été effectué. Cette technique semble être des plus pertinentes et avantageuses lorsqu'elle s'applique à de la simulation. En effet, l'usage de VDB, c'est-à-dire de volumes, plutôt que de meshes énormément subdivisés pour rendre compte des détails fins, permet de s'affranchir de données beaucoup plus lourdes à

exporter et à traiter, et peut faire fi des problématiques de différence de mesh soulevées par l'étude de setup de simulation de *Piper*.



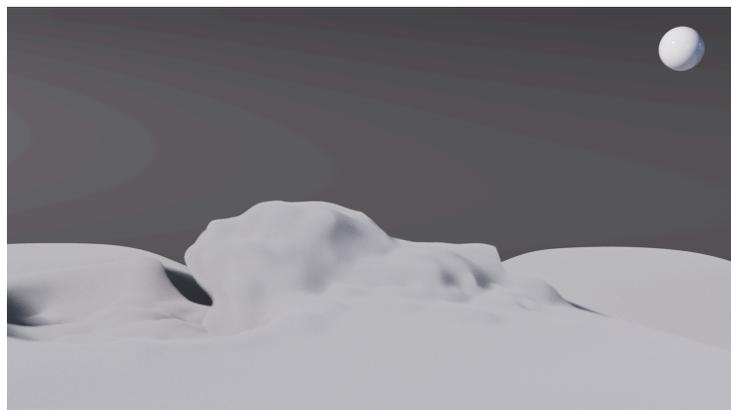
FIGURE 21 - PHOTOGRAMME DU GRINCH

Bien évidemment, la seule utilisation d'un shader de volume, réglé avec une densité suffisamment importante, ne suffit pas à rendre une neige crédible en image de synthèse. Il convient en effet d'y joindre un shader de micro-déplacement très réduit pour lui permettre de créer du relief selon la valeur de gris de la texture qui y est jointe. Chez MacGuff Illumination, le shader de volume ayant la particularité d'avoir un lobe (c'est-à-dire un attribut) de réflexion, il lui est possible de récupérer des zones très petites et ponctuelles de spéculaires. La neige brille alors de façon irisée et discontinue. De cette manière, *Le Grinch* a développé sa propre méthode de rendu de neige en couplant l'usage de volume avec du micro-déplacement par dessus permettant de recevoir des zones de réflexion.

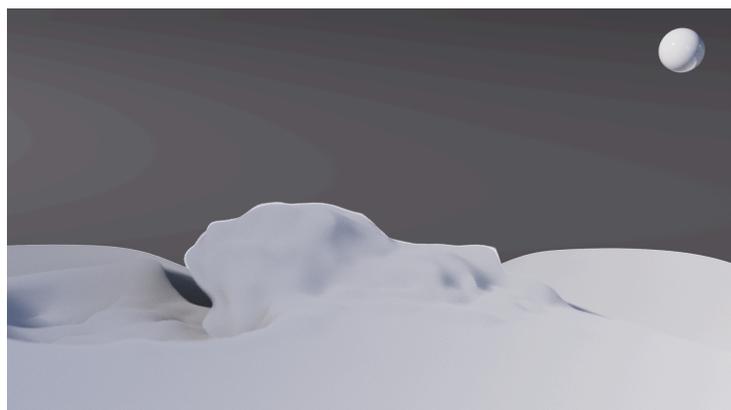
J'ai donc tenté de reproduire ce même processus. Or, qu'il s'agisse d'Anorld 5 sur Maya ou de Cycle sur Blender les shaders volumétriques de type PBR ne disposent pas d'un lobe de spéculaire. De fait, il leur est impossible de réfléchir la lumière. J'ai tout de même voulu poursuivre mon expérimentation sur Maya (Figure 22). Pour obtenir une neige en volume, il faut monter de façon importante la densité, pour qu'elle paraisse bien compacte puis lui attribuer une anisotropie¹³ positive afin que les rayons de lumière s'y diffuse de façon uniforme dans une seule direction. La lumière s'y répartie alors de façon plus linéaire et nous offre des ombres nuancées. Afin d'y ajouter

¹³ Orientation des reflets

les réflexions, j'ai dupliqué par dessus le mesh initial sur lequel a été assigné un shader de surface, micro-displacé et seulement affecté par de la réflexion. Afin qu'il ne masque par le volume situé en dessous, il suffit de mettre son lobe de réfraction à 1 pour que le matériau agisse comme du verre



CRÉATION D'UN VOLUME AVEC UNE DENSITÉ DE 100



AJOUT D'UNE ANISOTROPIE POSITIVE



AJOUT D'UNE SURFACE EN RÉFRACTION PAR DESSUS AVEC SES ATTRIBUTS DE DIFFUSE NON RENDUS

FIGURE 22 - ESSAIS DE RENDU DE NEIGE À PARTIR D'UN VOLUME SUR MAYA 2018

Or, l'ajout de la surface déplacée en réfraction apporte un grand nombre de problèmes. Tout d'abord, cela impose de calculer non seulement un mesh en volumétrique mais aussi, par dessus une surface réfractive, qui bien qu'avec un indice de réfraction (IOR) à 1¹⁴, alourdit considérablement les temps de calculs. Certains penseront que mettre la surface en transparence permettrait de combler ce soucis. Il n'en est rien car la transparence s'applique sur l'ensemble des lobes, ce qui nous prive des spéculaires que l'on souhaite voir. En revanche, puisqu'il s'agit du seul lobe que nous souhaitons garder, il est tout à fait possible de désactiver dans les paramètres de rendu, tous les autres, notamment ceux de la diffuse. Enfin, l'application de la surface de réflexion sur celle du volume n'est pas des plus évidentes à mettre en place pour que les deux formes s'épousent. Des artefacts peuvent en effet surgir, ou l'espace entre les deux surfaces peut être visible.

2. *Microdisplacing*

Avec Arnold et la plupart des shaders PBR par défaut, il vaut donc mieux privilégier l'utilisation des matériaux de surface qui pourront recevoir des réflexions. Ainsi, après le réglage de plusieurs paramètres j'ai pu obtenir un rendu beaucoup plus convaincant, pour des temps de calcul bien moins importants (Figure 23).



FIGURE 23 - NEIGE OBTENUE AVEC UN AISTANDARD SURFACE SUR MAYA 2018

¹⁴ Le réglage de l'IOR à 1 permet d'éviter la déviation des rayons réfractés qui a tendance à faire croître les temps de rendus.

La neige en images de synthèse repose sur deux principaux paramètres. Tout d'abord le microdisplacement vient donner du relief à très petite échelle pour simuler les aspérités issus de la multitudes de grains enchevêtrés les uns avec les autres. Les algorithmes de *noises*, qui génèrent de façon procédurale des textures de niveaux de gris par zones aléatoires, peuvent se montrer pour la neige très utile dans la mise en place d'un déplacement granulaire. En ajoutant une texture de noise large à une seconde, beaucoup plus fine, permet de donner un double niveau de relief à la neige. Le premier déforme le mesh pour lui donner un aspect plus ondulé, tandis que le second va créer les micro aspérités de surface. Utiliser des maps de déplacement avec des détails aussi précis, demande néanmoins de subdiviser le maillage de l'objet au rendu. En effet, un vertex faisant la moyenne des couleurs de la texture sur lesquels il se positionne via les UV, si le maillage est plus large que la précision de la texture, le déplacement manquera de détails.

Ensuite, l'utilisation du SSS (Sub-Surface Scattering) est essentiel dans le rendu d'une neige pertinente. Il repose en partie sur la transmittance et la diffusion en physique. Il permet aux rayons de lumière de pénétrer à l'intérieur de l'objet, de le traverser en partie et d'en renvoyer certains, diffusés à l'intérieur (Figure 24).

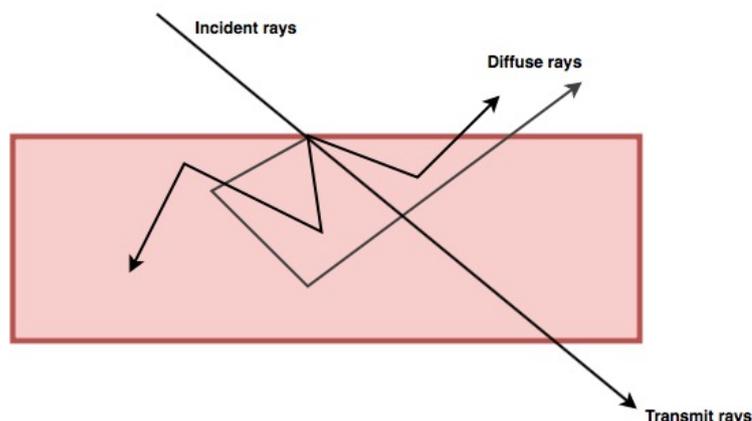


FIGURE 24 - SCHÉMA SIMPLIFIÉ DU FONCTIONNEMENT DU SSS

Afin d'obtenir des résultats plus satisfaisant, le choix du *randomwalk* comme algorithme est à privilégier. Par ailleurs, l'échelle du SSS offre un avantage de taille par rapport à un shader de type volumétrique car il peut donner une impression de neige plus ou moins humide et restituer l'ensemble des types de manteaux vus

précédemment. Si son utilisation est inévitable pour le rendu, elle demande néanmoins à bien subdiviser le mesh car le paramètre de bump qu'Arnold peut utiliser en temps normal dans le cas où l'échantillonnage de la texture en déplacement est trop faible, se désactive. En effet, avec du SSS les lobes de bump et de normal ne fonctionnent pas ou mal. C'est pourquoi l'impression de micro relief des aspérités ne peut être obtenu que par le déplacement.

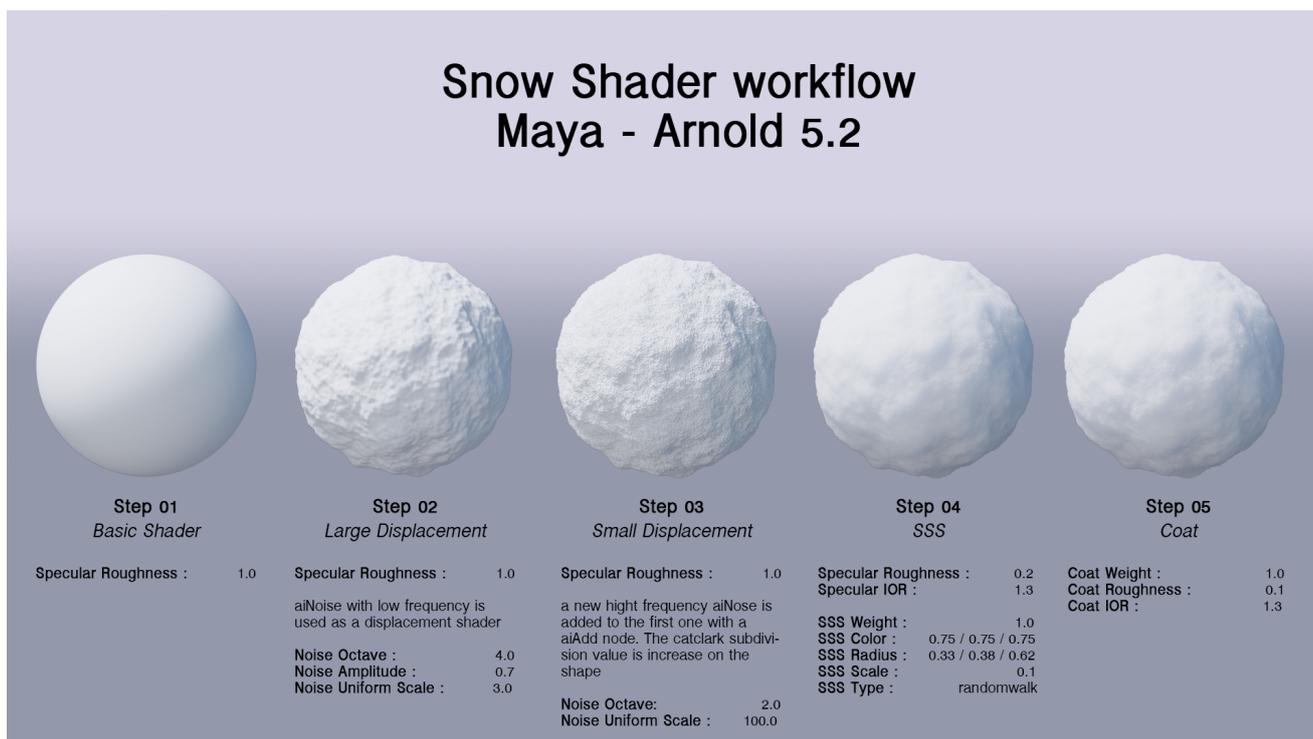


FIGURE 25 - PROPOSITION DE SHADER DE NEIGE SUR MAYA AVEC ARNOLD 5.2

B. Création d'un environnement

1. Plugins

C'est bien connu, la neige étend son blanc manteau. Elle recouvre tout ce qu'elle rencontre au sol, quand bien même la surface de dépôt est raide. Si la création d'un paysage extérieur ne demande qu'un travail de sculpt, recouvrir des objets reste un processus plus compliqué. Il s'agit en effet d'envelopper le haut de chacun d'entre eux en prenant en compte leur forme et l'orientation de leurs faces.

Lorsqu'il s'agit d'éléments lointains, dans la scène, la génération d'un mesh par dessus les objets n'a pas grand intérêt. L'utilisation d'une texture de masque entre un shader de neige et celui de l'objet principal suffit amplement. Sur Substance Designer, outils de génération de textures procédurales, il est possible de récupérer une texture de masque pour de la neige. Pour cela, il suffit dans un premier temps de *baker* la map de normale de l'objet pour pouvoir récupérer une couleur selon l'orientation des faces. Avec le node *RGB Split*, on peut ensuite isoler le canal vert qui correspond à l'orientation des faces selon l'axe Y c'est-à-dire celles tournées vers le haut. De cette manière, on obtient un dégradé de gris selon la valeur de l'axe Y de la normale de la face. Autrement dit, si une face est orientée vers le haut, la couleur correspondante sera blanche car son axe Y aura en valeur unitaire de 1. A l'inverse, si elle est tournée sur le côté sa valeur étant de 0, la couleur correspondante sera noire. Il est par ailleurs possible de ne pas avoir besoin de passer sur un logiciel de texturing pour obtenir un tel masque car la majorité des logiciels de 3D dispose de leurs propres nodes pour extraire les normales d'un objet et ne conserver que l'axe des Y.

En revanche pour des objets proches, il est nécessaire de modéliser le manteau neigeux. Sur 3DS Max il existe un certain nombre de plugins qui permettent d'appliquer une couche de neige sur une scène comme snow N-Painter, polySnow ou snowFlow. Ce dernier est certainement le plus abouti car il dispose d'un grand nombre de paramètres et d'un ensemble de *brushs* qui permettent de personnaliser la scène en y ajoutant directement des traces de pas qui peuvent donner l'impression d'une simulation en étant animés. Qui plus est, ce plugin prend en compte la disposition des objets les uns aux autres, ce qui permet à la neige par exemple de ne pas se déposer à certains endroits s'il y a un obstacle au dessus. Blender et Maya ne disposent pas de plugin pour générer un manteau neigeux. C'est pour cela que j'ai choisi de travailler sur Houdini.

2. Expérimentations sur Houdini

Pour générer le dépôt de la neige au sol, en prenant en compte tous les obstacles qui peuvent exister, j'ai recréé le processus naturel de chute de flocons en plaçant au dessus de la scène une surface qui va envoyer des particules selon l'inverse de l'axe Y (cad vers le bas). Le node *RayHits*, permet de projeter des particules sur un autre mesh selon un vecteur. Il va ainsi prendre en compte les obstacles que peuvent

rencontrer les particules. La voxelisation puis le meshing de ces dernières abouti à la création d'un nouveau mesh qui sera utilisé pour de la neige (Figure 26).

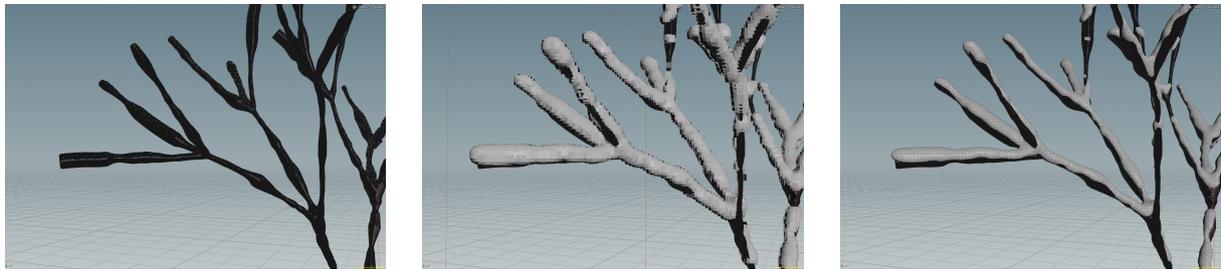


FIGURE 26 - PROCESSUS DE CRÉATION DE MANTEAU NEIGEUX SUR UN ARBRE DANS HOUDINI
DE GAUCHE À DROITE : PARTICULES - VOXÉLISATION - MESHING

Or, le processus de voxelisation est extrêmement lourd est peu fiable dans certaines conditions, notamment sur les parties fines d'un objet puisqu'il va créer un mesh trop large (Figure 27). Pour éviter cela il faut non seulement réduire le rayon des voxels par particule mais aussi multiplier leur nombre. Le node *point replicate* dans Houdini peut permettre d'en instancier de nouvelles autour de celles déjà présente et ainsi gagner en densité sans avoir à multiplier leur quantité initiale. La nouvelle voxelisation, désormais plus fini, permet au mesh d'épouser au mieux la forme qu'elle recouvre (Figure 28).

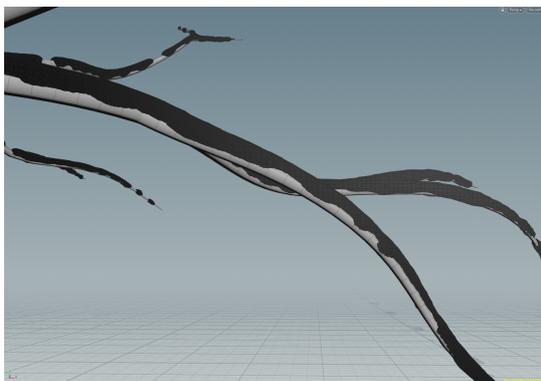


FIGURE 27 - MESH OBTENU A PARTIR DE 1 000 000 DE POINTS ET DES VOXELS DE 0,25

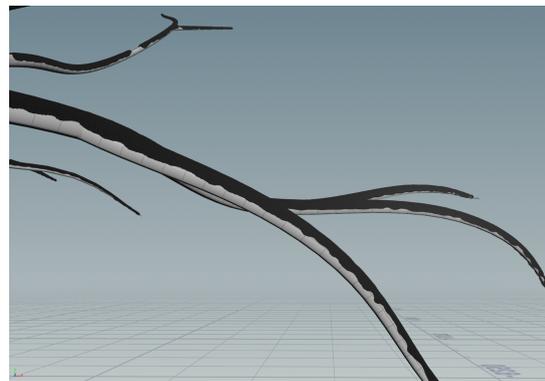


FIGURE 28 - MESH OBTENU A PARTIR DE 10 000 000 DE POINTS ET DES VOXELS DE 0,1

Malgré la difficulté de l'échantillonnage des particules puis de leur voxelisation, la création de ce *setup* sur Houdini présente néanmoins une certaine flexibilité qui lui donne autant d'intérêt que les plugins vus précédemment. Le VEX¹⁵ peut d'ailleurs être utilisé pour contrôler de façon procédurale notre nombre de points

¹⁵ Langage de programmation propre à Houdini

en fonction des normales de l'objet à recouvrir et ainsi donner plus ou moins d'épaisseur ou d'accroche à notre manteau neigeux. On remarquera toutefois que sur les surfaces planes (table et chaises), la neige générée reste très plate là où, à cause du ruissellement, elle aurait tendance à former des amas en trapèze (Figure 29).



FIGURE 29 - UTILISATION DE HOUDINI POUR UN RENDU MAYA

C. La question du macro

Or, le surfacing d'un mesh généré sur un terrain se relève totalement inefficace lorsque la camera se rapproche et que l'on souhaite rendre compte de détails précis. Les *displacement maps* trouvent là leur limite. J'ai donc voulu voir comment dépasser cet obstacle, et c'est en étudiant la simulation des matériaux granulaires dans le court-métrage *Piper* de Pixar que j'ai pu trouver mes premières réponses. Afin de rendre compte du sable dans les gros plan, les équipes de Pixar n'ont pas hésité à modéliser un ensemble de grains à 5000 faces, instancié et avec des shaders différents. Aux grands maux les grands moyens, je me suis dit que je pourrais faire de même et qu'il serait possible de modéliser différents grains de neige puis les amasser les uns avec les autres sur une surface.

1. Flocon en modèles cellulaires

Modéliser des flocons pour les utiliser en instance sur une surface est une méthode très lourde. C'est pourquoi je me suis d'abord inspiré de celles qu'utilisaient les GPU (carte graphique) nécessitant des modélisations légères pour le rendu. Or en temps réel, les flocons de neige sont de manière générale des *sprites*¹⁶ avec la texture en alpha d'un flocon, et jamais modélisés en 3D. Pour faire des rendus en mode macroscopique, cette méthode est inefficace car elle laisse les bords des *sprites* beaucoup trop nets et ne permet pas à la camera de tourner autour. D'ailleurs, dans le jeu vidéo, les *sprites* ne sont utilisés que pour la chute de flocons et non sur un terrain.

Or une méthode proposée par une équipe de chercheurs chinois utilise la relation entre la densité et le diamètre d'un grain de neige pour générer des sphères concentriques en GPU sur lesquels sont disposés un ensemble de triangle (Miao et Xiao 2015). Il faut savoir que la densité du flocon est inversement proportionnelle à son diamètre. Ainsi, en fonction du nombre de triangles et de sphères, il est possible d'obtenir un grain de neige très léger en terme de modélisation, qui respecte les lois physiques. De plus, les triangles, positionnés aléatoirement par rapport à la surface de la sphère, permettent de récupérer des aspérités de surface qui reproduisent l'effet granulaire du grain de neige. Cependant, appliquée au recouvrement d'une surface dans le cadre de ma recherche, cette méthode ne se révèle pas très pertinente et il m'a été impossible d'exporter une aussi grande quantité de grains ainsi obtenus sur Maya. De plus, les triangles restent soit trop larges soit trop nets pour donner une neige crédible, sans compter, leur manque d'épaisseur.

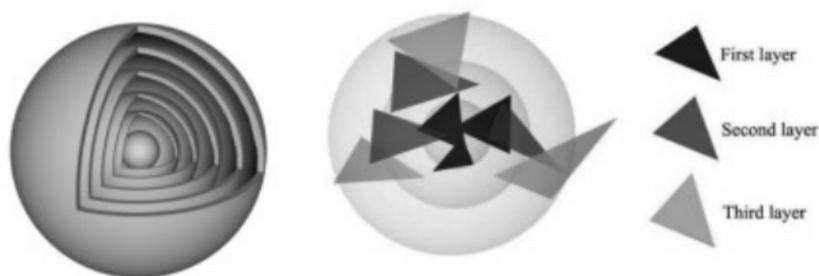


FIGURE 30 - SCHÉMA D'UN FLOCON GÉNÉRÉ PAR UN GPU SELON LE MODÈLE DES SPHÈRES CONCENTRIQUES DE ZOU, CHENGMING, XIUFENG XIE, ET GUANGHUI ZHAO

¹⁶ Particules générées avec une texture 2D

La création d'un flocon dont le processus a été scientifiquement abordé plus haut, a été mis en évidence dès 1611 par le scientifique Kepler qui propose déjà une organisation hexagonale de sphères pour décrire la variété des flocons. A partir de cette forme, Stephen Wolfram propose dans la seconde moitié du XXème siècle un algorithme visant à simuler la formation des cristaux, basé sur un booléen, mis à jour à chaque étape selon chacune des cellules qui le compose. L'algorithme se pose la question de savoir si l'actuelle cellule est de glace ou non puis si l'une de ses voisines est de glace, au quel cas elle pourra geler.

En 2005 Clifford A. Reiter propose un algorithme de cellules réceptives ou non-réceptives sur une grille hexagonale dont le statut est mis à jour à chaque itération. Or, à la différence de celui de Wolfram, les cellules ne sont plus des booléens mais des valeurs décimales représentant un état progressif de la solidification de la matière. Si celles-ci sont supérieures à 1, la cellule est de glace, sinon elle contient juste de l'eau liquide qui peut circuler librement sur une voisine. A chaque étape, on détermine les cellules réceptives (cellule de glace ou voisine à la glace) auxquelles on ajoute une constante, par rapport aux non-réceptives. Ces dernières reçoivent un facteur de diffusion déterminé par la somme des valeurs des cellules voisines divisée par 12. Les nouvelles valeurs ainsi obtenues sont additionnées ce qui donne une nouvelle configuration de cellules de glace et de cellules liquide sur la base d'un algorithme de propagation où les zones réceptives stockent en permanence la masse d'eau accumulée alors que les non réceptives permettent à la masse de circuler librement vers une valeur moyenne voisine.

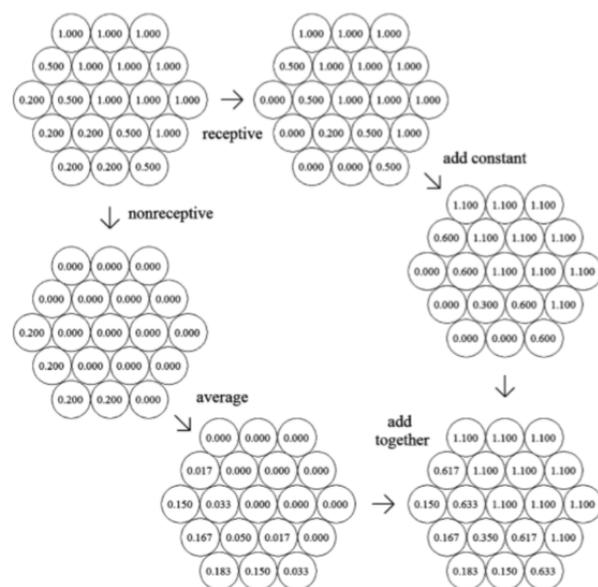


FIGURE 31 - EXEMPLE REPRÉSENTATIF DE L'ALGORITHME DE CLIFFORD A. REITER

Entagma a appliqué l'algorithme cellulaire de Reiter sur Houdini. Il permet de rendre compte de façon progressive de la création continue d'un cristal de neige mais

trouve rapidement des limites par sa bi-dimensionnalité. Par ailleurs, dans l'objectif d'obtenir un mesh fini à partir de la création du cristal, le nombre de voxels doit parfois être extrêmement élevé pour pouvoir garder un niveau de détail satisfaisant. Néanmoins, il m'a été possible d'obtenir un ensemble de cristaux de neige très différents que j'ai pu comparer avec le graphique de Reiter selon deux variables. Tout d'abord Gamma, qui représente la constante à ajouter aux cellules réceptives à chaque itération, puis Beta, une constante de départ pour la propagation (Figure 32).

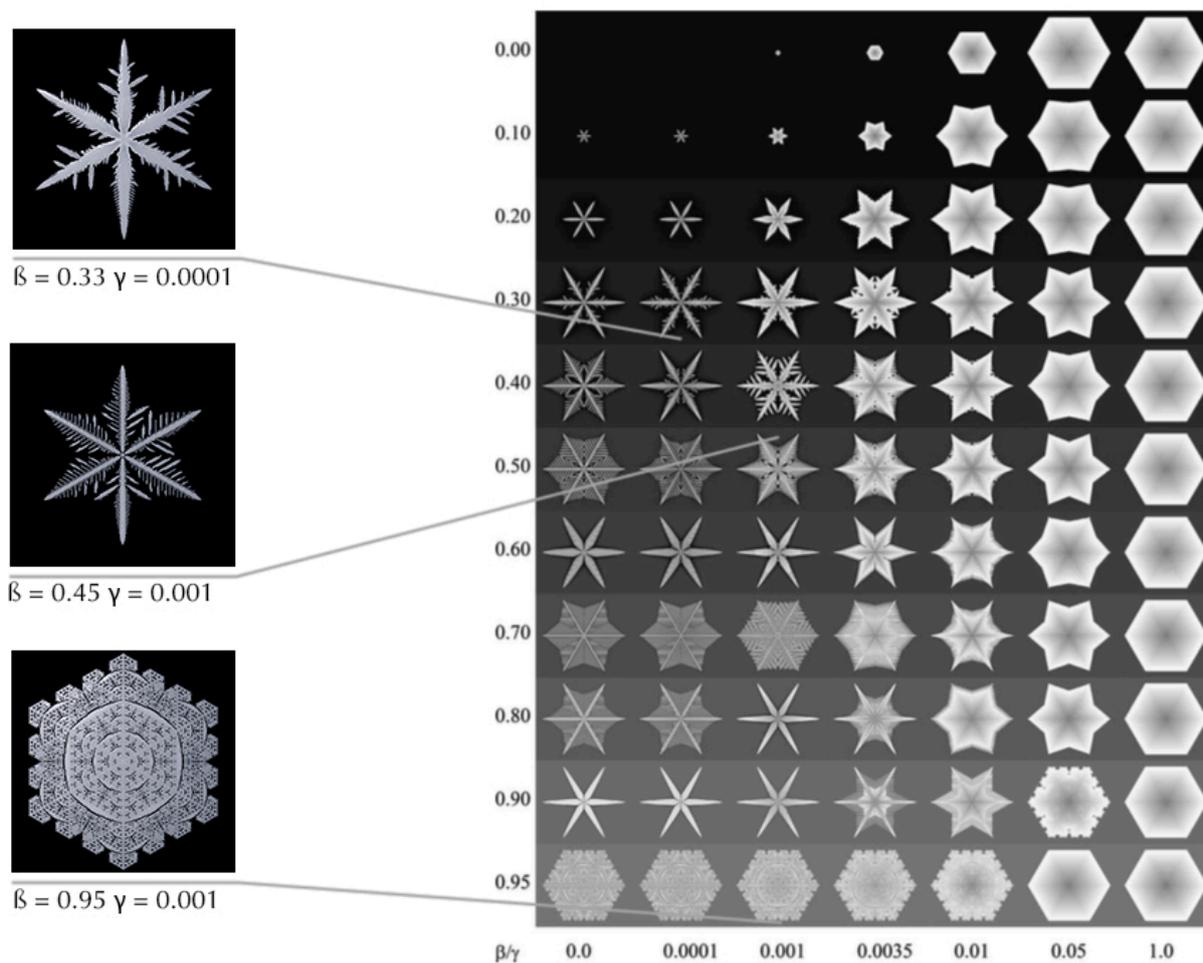


FIGURE 32 - GRAPHIQUE DE CORRESPONDANCE ENTRE DES FLOCONS GÉNÉRÉS SUR HOUDINI ET CEUX ISSUS DE L'ALGORITHME DE REITER, SELON GAMMA ET BETA

2. Mise en place en scattering

En ayant créé une grande variété des cristaux, j'ai voulu les répartir aléatoirement sur une petite surface à l'aide de MASH, un plugin Maya qui permet, entre autre, de générer des effets visuels procéduraux de type Motion-Design dont du *scattering*. On appelle *scattering* les méthodes permettant de générer sur une surface

un ensemble d'éléments en instance. Elles sont utilisées principalement pour la création de cheveux, de forêts ou de champs d'herbe. Il est préférable d'utiliser des mesh légers c'est pourquoi, bien réduits en nombre de polygones grâce au node *PolyReduce* dans Houdini, il m'a été possible de générer en instance plus de cinquante milles cristaux sur une surface.

En travaillant à l'échelle des cristaux, l'usage du SSS et du micro-déplacement n'a pas lieu d'être d'autant puisqu'il risque de récupérer des ombres de contact trop fortes dans les zones d'intersection entre les dendrites. C'est pourquoi, dans ce cas là, il vaut mieux privilégier l'utilisation de la réfraction. Celle-ci s'accordera d'avantage à une reproduction du réel puisqu'il a été vu que les grains de neiges sont composés de glace. Il est néanmoins admis que l'utilisation du lobe de réfraction a pour résultat d'allonger les temps de calculs. Le généraliser sur des milliers d'objets ainsi répartis en instance n'est donc pas un procédé des plus intéressants, sans oublier qu'il faut augmenter la valeur des paramètres liés à la GI¹⁷ (global illumination) pour permettre aux rayons lancés depuis la camera pour le rendu de traverser toutes cette superposition d'éléments transparents.

Initialement, avec un IOR à 1,33, le rendu par image dépasse les 4h. J'ai donc choisi de le mettre à 1. Si les temps de calcul s'en trouvent être réduits, les flocons perdent en réalisme au niveau des réflexions et malgré un travail de composition poussé, il est difficile d'atteindre un niveau de réalisme élevé. De plus, l'enchevêtrement des cristaux crée des ombres portées très difficile à enlever que l'ajout d'une *light* viendrait certes amoindrir mais au prix d'une perte des zones de spéculaire.



FIGURE 33 - RENDU D'UNE SURFACE RECOUVERTE DE CRISTAUX DE NEIGE SUR ARNOLD 5.2



FIGURE 34 - NEIGE GIVRÉE EN GROS PLAN

¹⁷ Eclairage de la scène 3D par les rayons indirects de lumière après leur rebond sur une surface.

On peut néanmoins remarquer que l'utilisation de cristaux créés sur la base des modèles cellulaires et répartis avec densité sur une surface peut permettre de donner une neige un peu givreuse (Figures 33 et 34). Il faut cependant accepter des temps de calculs plus élevés (notamment sur Arnold) en raison de l'utilisation des lobes de réfraction. Ce n'est donc pas forcément une technique des plus intéressantes que d'utiliser des cristaux aussi détaillés. Faut de temps, il m'a été impossible de tester avec d'autres formes d'objets. Toutefois, d'un point de vue seulement théorique, je pense qu'il est tout à fait possible d'obtenir un rendu similaire à partir de pyramides ou de polyèdre tranchants éparpillés à très petite taille sur une surface irrégulière et anguleuse.

3. Les Hair Systems



FIGURE 35 - NEIGE EN GROS PLAN

La difficulté du gros plans en images de synthèse sur la neige c'est de pouvoir rendre les dendrites des cristaux ou les bâtonnets, qui forment des petits amas discontinus de tiges (Figure 35). Or, en y réfléchissant bien, visuellement, les grains de neige peuvent ressembler à des cheveux très courts, épais, et orientés de façon très aléatoire. C'est l'idée émise par Nika Maisuradze, découverte sur ArtStation, qui a utilisé les *Hair Systems* de Blender pour créer un dépôt de neige léger sur une branche.

Dans un premier temps, sur une branche modélisée, des têtes de Suzanne¹⁸ ont été réparties pour servir de support au système de poils. Le choix de ce mesh par rapport à des sphères est judicieux car il présente une surface beaucoup moins uniforme et permettra d'avoir une répartition de neige beaucoup plus perturbée. Afin d'ajouter de la déformation, les têtes sont déformées par un *noise* à très forte intensité. Enfin, les poils

¹⁸ Tête de singe présente par défaut dans blender

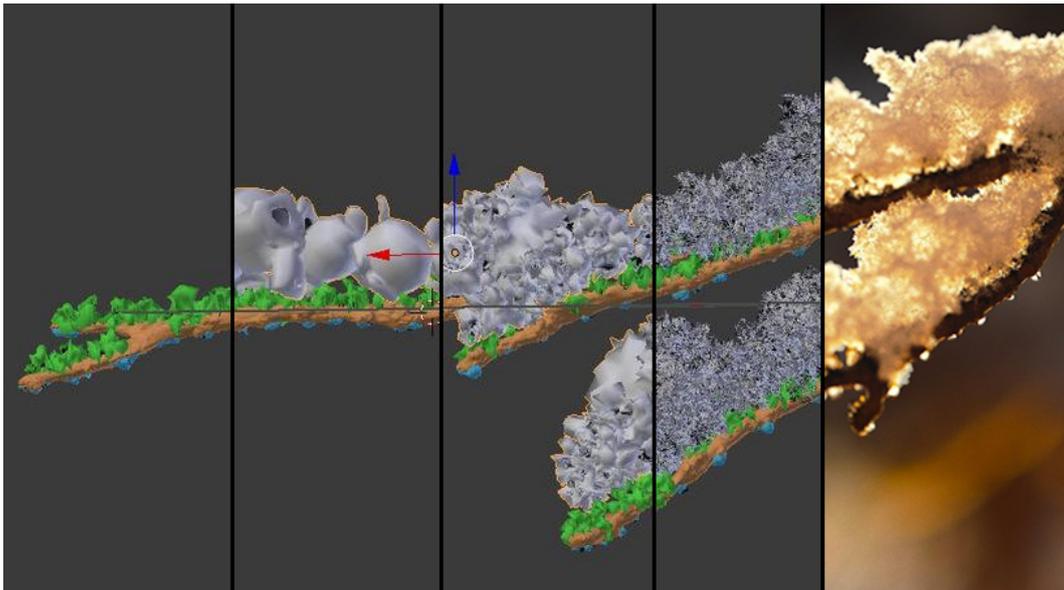


FIGURE 36 - BREAKDOWN DU TRAVAIL DE NIKA MAISURADZE SUR BLENDER

sont ajoutés, réglés de telles sortes qu'ils soient courts, épais, droits, orientés de façon très différentes et surtout avec une importante densité (Figure 36).

En choisissant de reprendre le *setup* créé par Nika Maisuradze, j'ai ainsi voulu me concentrer seulement sur le travail des *hairs* et du shading aussi bien sur Maya que sur Blender. Que ce soit Xgen pour le premier et le *hair system* par défaut sur le second, la création d'un manteau de neige via cette technique demande surtout à ce que les *hairs* soient générés avec le plus d'aléatoire et de rigidité pour prendre l'apparence d'une simple tige droite. Le shader se basant principalement sur celui de glace avec celui des hairs pour l'optimiser au mesh sur lequel il s'applique, c'est les paramètres de densité et de longueur qui sont essentiels quant à la crédibilité de notre neige via ce processus. La Figure 37 illustre une série d'essais de rendus sur Maya avec Xgen selon des différences de densité et de longueur de *hair*. La difficulté repose en grande partie sur le fait d'avoir une neige pas trop épaisse de sorte à ce que les rayons de lumière puisse la traverser et que les *hairs* qui la composent soient d'une taille et d'une épaisseur convaincante.

Alors que mes matériaux sont similaires dans leur composition nodales (un shader de verre ajouté à un shader de cheveux blanc très discret), le rendu a été très différent selon que je sois sur Maya ou sur Blender. Il est possible que cela soit du au traitement des *hairs system*. Avec Xgen, ma densité se relève finalement bien moins

importante que sur Blender, ce qui rend plus visible la transparence de la neige et lui donne un côté plus humide et moins sec que ce qui a été obtenu sur blender. Cette méthode est donc certainement la plus intéressante pour créer et rendre rapidement de la neige en images de synthèse avec des temps de calcul moins lourds que les méthodes de *scattering*.



density = 20 - length = 0.1



density = 20 - length = 0.01



density = 50 - length = 0.1



density = 100 - length = 0.1

FIGURE 37 - RENDUS DE NEIGE EN FUR SUR MAYA 2018 AVEC XGEN SELON LA DENSITÉ ET LE LENGTH



FIGURE 38 - RENDU DE NEIGE EN FUR SUR MAYA 2018



FIGURE 39 - RENDU DE NEIGE EN FUR SUR BLENDER

En conclusion, l'observation, l'analyse et la création de neige en images de synthèse a montré qu'il existait un grand nombre de solutions pour la simuler et la rendre de façon cohérente et artistique. Le choix du *setup* dépend ainsi d'une volonté artistique quant à la simulation, et de l'échelle de plan quant-au shading. Si le SSS et le déplacement sont des paramètres essentiels pour le rendu de neige, dans le cas de gros plans, il faut ruser en détournant certains outils (*scattering*, *hairSystem*) qui nous permettent de travailler à une échelle intermédiaire entre le manteau et les cristaux de neige avec de matériaux de réfraction. Ces expérimentations me permettent ainsi de les appliquer dans le cadre d'un projet plus approfondi autour de la question de la mise en scène.

PARTIE III

Mettre en scène la neige

Le développement de différentes méthodes, adaptées selon des situations particulières, permet désormais de proposer un rendu crédible de neige en images de synthèse. Or, suite à notre premier état de l'art, nous avons constaté que sa représentation était particulièrement difficile pour les artistes en raison du problème sémantique et épistémologique de la neige. Ainsi, la question de sa mise en scène doit passer tout d'abord par une résolution de ce soucis qui lui est propre. C'est pourquoi, avant de proposer une application pratique de la mise en scène de la neige au cours du projet intensif, il faudra analyser trois solutions apportées par les auteurs concernant sa sémantique.

I. *Trois solutions dans l'appréhension de la neige*

En début de ce mémoire, il a été dit que les artistes étaient confrontés au problème sémantique et privatif de la neige, ce qui peut expliquer ses représentations diverses, en opposition entre elles et l'inquiétude des artistes à son égard. Or, l'observation des tableaux flamands, romantiques et impressionnistes montrent qu'il existe des dénominateurs communs dans l'écriture ou la mise en scène de la neige. Le jeu des oppositions permettraient tout d'abord de révéler davantage son rôle narratif, d'autant plus que les notions de « Désert Intérieur » et de « Tombeaux fructueux » développés par des auteurs peuvent résoudre les problèmes soulevés par la sémantique de la neige.

A. *Les antagonismes à la rescousse de l'auteur*

La neige, en tant qu'absolu de néant, brouille les sens qu'il nous restait pour la décrire, à savoir l'ouïe et la vue. Or, en se souvenant des tableaux de Bruegel, ou de Friedrich, des allégories de l'hiver et même de certains poèmes, on se rend compte que la neige n'existait que par opposition avec son environnement. On trouvait ainsi des couleurs rouges ou du noir, la présence de flammes et de braseros et même un vocabulaire issu d'un champ lexical du feu. De fait, il se pourrait que l'utilisation d'opposés viennent d'abord aider à la représentation de la neige. Autrement dit, la neige d'un point de vue artistique se représenterait non pas par ce qu'elle est mais par la monstration de ce qu'elle n'est pas pour mieux la faire exister.

En se replongeant dans les analyses de Gilbert Durand, on finit par découvrir que le poète arrive jusqu'à dire qu'un « *silence est blanc et une clarté silencieuse* ». L'inversion des sens n'est rien face à ce que peut d'avantage la neige. De manière générale, elle joue sur toutes les oppositions qu'elle peut établir. Ainsi, « *Le citoyen détendu par les sports d'hiver troque la composition de l'adulte contre les plus extravagants et puérils accoutrements. [...] Là où il est interdit de jeter des pierres, la neige autorise qu'on lance des boules. La partie de luge prime les devoirs.* » (Durand,

1999). La neige peut ainsi faire de l'adulte un enfant, et rapprocher en son sein les opposés. Afin d'attendre l'absurdité poétique qui permettra à la neige de développer sa propre sémantique, les peintres et même les auteurs vont jusqu'à jouer avec son principal antagoniste, à savoir le feu. Car rien n'est plus opposé que la neige et le feu. Et pourtant déjà on parle d'un froid qui brûle le visage ou qui assèche la peau. Ainsi, l'Hiver se retrouve armée d'un Braser, les flammes rouges scintillent sur le blanc immaculé de la neige et Paul Valéry se fera l'auteur de belles images chargées d'oppositions entre le chaud et le froid.

Pour valoriser d'avantage la neige et son bleu froid, il faut donc insister sur la chaleur et la couleur orange qui lui est complémentaire. Ainsi on comprend d'avantage les maisons orangées des tableaux flamands desquelles les cheminées surgissent. Car ce n'est pas tant la neige qui donne l'impression de froid, mais son opposition avec là où il nous semble faire plus chaud. Pour Rikle, la neige n'est pas seulement l'antithèse du feu mais son prétexte ; il fait froid donc il faut se réchauffer et pour cela rien de mieux que la cheminée, et son ardent foyer.

*Les Chemins blancs deviennent silencieux
Et plus intimes les chambres familières
L'horloge chante et les enfants tressaillent
Car dans le poêle vert une bûche a craqué.*
Rainer Rikle

Toutes les oppositions sont là ; au blanc de la neige vient le poêle vert, à son silence vient chanter l'horloge et caquer une bûche et sans être dit, la chaleur du feu inonde le foyer. Toute la beauté de l'instant hivernal surgit de ces quelques associations d'antagonistes. Ne serait-il pas aussi possible de dire « *pas de feu sans froid* » (Durand, 1999) ? Il serait-même envisageable que l'hiver en devienne un prétexte de foyer, de retrouvaille familiale voire de fête. Jour de l'an, Noël, toutes les fêtes occidentales se situent au cœur même de l'hiver. Faudrait-il voir cela comme une simple coïncidence ? Peut-être pas. Au contraire, même, il serait bon d'envisager leur emplacement dans le calendrier à une réaction spontanée au froid de l'hiver. Noël trouve toute sa place dans l'esprit de la neige : les températures basse invitent les gens au foyer et à développer le culte du feu. Ainsi, le Père Noël doit passer par la cheminée tandis que nous mangeons

non pas un gâteau mais une bûche en référence à celle qui brule dans l'âtre. La sémantique de Noël, s'inscrit donc dans un attachement au feu qui vise à davantage exacerber le caractère de la neige et de l'Hiver.

Pour aller encore plus loin, Anna de Noailles (1876-1933) dit bien « *Le Matin lumineux semble une chaude neige* » (Durand, 1999) et pousse à son paroxysme le mythe de la neige chaude. Pour Gilbert Durand, la neige ainsi associée atteint le sommet de sa poétique au même titre que « l'orange bleue », le « cadavre exquis » ou « l'obscur clarté » qui déjà lui avait été associé dans son caractère de vide absolu.

O Neige

Qui réchauffe et qui protège

[...]

Et soudain par le seuil de la porte fenêtre

Avec tes flocons purs et les dansantes flammes

O Neige lumineuse au travers de notre âme

Neige qui réchauffe encore nos derniers rêves

Comme du blé qui lève...

Emile Verhaeren « Viens jusqu'à notre seuil répandre »,

Les Heures du soir

La neige trouve son identité dans ce surréalisme poétique qui lui fait s'associer ses antagonismes à la manière de Verhaeren qui fait des flocons des « *dansantes flammes* » ou une « *neige qui réchauffe* » (Durand, 1999). Les peintures flamandes de Bruegel ont de la même manière trouvé un écho profond en la représentant comme un lieu chaleureux de vie de joie, alors qu'elle aurait pu être seulement Mort et Froid. Ainsi, il ne fallait pas pour ces peintres représenter un paysage seulement composé de blanc et de bleu, mais bien y associer des couleurs chaleureuses qui rappellent le foyer où brule un feu. Ainsi, même dans un *Paysage d'Hiver*, et *Scènes d'Hiver*, Ruisdael et Friedrich (Figures 3 et 4) accordent une place discrète mais essentielle à l'antagonisme du feu via les couleurs.

B. Le « Désert Intérieur » de Gilbert Durand

Or, si le feu nous inspire la chaleur, pourquoi ne pas penser aux déserts de sable rougeoyant qui pourrait s'opposer à celui blanc et frileux de la neige ? La neige porte en elle une dimension ascétique et donc de renoncement. Pour Gilbert Durand, il est possible de faire un lien entre le désert de sable et le désert de neige. En citant Paul Valéry qui parle de la neige comme « pur désert », Durand estime que le comparatif entre la symbolique du sable et celui de la neige est non seulement à analyser mais qu'on peut aussi déjà les rapprocher par leur opposition antagoniste, de laquelle peut jaillir une poétique.

Si le désert de sable est un « infini extérieur », où la chaleur fait perdre les sens, la neige force à se recroqueviller sur soi-même dans un « désert intérieur » (Durand, 1999). L'image trouve en effet son sens dans la représentation qu'on a du désert de sable où l'on cherche à trouver la sortie et donc d'aller vers l'extérieur, tandis que le froid de l'immensité glacière pousse à trouver refuge sans pour autant en sortir, ou même à se rassembler en un point pour se tenir chaud. Pourtant, qu'il soit de sable ou de neige, le désert est un lieu de solitude que l'ermite apprécie selon Durand. Il est un lieu propice à la réflexion. Ainsi si les artistes ont peur du vide désertique de la neige, ils doivent au contraire l'appréhender comme un lieu où peut fructifier leur pensées après introspection.

Un parcours rapide et non exhaustif d'oeuvres où la neige y joue un rôle primordial permet de se rendre compte de l'application de ce concept et de sa fonction narrative. Dans *Frozen* ou dans *Kung-Fu Panda 3*, le personnage principal quitte sa demeure pour se réfugier là où il fait le plus froid : au sommet d'une montagne, la neige bat son plein. Elsa y cherche une forme de liberté qu'elle pourra trouver dans cette solitude et questionner sa nature de magicienne de glace, tandis que Po y retrouve sa famille pour apprendre une technique ancestrale d'art martial. Les deux personnages revêtissent alors la représentation du vieux sage solitaire réfugié dans sa montagne sous la neige, propice à l'instauration de ce désert intérieur. La solitude procurée par la neige semble donc être l'unique moyen favorable à la réflexion sur soi. En s'isolant dans ce désert blanc, les personnages de fiction cités précédemment, mais aussi le personnage interprété par DiCaprio dans *The Revenant*, sont plongés dans un milieu non seulement désertique, mais aussi qu'ils intériorisent après avoir influencé leur

esprit. En s'isolant physiquement les personnages s'isolent mentalement, et la neige devient pour le spectateur la représentation artistique de l'esprit du personnage.

Autrement dit, la neige est un désert intérieur, au sens où non seulement elle invite à se recroqueviller sur soi et son esprit, mais aussi parce qu'elle est la représentation de cet esprit. En généralisant, d'un point de vue visuel, la mise en scène de la neige doit témoigner de l'esprit du sujet qui s'y trouve.

C. Le « Tombeau Fructueux » d'Emile Reynaud

La neige est un absolu de néant si bien qu'on la perçoit comme une incarnation de la mort. L'Hiver n'a-t-il pas été représenté sous les traits d'un vieil homme en fin de vie par les sculpteurs français Jean Raon et Pierre le Gros ? Or, n'oublions pas que si la neige joue sur les antagonistes elle peut rapprocher la mort, qu'on lui prête facilement, à la vie, qu'elle semble pourtant endormir. On associe l'Hiver à la période du grand repos durant laquelle certains vont s'isoler et s'endormir le temps que les beaux jours reviennent. La neige, comme linceul, manteau, se pose sur le corps endormi du monde mais ne tardera pas à s'ôter le temps que la mue opère.

« Il neige...

Tel un marbre descend lentement sur la tombe

Décembre est-ce la mort ? Non, tout est bien vivant :

La neige sans tarir, désaltère et féconde

La terre où, sourdement, germe la moisson blonde;

Et sur l'Alpe sauvage elle se fait berceau... »

Emile Reynaud

L'association d'images aussi ambivalentes que la tombe, symbole de mort et le berceau, symbole de (re)naissance, est selon Durand, la marque du cycle de la vie clôturé puis ouvert par la neige, qui efface la vie pour mieux la faire jaillir ensuite. C'est sûrement pour cela que la neige en devient un symbole religieux de grande pureté car elle est, à l'image de déluge, celle qui peut laver des pêchers les plus profonds. De plus, aérienne, issue du ciel, la neige est peut-être l'élément qui se rapproche le plus du divin. Ce n'est donc pas surprenant de lire Rimbaud dire : « Dieu fera sur ce front neiger ses bénitiers » (Durand, 1999) en métaphore de la neige comme épithète du

baptême. On se rend compte ainsi que l'image du Tombeau Fructueux est le parent de tout ce qui symbolisera la neige dans sa dimension spirituelle, mythologique et ascétique. En conséquence, si leurs interprétations sont multiples, toutes les oeuvres enneigées partent inconsciemment du postulat du Tombeau Fructueux où la seule difficulté est de pouvoir bien renaître du vide blanc laissé par la neige.

L'artiste doit donc envisager la neige comme un lieu de renaissance. Après avoir été un désert intérieur dans lequel il se confronte avec sa pensée, il doit pouvoir effacer l'ancien et faire jaillir un renouveau, aussi bien pour lui que pour le sujet représenté. La neige est alors un palimpseste multiple qui trouve de cette façon toute sa splendeur poétique. Ainsi, si je reprends l'analyse de films où la neige est présente, on se rend compte qu'elle est un environnement essentielle à la narration. Dans *Rise of The Guardians* (2011), Jack Frost, personnage principal trouve la mort dans un lac gelé dans lequel il se noie, pour ensuite renaître en temps qu'esprit de l'Hiver. De la même manière, Elsa de *Frozen*, dans la traversée de son désert intérieur, décide de laisser mourir la princesse humaine pour devenir Reine des Neiges.

Lors de la réalisation du second projet intensif de M1, j'ai inconsciemment exploré cette thématique. *UTOS* est une vidéo d'une cinquantaine de secondes réalisé avec Clara Boisard, Thomas Jordanidis et Justin Lejeau sur Blender. Le récit y met en scène un environnement fantaisiste qui subitement est recouvert d'une vague blanche amenée par un spectre de particules noires. Sans être de la neige (il m'était demandé de faire quelque chose entre la cendre et la neige) cette vague en porte néanmoins tous les attributs physiques (blanche, scintillantes) et symboliques (pureté, ascèse). De plus, le recouvrement de toute la scène par ce manteau blanc marque la suppression et la mort de tout ce qu'il y avait. Or, ensuite effrité, il laisse place à de nouvelles plantes aux couleurs encore plus vives, comme une renaissance. La thématique du Tombeaux Fructueux m'était donc déjà familière sans l'avoir reconnue et s'applique de façon pertinente dans cette situation.

En conclusion, la mise en scène, le travail et la sémantique de la neige reposent sur trois concepts clefs développés en partie par Gilbert Durand. Tout d'abord, elle se sert de ses opposés pour entrer dans une symbiose absurde et poétique afin de se révéler comme ce qu'elle n'est pas. Dans cet esprit symbiotique, Il n'est donc plus surprenant de parler d'une neige qui brule, qui coule, ou privatif de sens car au final,

elle n'en a cure pour exister. Ensuite, les notions de Désert Intérieur et de Tombeaux Fructueux, se complètent dans l'interprétation narrative et symbolique de la neige desquelles vont découler un ensemble d'autres thèmes. Ensemble, ils permettent de faire de la neige un vecteur d'émotion qui remplace, exacerbe ou embellit ce qui l'entoure.

II. Mise en pratique : WWS

Winter is The Warmest Season est le fruit de mes recherches sur la neige en association avec le travail de mes camarades : Clara Boisard, Thomas Jordanidis et Justin Lejeau. Très court-métrage rendu sur Maya 2018, il s'agit de notre troisième projet fait en collaboration pour lequel j'ai trouvé une satisfaction artistique et productive. Ce projet se veut beaucoup moins long et plus contemplatif que les précédents tout en portant une narration bien ficelé. Il m'a permis de mettre en application l'ensemble de mes recherches techniques sur la neige en images de synthèse notamment en jouant sur des échelles de plans différents, et en me permettant de proposer une narration via la symbolique de la neige.

A. Le travail d'échelle

Winter is The Warmest Season (WWS) est composé de seulement quatre plans dont trois où la neige est présente à l'image. Or, si peu nombreux soit-ils, j'ai dû pour chacun développer une technique de rendu différente en raison de l'échelle utilisée.

1. Recouvrir la galerie

Le plan d'ensemble sur la galerie dévoile à l'image la neige étalée sur tout le fond de la pièce et recouvrant plusieurs cadavres encore hors-champ. Initialement, je comptais utiliser la méthode développée sur Houdini qui consiste à projeter des points sur le sol et créer de la sorte le manteau neigeux, bien appliqué sur tous les objets ainsi disposés. Or, le résultat manquant de finesse via une surface générée en voxelisation, qui aurait demandé beaucoup trop de points pour une telle étendue de neige, il m'était impossible de travailler de nouveau dessus. De plus, si un élément sous le manteau devait bouger au layout, toute ma surface était à refaire. Contrairement à la scène d'extérieur pour laquelle j'avais développé ce système de génération de manteau neigeux, celui de la galerie ne nécessitait pas une précision aussi grande, et devait être d'avantage modulable. En revanche, là où la voute était détruite, cette technique s'est avérée très intéressante. En effet, au niveau des zones détruites, les poutres apparentes et les morceaux de plâtre, dans leurs irrégularités, étaient comme des branches d'arbres et il fallait, dans un soucis de logique, qu'ils soient eux aussi recouverts de neige. La

projection de particules puis leur meshing après voxelisation sur Houdini m'a ainsi permis de générer très rapidement une couche de neige sur toute la partie détruite de la voûte (Figure 40).



FIGURE 40 - DÉTAIL DU DÉPÔT DE NEIGE SUR LA VOUTE DÉTRUITE DANS
WINTER IS THE WARMEST SEASON

En ce qui concerne la neige au sol, puisque cette même technique s'avérait à la fois couteuse en terme de travail, et peu efficace, il m'a été beaucoup plus intéressant de sculpter depuis un *plane* la neige et lui donner des formes ondulées pour suggérer la présence d'éléments en dessous. Via un shader de micro déplacement et de SSS comme étudié précédemment j'ai obtenu de la sorte ma neige qu'il fallait brillante car fraîche, pour respecter les études de manteaux neigeux que j'avais effectuées. Or, l'utilisation d'un mesh seul pour la neige, posé simplement sur le sol présente un soucis de taille, à savoir la jonction entre les deux éléments. La modélisation seule ne suffit, en effet, pas pour faire apparaître le dépôt très fin sur le sol et les zones moins exposés à la précipitation de neige. Ainsi, en l'état actuel, le manteau de neige au sol était très abrupte et peu réaliste dans sa forme.

Afin d'assurer une jonction propre et réaliste de la neige vers le sol en parquet, j'ai utilisé des méthodes d'interpellation linéaire entre deux shaders. Il s'agit d'assigner à un même mesh deux matériaux différents dont une texture en niveau de gris viendra

définir la quantité de chacun. Dans notre cas, j'ai créé une texture en dégradé où le blanc correspond à ce qui doit être du parquet et le noir, la neige à partir du même shader que celui utilisé sur le *plane*. Pour obtenir des aspérités de niveaux, de formes et de quantités, j'ai peint sur le dégradé pour ajouter, à l'aide d'une *brush* spongieuse, plus ou moins de noir. Le shader de neige ayant un déplacement, il permet de donner du relief et créer des monticules de neige selon la valeur de gris de la texture utilisée pour l'interpolation linéaire. De cette manière, j'ai pu obtenir un manteau de neige de plus en plus fin et qui laisse apparaître ensuite le parquet avec quelques traces de neiges éparpillées dessus (Figure 41).

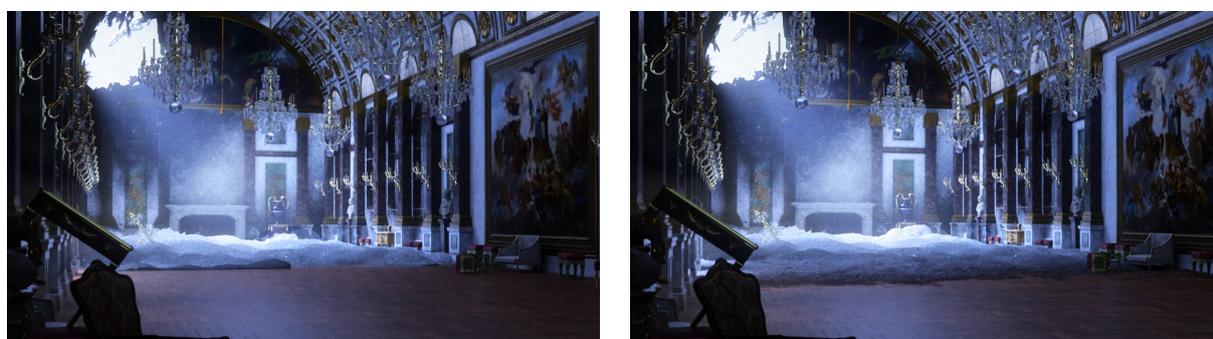


FIGURE 41 - RENDUS DE MANTEAU NEIGEUX DANS *WINTER IS THE WARMEST SEASON*
À GAUCHE, LA NEIGE SEULEMENT AVEC UN PLANE
À DROITE, LA NEIGE AVEC LE PLANE ET L'INTERPOLATION LINÉAIRE SUR LE PARQUET

Si l'intégration de la neige au sol via une texture d'interpolation linéaire est efficace, elle se révèle néanmoins inutile si de la simulation doit ensuite être effectuée. En effet, la neige étant issue d'une texture, l'effet qui en résulte et qui se révèle seulement au rendu ne peut pas être animée. Il est donc important de bien réfléchir à l'usage technique que l'on souhaite faire de sa neige avant de se lancer dans sa mise en place. Privilégier la modélisation ou l'utilisation de textures plutôt que des volumes ou des mesh générés via des FX pour de la simulation est de mise en raison de leur plus grande rapidité de création. C'est pourquoi, dans cette situation là, j'ai choisi de recouvrir le sol de la galerie de cette façon.

2. Création d'un flocon de neige



FIGURE 42 - RENDU FINAL DU FLOCON DANS *WINTER IS THE WARMEST SEASON*

Contrairement à tous les autres plans dont la charge de travail était partagée, j'étais seul sur celui où un flocon passe devant la camera (Figure 42). De peur de ne pas y arriver, il m'a fallu beaucoup de temps pour m'y plonger totalement et le finir. Pourtant, dès la première semaine la modélisation, le shading et l'animation du cristal avait été faits. Mes camarades et moi voulions un flocon de neige composé de quelques cristaux qu'on distinguerait facilement et non d'un amas de grain formant une boule difforme. C'est pourquoi, via l'algorithme de Reiter étudié précédemment et le tutoriel d'Entagma, j'ai modélisé plusieurs formes de cristaux différents, cassés pour certains et assemblés les uns avec les autres pour obtenir un flocon avec différents morceaux de cristaux accumulés sur un principal. En effet, j'avais souligné que le cristal créé via les algorithmes cellulaire sur Houdini, souffrait d'un manque d'épaisseur et de réalisme. C'est pourquoi, l'ajout d'autres cristaux agglomérés autour d'un plus important, suivait non seulement le processus de chute d'un cristal de neige dont nous avons déjà parlé, ainsi que la cohésion de friction qui fait que les cristaux peuvent s'agglomérer les uns aux autres

Par ailleurs, un cristal de neige étant composé d'eau et d'air, j'ai créé un shader de glace. Cependant, le rendu étant encore trop uniforme, j'ai disposé sur les pointes du cristal et de façon aléatoire de petits icosaèdres, via des méthodes de *scattering*. Avec un shader réfléchissant, ces petits éléments ont permis de donner au flocon non seulement des aspérités géométriques ou des micro cristaux givrés mais aussi une certaine variation de matériaux dans les zones de contacts et sur les dendrites qui pourrait reprendre l'effet de cohésion de frittage. (Figure 43).

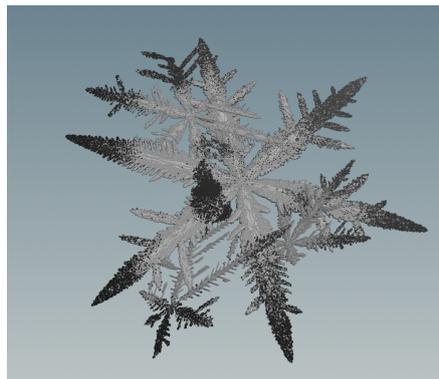


FIGURE 43 - MESH DU FLOCON DANS *WINTER IS THE WARMEST SEASON*

Concernant l'animation, j'ai utilisé Houdini et, soutenu par les connaissances de Justin, les simulations de rigidbody. Initialement, je comptais simuler la chute à partir de particules, mais il m'était impossible de récupérer des rotations pour faire tournoyer le flocon sur lui-même, ou alors, elles n'étaient pas assez contrôlables. De fait, les rotations ont été obtenues de façon procédurale avec un noise d'une large amplitude appliqué sur des matrices. La simulation a été faite sur 500 images afin d'obtenir un alambic suffisamment long dans lequel je pouvais choisir un déplacement à ma convenance. La difficulté de ce plan reposait dans le fait qu'il devait se créer au compositing. En effet pour avoir un contrôle le plus optimal, j'ai rendu séparément le flocon principal, ceux en avant plan et ceux en arrière plan, animés de façon différentes (système de particules ou animation à la main). Ainsi, je pouvais régler le defocus en temps réel au sein de Nuke et recomposer l'image à ma guise.

Grace à mon travail préparatoire du premier semestre sur l'esthétique de la neige en gros plan j'ai pu rapidement créer un flocon qui porte une certaine crédibilité et, d'après les retours que j'ai eu, à su convaincre. Cependant, j'aurais voulu tester d'y ajouter de toutes petites cuves afin de générer comme du fur au niveau des

zones de contacts entre les cristaux formant mon flocon, pour simuler une couche de givre toute en longueur, comme des bâtonnets. Cependant, la technique étant très lourde à l'export de l'alambic, j'ai du y renoncer, même si j'estimais le résultat plutôt intéressant. J'avais aussi ajouté un noise en bump sur la partie glacée du flocon, mais l'idée s'est révélée très mauvaise, car au lieu de donner des impressions d'irrégularité à sa surface, il provoqua un effet de flickage lors du rendu.

3. La difficulté du gros plan

Le dernier plan de WWS s'attache sur un visage recouvert de neige en plan serré. Or, il a été vu précédemment que le travail de la neige en gros plan pouvait s'avérer difficile d'autant plus que les techniques permettant d'y parvenir sont multiples. Dans un premier temps, j'ai choisi d'essayer MASH pour les méthodes de *scattering*. Or, sachant que sur une telle surface je ne pouvais disposer des cristaux de neige, j'ai donc privilégié d'instancier plutôt de petites courbes sur tout le visage (Figure 44). Cependant, très vite, la taille de surface à recouvrir et le nombre d'instances pose des limites à cette solution. J'ai donc essayé dans un second temps la méthode des *hair systems* avec Xgen. Ce dernier a pour principal inconvénient de fonctionner à une échelle précise. La configuration de notre scène Maya ayant été faite à une échelle beaucoup plus petite, il fallait que le mesh soit dix fois plus grand pour que les poils soient visibles. Pourtant, même en ayant corrigé ce problème d'échelle, la gestion des poils sur le visage pour les faire paraître comme de la neige était bien compliquée. De plus, en se remémorant le processus de création de ce *setup*, qui demandait de mettre les poils non pas sur le visage mais sur une surface intermédiaire déplacée, on se rend compte que la mise en place est très longue et laborieuse, pour un rendu qui ne

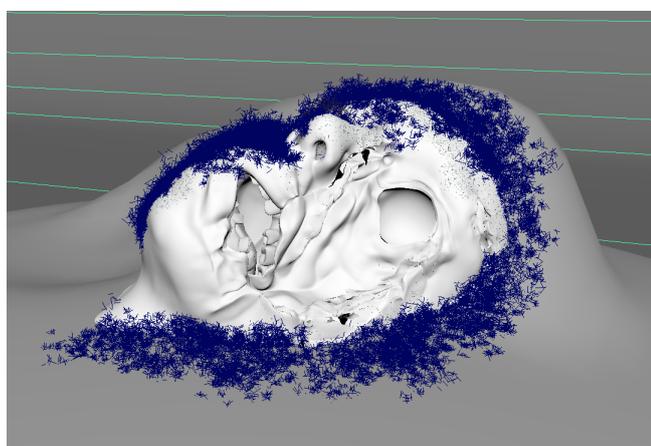


FIGURE 44 - SCATTERING DE CURVE AVEC MASH SUR UN VISAGE



FIGURE 45 - ESSAIS DE RENDU DE NEIGE AVEC LA MÉTHODE DES HAIR SYSTEMS

s'adapte pas forcément à ma situation (Figure 45). En effet, si pour une branche en gros plans, la génération de poils est intéressante pour faire de la neige c'est parce que la couche ainsi obtenue reste très fine. Ce n'est pas le cas sur tout un visage.

Je me suis donc tourné vers des méthodes plus simples pour créer la neige sur le visage, à savoir utiliser une texture en interpolation linéaire entre ce qui relève de la peau et ce qui sera de la neige (figure 46). Je me suis donc inspiré de ce que j'avais déjà fait pour le sol de la galerie en réduisant au maximum le déplacement du shader de neige afin d'avoir des reliefs le plus petit possible. On obtient ainsi comme une très fine couche poudreuse et givrée sur le visage qui a certain endroit donne même des plaques plus réfléchissantes, comme de la glace (Figure 47). L'avantage de cette technique est sa rapidité de réalisation car elle ne demande que de peindre en noir et blanc sur un mesh et d'appliquer la texture. En revanche, malgré un shader similaire, la différence entre la neige du visage et celle en mesh sur laquelle est posée la tête, reste visible. C'est donc au compositing que la séparation a été masquée par l'ajout d'une rotoscopie¹⁹ trackée (Figure 48).



FIGURE 46 - MASQUE DE TEXTURE ENTRE VISAGE (NOIR) ET NEIGE (BLANC)



FIGURE 47 - RENDU DE NEIGE EN GROS PLAN SUR *WINTER IS THE WARMEST SEASON*

Ainsi, les différentes expérimentations menées précédemment ont pu être mises en application dans le cadre du projet intensif de trois semaines. Avec une variété de plans et d'échelles, j'ai pu apprécier ou invalider certaines techniques tout en jouant sur un travail de shading pour permettre de donner à la neige une cohérence

¹⁹ Technique de compositing visant à encadrer une partie de l'image pour effectuer un changement dessus.

scientifique dans son type de composition et de rendu. Toutefois, il faut se rappeler que cette cohérence doit aussi répondre à des questions narratives pour que *Winter is The Warmest Season* soit un projet de recherche complet dans la résolution de la problématique sémantique et affective liée à la neige.



FIGURE 48 - RENDU BRUT PUIS APRÈS COMPOSITING DU VISAGE
EN HAUT, RENDU DU VISAGE SANS COMPO (ON DISTINGUE LA SÉPARATION ENTRE LE MESH ET
LA TEXTURE)
EN BAS, LE MÊME RENDU APRÈS COMPOSITING

B. La dimension symbolique

1. *La Neige au centre de la narration*

La variété des sujets de mémoire de mes camarades de projet devait pouvoir s'organiser autour d'un récit et d'une narration. Comment amener le dégoût étudié par Justin, dans une galerie classique où des éléments devaient pouvoir informer sur une diégèse. *Winter is The Warmest Season* est l'histoire d'un massacre perpétré contre une noblesse dans un Palais. Si Thomas Jordanidis, en questionnant le rôle des objets profilmiques²⁰ a su donner au spectateur la clef de ce qu'il s'était passé auparavant, il nous fallait aussi inviter la camera à aller vers le sujet du dégoût (ici la mort et ses cadavres) dans un environnement vide et silencieux. C'est donc la neige qui va porter la narration et guider le regard du spectateur vers ce qui sera le climax du film.

Elle fait son apparition à partir du deuxième plan, discrète dans le fond de la salle mais mise en valeur par sa blancheur éclatante sur le sol rougeoyant de la galerie. Sa présence est d'autant plus exacerbée qu'elle pose un problème d'ordre logique : de manière générale la neige se situe à l'extérieur et non à l'intérieur. Et même si l'on constate qu'une partie de la voute a été détruite, lui permettant d'entrer, elle est bien trop étalée et en trop grande quantité. Celle-ci a en effet été exagérée si bien que pour certains spectateurs, elle est non pas le fruit d'une précipitation mais d'une avalanche qui aurait été responsable de la destruction de la galerie. La camera va donc vers cette zone, attirée encore plus par les grains que l'ont voit tomber et briller depuis la plaie béante de la voute.

Dans ce plan, la neige représente une puissance en repos, la galerie a été détruite et la neige l'a envahie. Ainsi, lorsqu'on passe sur le gros plan d'un flocon tombant, le spectateur peut se sentir emmené dans un tout autre univers. Ce flocon vient comme une parenthèse enchantée, faire oublier l'état du château. Ici, j'ai voulu transmettre la fascination que je pouvais ressentir pour la neige, de la même manière que Bruegel ou ses contemporains Flamands ont voulu représenter dans leurs peintures d'hiver leur interprétation sous la forme de contes de la vie quotidienne. C'est pourquoi le temps semble s'y arrêter, sans qu'on ne soit réellement perdu car, par raccord

²⁰ Elements présents dans le champs de la camera.

mouvement, on sait que le regard se situe juste sous le trou de la voute. Le flocon en traversant l'image emmène le regarde du spectateur et l'invite à le suivre. C'est pourquoi, en venant ensuite se déposer sur un visage, il force la focalisation de l'attention et la rencontre entre sa blanche légèreté avec l'horreur d'un visage défiguré et rongé par les vers.

Ce cheminement narratif par la neige cherche donc à décupler différentes émotions en fonction des éléments présents dans la scène. D'abord l'incompréhension prédomine face à cette destruction dont l'origine est mise en doute par la neige. Ensuite, le flocon isole avec lui le spectateur dans un tête-à-tête poétique avant de le surprendre dans la violence visuelle et répulsive du plan qui suit, dont il a forcé la venue.

2. La sémantique et le rôle de la neige

A lui seul, ce dernier plan joue sur le rôle de la neige comme vecteur d'émotions. Sans rien à ses côtés, elle ne peut rien mais en s'hybridant avec d'autres éléments elle peut décupler le ressenti. Tel *Paysage d'Hiver* de Friedrich qui utilise la neige pour appuyer le malheur de l'homme priant pour sa guérison, la neige de *Winter is The Warmest Season* cherche à dramatiser d'avantage le chaos qui s'est abattu sur les habitants du château. Alors qu'elle n'est en rien responsable de la destruction de la galerie et de la mort de ses occupants, elle semble pourtant en porter une part. En effet, symbole de vide absolu pour les sens, la neige, ne l'oublions pas, est un élément privatif. C'est pourquoi, on peut la penser responsable de la solitude, la désolation et le carnage. Et finalement, même si elle est arrivée après dans le récit, la neige ajoute à la désolation du lieu en effaçant les derniers éléments heureux qui le composait. Les dorures, les lustres de cristal..., tout le faste semble avoir perdu sa splendeur scintillante face à la neige qui les ridiculise de par son imposante silhouette et sa blancheur éclatante. Au final, cette utilisation de la neige fait grand écho à celle de la désormais culte série, *Games of Throne* où la célèbre phase « *Winter is coming* », ne signifie pas tant qu'il va faire froid mais bien que la mort, portée par les Marcheurs Blancs est en route. Or, cet éternel hiver ne vient pas seulement tuer, mais bien effacer tout ce qui a été et c'est pour cette raison que le Roi de la Nuit veut tuer la Corneille à trois yeux, garant de la mémoire des Hommes. Dans *Winter is The Warmest Season* il semble de la

même manière que c'est une époque, un style de vie, celui de la noblesse et de la monarchie qui a été visée pour être annihilée.

Le jeu des oppositions est donc essentiel dans la sémantique de la neige, d'autant plus lorsqu'on fait appel à ses antagonistes avec qui elle pourra établir des relations symbiotiques. Ici, elles sont multiples. Déjà dans le titre, *Winter is the Warmest Season*, signifie « L'hiver est la saison la plus chaude ». Il joue sur l'opposition entre le froid de l'hiver avec sa supposée chaleur de la même manière qu'il renvoie au titre de la bande dessinée *Blue is The Warmest Color* où la couleur des cheveux d'un des personnages est exacerbée vis-à-vis de toutes les autres pour mieux signifier la fascination que l'héroïne a à son égard. Ici, l'hiver, via la neige se positionne comme l'élément central du récit. Si elle est qualifiée de « plus chaude saison » c'est parce qu'elle est, contrairement à ce que l'on voit à l'image, porteuse d'espoir. Selon certains retours, l'hiver aurait pu être à l'origine d'un soulèvement populaire contre la noblesse du Palais et donc, après s'être révolté, le peuple pourra instaurer un nouveau régime, démocratique et certainement plus juste. D'ailleurs n'oublions pas que la galerie est très similaire à celle de Versailles, symbole de la monarchie absolue. Ainsi, si l'hiver est la saison la plus chaude, ce serait pour l'émancipation des peuples ou la neige vient effacer une époque pour laisser germer une nouvelle.

Ensuite, l'intrusion de la neige dans l'intérieur vient faire naître l'incompréhension puis l'intérêt pour le spectateur. Dans les ors d'une galerie, un flocon tombant me semble bien plus rayonnant et riche que s'il avait été dehors. La neige met ainsi en valeur l'environnement dans lequel elle se trouve et semble magnifier la galerie par ce jeu d'opposition intérieur/extérieur.

La thématique du Tombeaux Fructueux développée précédemment est essentielle dans ce projet. Le manteau de neige fait en effet ascèse de la scène et de ce qu'il s'y est passé. Elle recouvre les cadavres et les traces de combats pour les effacer et joue son rôle de voile funèbre. Mais la vie déjà commence à repartir et c'est ce qui a marqué une majorité de spectateurs. Le fait que des vers puissent être présents dans la neige est a priori invraisemblable. Le froid aurait du les tuer. Mais en les intégrant, ils sont non seulement vecteur de dégoût mais aussi de vie à venir dans cet environnement de mort. Tel le matin printanier, c'est la vie discrète qui s'active avant qu'une renaissance beaucoup plus large puisse s'enclencher. Le contraste symbiotique entre la

Florentin LUCE

neige (et le froid) et les vers, décuple donc le dégoût mais met aussi en valeur le fait que la neige est une page blanche sur laquelle il est à nouveau possible d'écrire la vie.

Conclusion

Ainsi, ce mémoire a tenté d'expliquer l'impact de la neige sur la création artistique en images de synthèse et par quels moyens elle pouvait entrer en symbiose avec les éléments de composition pour faire sens. Dans un premier temps, si la neige fascine c'est par son caractère rare et éphémère. Elle s'invite dans nos vies et un rapide état historique de l'art nous a permis de montrer à quel point elle pouvait se montrer non seulement privative mais aussi riche de sens au point d'en perdre l'artiste poète qui manque de mots pour la décrire. La science s'est donc révélée essentielle pour combler ce manque, tout en apportant des explications pour mieux nous permettre ensuite son travail en images de synthèse. Les simulations et les techniques de rendus qui découlent des observations scientifiques ont montré ensuite la diversité de la neige dans l'industrie audiovisuelle et comment il est important de réfléchir à chaque solution pour choisir les outils les mieux adaptés à son rendu. Les *Hair Systems*, le *scattering*, le *microdisplacing*, sont autant de techniques intéressantes pour pouvoir donner à la neige en images virtuelles un aspect crédible. Enfin, il a été question de mettre en application l'ensemble de ces recherches au travers du projet intensif : *Winter is The Warmest Season*. A l'aide de concepts clefs comme l'appel des antagonistes, le Désert Intérieur et le Tombeaux Fructueux, il a ainsi été possible de donner à la neige sa propre sémantique et narration.

Autrement dit, la neige seule ne peut rien car en tant qu'absolu de vide, elle prive de tous ses sens celui qui voudrait la décrire, la peindre ou la louer. Il faut donc l'hybrider avec ce qui semble être ses opposés pour qu'elle puisse rayonner d'avantage et se comporter comme un vecteur d'émotion. Car si la neige est comme une page blanche c'est parce qu'elle peut mettre en valeur tout ce qu'il peut s'écrire dessus. Ainsi, elle reflétera avec plus de force encore le sujet de l'image ou bien en être le seul sujet pouvant signifier la réflexion ou le passage de la vie vers la mort. Ce mémoire s'était ouvert sur une image qui me fascinait à savoir la perle de sang tombant sur une neige blanche. Au terme des études faites, il nous est possible non seulement de la créer en images de synthèse mais aussi de comprendre pourquoi mon attachement y était aussi important. La neige révèle en effet toute la force de la couleur rouge et décuple les sens qu'elle peut porter. Tel un vecteur sémantique la neige nous donne

d'avantage à voir en mettant en opposition ce qui peut lui paraître antagoniste. « Rouge sang » et « Noir ébène » sont alors des métaphores que les frères Grimm ont valorisé par juxtaposition avec la « Blanche neige » pour ainsi rendre compte de la « *plus belle d'entre les belles* ».

Pour finir, ce travail concentré sur la neige m'a fait comprendre toutefois qu'il peut être plus intéressant de se tourner vers des sujets moins restrictifs et thématiques afin de pouvoir varier d'avantage les rendus durant sa phase de recherche et ne pas s'enfermer dans une seule esthétique. Ainsi, afin de ne pas faire de ce mémoire un mode d'emploi du rendu de neige, j'ai fait en sorte d'alterner les problématiques théoriques et proposer des solutions techniques à la création artistique. C'est pourquoi, il a été question de sémantique, d'affect et de postulats personnels autour de la mythologie « neige ».

Lexique

Cohésion de friction : imbrication des cristaux et particules reconnaissables entre eux, favorable à leur adhérence

Cohésion de feutrage : soudure de grains de neige entre eux suite à la condensation de la vapeur d'eau en présence des points de contacts. Elle donne à la neige son aspect cassable.

Displacement : technique visant à donner du relief à un objet 3D à partir d'une texture en niveaux de gris.

Global Illumination : éclairage de la scène 3D par les rayons indirects de lumière après leur rebond sur une surface.

Mesh : en français, maillage ; discrétisation d'un modèle 3D sous la forme d'une grille de polygones

Meshing : conversion de voxels ou de points en mesh (polyèdres).

Neige sèche : neige récente sans eau à l'état liquide

Neige humide : neige composée en partie d'eau à l'état liquide

Neige fraîche : neige récente tombée sans vent

Noyaux de congélation : particule naturelle ou artificielle autour de laquelle s'accumule de micro gouttes d'eau liquide nécessaires à la formation des cristaux

Sémantique : étude des sens des mots et du langage

Shading : ensemble des algorithmes permettant de rendre un objet virtuel selon différents paramètres.

Voxel : Pixel en 3D. Plus petite entité graphique d'un volume.

Voxelisation : conversion de points en voxels.

Bibliographie et sources

Bibliographie

- Alduán, Iván, et Miguel A. Otaduy. 2011. « SPH granular flow with friction and cohesion ». In ACM, 25–32. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2019406.2019410> (19 mars 2019).
- Battistini, Matilde, et Lucia Impelluso. 2012. *Le livre d'or des symboles*. Hazan.
- Bell, Nathan, Yizhou Yu, et Peter J. Mucha. 2005. « Particle-based simulation of granular materials ». In ACM, 77–86. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1073368.1073379> (19 mars 2019).
- Durand, Gilbert. 1996. *Champs de l'imaginaire*. ELLUG.
- Kaplan, Lawrence D. 2003. « Inuit Snow Terms: How Many and What Does It Mean ». Building Capacity in Arctic Societies: Dynamics and shifting perspectives. Proceedings from the 2nd IPSSAS Seminar. Iqaluit, Nunavut, Canada: 26 mai - 6 juin 2003: 7.
- Kapler, Alan. 2003. « Avalanche! Snowy FX for XXX ». In *ACM SIGGRAPH 2003 Sketches & Applications, SIGGRAPH '03*, New York, NY, USA: ACM, 1–1. <http://doi.acm.org/10.1145/965400.965492> (7 novembre 2018).
- Levin, Brett. 2016. « Creating PIPER: pixar's latest short film ». In ACM, 12. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2897839.2948073> (23 octobre 2018).
- Libbrecht, Kenneth. « La formation des cristaux de neige ». *Pourlascience.fr*. <https://www.pourlascience.fr/sd/physique/la-formation-des-cristaux-de-neige-1638.php> (30 octobre 2018).
- Lombard, Jean. 2001. *Peinture et société dans les Pays-Bas du XVIIème siècle: essai sur le discours de l'histoire de l'art*. Harmattan.
- Martin, Laura. 1986 « Eskimo Words for Snow: A case study in the genesis and decay of an anthropological example », *American Anthropologist*, 88 (2): 418-423.
- Metzger, Alexis, et Martine Tabeaud. 2010. « Les scènes hivernales dans la peinture du Siècle d'or hollandais ». *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, n° Volume 4 (janvier): 169–85. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.1312>.
- Miao, Yunbin, et Shuangjiu Xiao. 2015. « Particle-based ice freezing simulation ». In ACM, 17–22. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2817675.2817676> (25 octobre 2018).

- Néerlandais, Institut. 1967. *La vie en Hollande au XVIIe siècle: tableaux, dessins, estampes, argenterie, monnaies, médailles et autres témoignages; exposition 11 janvier - 20 mars 1967, Musée des Arts Décoratifs, Paris 1967.* Inst. Néerlandais.
- Pinault-Sorensen, Madeleine. 2009. « Petite encyclopédie de la neige en peinture ». *De Brueghel à Monet, une encyclopédie de la neige.* In . <http://www.perceptionclimat.net/seminaire.php?id=44> (4 Avril 2019).
- Pharr, Matt, et Greg Humphreys. 2010. *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation.* Morgan Kaufmann.
- Reiter, Clifford A. 2005. « A Local Cellular Model for Snow Crystal Growth ». *Chaos, Solitons & Fractals* 23(4): 1111–19.
- Siegel, Lewis N. 2014. « Frozen on ice: rendering frost and ice on Frozen ». In ACM, 8. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2614106.2614137> (23 octobre 2018).
- Stomakhin, Alexey et al. 2013. « A material point method for snow simulation ». *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 32(4): 102.
- Wang, Niniane, et Bretton Wade. 2004. « Rendering falling rain and snow ». In ACM, 14. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1186223.1186241> (25 octobre 2018).
- Zou, Chengming, Xiufeng Xie, et Guanghui Zhao. 2010. « Algorithm for generating snow based on GPU ». In ACM, 199–202. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1937728.1937775> (25 octobre 2018).
- Zuppiroli, Libero, Marie-Noëlle Bussac, et Christiane Grimm. 2012. *Traité des couleurs.* 2ème édition revue et augmentée. Lausanne: Presses polytechniques universitaires romandes.

Filmographie

- Barillaro, Alan. 2016. *Piper.*
- Buck, Chris et Jennifer Lee. 2012. *Frozen (La Reine des neiges).*
- Chabat, Alain. 2017. *Santa et Cie.*
- Cohen, Rob. 2002. *xXx.*
- Iñaritu G, Alejandro. 2014. *The Revenant.*
- Mosier, Scott et Yarrow Cheeney. 2017. *The Grinch (Le Grinch).*
- Ramsay, Peter. 2011. *Rise of the Guardians (Les Cinq légendes).*

Yuh, Jennifer et Alessandro Carloni. 2013. *Kung-fu Panda 3*.

Sitographie

- « Neige, flocons, cristaux de neige - Météo-France ». <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/la-neige-et-ses-transformations> (19 novembre 2018).
- « Nivologie - Connaissances de base - Anena ». <http://www.anena.org/5292-nivologie-connaissances-de-base.htm> (11 février 2019).

Mémoires et Thèses

- Kornacki, Mathieu. 2018. « Pratique des effets visuels : représentation de différents états de la glace en images de synthèse ». Université Paris 8 Vincennes - St Denis.
- Luçon, Ariane. 2017. « Le Rendu de la neige naturelle au cinéma ». ENS Louis Lumière.

Table des illustrations

Figure 1 - <i>L'Adoration des mages sous la neige</i> , Pierre Bruegel l'Ancien, 1561.....	17
Figure 2 - <i>Chasseurs dans la neige</i> , Pierre Bruegel l'Ancien, 1561.....	19
Figure 3 - <i>Scène d'Hiver</i> , Jacob Van Ruisdael, 1670.....	19
Figure 4 - <i>Paysage d'Hiver</i> , Caspar David Friedrich, 1811.....	20
Figure 5 - <i>La Pie</i> , Claude Monet, 1869.....	20
Figure 6 - <i>Les Meules, effet de gelée blanche</i> , Claude Monet, 1881.....	24
Figure 7 - <i>Les Patineurs à Longchamp</i> , Auguste Renoir, 1868.....	24
Figure 8 - <i>L'Hiver</i> de Jean Raon, Musée du Louvre.....	26
Figure 9 - <i>L'Hiver</i> de Pierre le Gros, Jardin des Tuileries.....	26
Figure 10 - Rose recouverte de givre.....	35
Figure 11 - Etoile de Neige.....	37
Figure 12 - Plaquette.....	37
Figure 13 - Aiguilles/Colonnes.....	37
Figure 14 - Coupe d'un manteau neigeux.....	39
Figure 15 - Réflexion et diffusion	42
Figure 16 - Méthode algorithmique du MPM chez Disney.....	52
Figure 17 - Différentes simulations de neige sur une pente grâce au MPM de Disney..	54
Figure 18 - Photogramme de l'avalanche du film xXx.....	55
Figure 19 -Gros plan de sable dans le film <i>Piper</i> de Pixar.....	57
Figure 20 - Processus de simulation de sable sur <i>Piper</i>	59
Figure 21 - Photogramme du <i>Grinch</i>	61
Figure 22 - Essais de rendu de neige à partir d'un volume sur Maya 2018.....	62
Figure 23 - Neige obtenue avec un aiStandard Surface sur Maya 2018.....	63
Figure 24 - Schéma simplifié du fonctionnement du SSS.....	64
Figure 25 - Proposition de Shader de neige sur Maya avec Arnold 5.2.....	65
Figure 26 - Processus de création d'un manteau neigeux sur une arbre dans Houdini.....	67

Figure 27 - Mesh obtenu à partir de 1 000 000 de points et des voxels de 0,25.....	67
Figure 28 - Mesh obtenu à partir de 10 000 000 de points et des voxels de 0,1.....	67
Figure 29 - Utilisation de Houdini pour un rendu Maya.....	68
Figure 30 - Schéma d'un flocon généré par un GPU selon le modèle des sphères concentriques de Zou, Chengming, Xiufeng Xie, et Guanghui Zhao	69
Figure 31 - Exemple représentatif de l'algorithme de Clifford A. Reiter.....	70
Figure 32 - Graphique de correspondance entre des flocons générés sur Houdini et ceux issus de l'algorithme de Reiter selon gamma et beta.....	71
Figure 33 - Rendu d'une surface recouverte de de cristaux de neige sur Arnold 5.2....	72
Figure 34 - Neige givrée en gros plan.....	72
Figure 35 - Neige en gros plan.....	73
Figure 36 - Breakdown du travail de Nika Maisuradze sur Blender.....	74
Figure 37 - Rendus de neige en <i>fur</i> sur maya 2018 avec xGen selon la densité et le length.....	75
Figure 38 - Rendu de neige en <i>fur</i> sur Maya 2018.....	75
Figure 39 - Rendu de neige en <i>fur</i> sur Blender.....	75
Figure 40 - Détail du dépôt de neige sur la route détruite dans <i>Winter is The Warmest Season</i>	87
Figure 41 - Rendus de manteau neigeux dans <i>Winter is The Warmest Season</i>	88
Figure 42 - Rendu final du flocon dans <i>Winter is The Warmest Season</i>	89
Figure 43 - Mesh du flocon dans <i>Winter is The Warmest Season</i>	90
Figure 44 - <i>Scattering</i> de curves avec MASH sur un visage	91
Figure 45 - Essais de rendu de neige avec la méthode des <i>hair systems</i>	91
Figure 46 - Masque de texture entre visage (en noir) et neige (blanc).....	92
Figure 47 - Rendu de neige en gros plan dans <i>Winter is The Warmest Season</i>	92
Figure 48 - Rendu brut puis après compositing du visage.....	93