

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE LOUIS-LUMIÈRE

La Cité du Cinéma – 20, rue Ampère BP 12 – 93213 La Plaine Saint-Denis

Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité Cinéma promotion 2017

Soutenance de Juin 2017

ARIANE LUÇON

LE RENDU DE LA NEIGE NATURELLE AU CINÉMA

*Ce mémoire est accompagné de la partie pratique intitulée : **NEIGE***

DIRECTRICE DE MÉMOIRE : SYLVIE CARCEDO

PRÉSIDENT DU JURY CINÉMA ET COORDINATEUR DES MÉMOIRES : DAVID FAROULT

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE LOUIS-LUMIÈRE

La Cité du Cinéma – 20, rue Ampère BP 12 – 93213 La Plaine Saint-Denis

Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité Cinéma promotion 2017

Soutenance de Juin 2017

ARIANE LUÇON

LE RENDU DE LA NEIGE NATURELLE AU CINÉMA

*Ce mémoire est accompagné de la partie pratique intitulée : **NEIGE***

DIRECTRICE DE MÉMOIRE : SYLVIE CARCEDO

PRÉSIDENT DU JURY CINÉMA ET COORDINATEUR DES MÉMOIRES : DAVID FAROULT

REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer toute ma reconnaissance à ma directrice, Sylvie Carcedo, pour son investissement, sa confiance et son soutien à toute épreuve.

Un grand merci à tous les opérateurs qui m'ont fait l'honneur de partager avec moi leur si précieuse expérience, de la neige et du reste : Sébastien Godefroy, Laurent Chalet, Evgenia Alexandrova, Sylvain Verdet, Jean-Marie Dreujou, Rémy Chevrin, Olivier Raffet.

Merci mille fois à Jean-Yves Le Poulain, Natasza Chrosicki et Natacha Vlatkovic de m'avoir fait confiance et permis d'avoir un matériel d'exception pour ma partie pratique.

Merci à Alexandra Pocquet, Matthieu Leclerc, Karim El Katari et Florine Bel, pour les conseils d'étalonnage.

Merci à toute l'équipe pédagogique de l'école pour l'ensemble de ma formation, et merci particulièrement à John Lvoff et Françoise Barranger, pour leur bonne humeur et leur enthousiasme dans les moments critiques. Je remercie chaleureusement Didier Nové et Laurent Stehlin pour leur soutien et leurs encouragements avant, pendant et après le tournage de ma PPM.

Pour les fous rires, les galères et l'expérience partagés au long de ces trois années, merci à toute la promotion cinéma 2017, les 16 bits.

Un immense merci à Quentin Bourdin, précieux binôme de la première à la dernière heure.

Merci à Suzanne Hervouët, Serena Porcher-Carli, Elise Guyonnet, Emilie Fretay, pour la décompression entre deux pages de rédaction au CDI.

Merci à Florent Fajole pour ses précieux conseils bibliographiques.

Je pense à mon grand frère et à mes parents, sans qui rien n'aurait été possible.

Enfin, une pensée toute particulière à Florent Denizot, pour le chemin parcouru, malgré tout.

Résumé

La neige est un élément fascinant et multiple, en perpétuelle mutation. Théâtre de subtiles métamorphoses, elle fige les paysages dans une trompeuse uniformité, sans cesse renouvelée. Par son rapport à la lumière, elle offre au regard des contrastes et des couleurs d'une grande variété.

Elle est pleine de paradoxes, et peut de même porter des sensations contraires. On la perçoit tantôt comme un élément hostile, tantôt comme un environnement chaleureux

Ces propriétés en font un sujet cinématographique original, riche mais difficile à appréhender, autant sémantiquement que techniquement. Réputée difficile à filmer, la neige est pourtant présente dans de nombreux films, portant souvent une dimension narrative propre.

L'enjeu de ce mémoire est de comprendre comment appréhender au mieux le processus de fabrication de l'image de neige afin d'obtenir un rendu à même de servir l'intention narrative d'un film.

Nous étudierons dans un premier temps la neige dans sa réalité physique, pour comprendre les contrastes et les couleurs qu'elle offre à la perception humaine. Cela permettra ensuite de mieux saisir l'appropriation cinématographique qui en a été faite, à travers des images et des expériences d'opérateurs. Forts de ces connaissances, nous pourrons enfin envisager le processus de création de l'image de neige, nécessitant la caractérisation de l'outil cinématographique.

MOTS-CLEFS : Neige, Cristaux, Perception, Sujet, Contrastes, Couleurs, Rendu d'image, Exposition.

ABSTRACT

Snow is a fascinating natural element, offering multiple aspects and undergoing perpetual mutations. Scene for multiple metamorphosis it freezes landscapes to a standstill in a delusive uniformity, in constant renewal. It also brings to view contrasts and colors of a great variety through a close link with lightness.

Snow has many poles apart and thus conveys opposite feelings. It is either considered as an unfriendly element or a warmhearted surrounding environment. Nevertheless it appears as a wide cinematographic subject to be studied, though it is hard but rich semantically or technically speaking .

Yet, despite snow is hard to capture on film, it appears in many movies and often conveys a meaningful dimension of its own.

The aim of this report is to understand the process of making images with snow subject so as to obtain a result which can serve the narrative intention.

In the first place we will study snow in its substantial reality, to understand contrasts and colors available to human perception.

It will then enable us to better comprehend cinematographic appropriation, through images and directors of photography experiments.

Using this knowledge we will consider the work of creating an image of snow , which depends on explaining cinematographic tool.

KEYWORDS :Snow ; Crystals ; Perception ; Subject ; Contrasts ; Colours ; Image ; Outcome ; effect ; Exposure.

Table des matières

Introduction.....	13
Partie 1 :	
La Neige comme phénomène Physique.....	17
I Formation et métamorphoses de la neige :.....	21
A Formation et diversité de la neige fraîche :.....	22
B Métamorphoses du manteau neigeux :.....	28
II Le sujet neige : caractéristiques visuelles et interaction avec la lumière incidente:.....	35
A Aspects de surface :.....	35
B Contrastes :.....	39
C Couleurs :.....	45
III Perception humaine :.....	49
A Composition de l'appareil visuel:.....	49
B Sensibilité au contraste :.....	52
C Vision des couleurs et sensation de blanc :.....	58
Partie 2 :	
Appropriation cinématographique : l'image de neige.....	63
I Les images de neige : couleurs, textures, compositions signifiantes :	67
A Rendu réaliste et précision du motif : The Revenant.....	68
B Neige terne et ironie narrative : Fargo :.....	72
C Neige onirique et colorée : rompre la monotonie arctique :.....	75
II L'opérateur face à la neige : retours d'expérience :.....	85

A Première étape : le choix du couple caméra/optique :.....	86
B Poser la neige : outils et stratégies d'exposition :.....	89
Partie 3 :	
Construire l'image de neige.....	97
I Maîtriser son outil : caractérisation du capteur numérique :.....	101
A étude de la courbe de réponse :.....	102
B La couleur :.....	112
C Traitements des informations et apparition de l'image :.....	116
II Application : filmer la neige, retour d'expérience de la partie pratique du mémoire :.....	119
A Préambule :.....	119
B Stratégie d'exposition :.....	121
C Essais de keylight, structurer la lumière d'un visage sur fond de neige	123
III Etalonner l'image de neige :.....	127
A Stratégie générale :.....	127
B Augmentation du contraste des hautes lumières :.....	129
C Gestion des couleurs :.....	132
Conclusion.....	137
Bibliographie	141
Filmographie.....	143
Tables des figures.....	145
Annexe.....	147

INTRODUCTION

« La neige, sous sa blancheur uniforme, sous sa trompeuse monotonie, recèle de lourdes équivoques, de subtiles métamorphoses ; que ce pur élément d'absence est riche de dramatiques symboles. [...] Il semble qu'il n'y ait rien dans cette matière, poudreuse, dure ou malléable, glissante et molle, sèche et humide, conservant toujours l'ultime ressource de se fuir dans l'eau, qui ne recèle de quelque façon l'équivoque de son contraire. Sous l'uniformité d'une couleur qui n'en est pas puisqu'elle les contient toutes en puissance, la neige réconcilie mystérieusement la vie et la mort »

Il neige sur le cinéma - André Bazin

Par une froide nuit d'hiver, l'enfant, éveillé par quelque instinct incompréhensible, se dirige à petits pas nus vers la fenêtre de sa chambre. Attiré presque malgré lui, il découvre, émerveillé, la cause de son insomnie : un délicat papillotement fait scintiller la lumière du réverbère, il neige.

La fascination pour la neige est une donnée universelle ; qu'elle suscite une joie profonde ou un dégoût violent, la neige ne laisse personne indifférent. Par sa nature même, qui associe l'eau solide, liquide et gazeuse, elle est porteuse d'une multitude de contraires. À la fois molle et dure, sèche et humide, blanche et colorée, lumineuse et terne, glacée et pourtant brûlante, la neige a cette propriété magique de rendre nouveau le familier. En lissant les formes, en abolissant les contrastes, en figeant l'atmosphère

dans une pureté aux sons étouffés, la neige change notre perception du monde.

Elle fait l'objet de représentations diverses, qui mettent en avant ses paradoxes, à l'image de Claude Monnet qui peint la blancheur éclatante de la neige uniquement avec des touches de couleurs vives. Le cinéma en fabrique ses propres images, jouant souvent sur la symbolique de sa blancheur, ou encore sur sa capacité à faire apparaître et disparaître les formes. Illusionniste par essence, le cinéma trouve dans la neige et son rapport à la lumière le reflet de son propre fonctionnement. En résulte une neige aux multiples visages, tantôt simple décor, tantôt élément sémantique à part entière, qu'elle soit réelle ou artificielle.

L'existence de l'expression « neige de cinéma » montre le rapport étroit qui lie ces deux éléments. Ici, c'est l'image qui est convoquée pour décrire une réalité physique, celle d'un beau manteau de neige fraîche par une journée ensoleillée. Au contraire, le processus filmique consiste à se saisir d'un sujet réel pour le transformer en une image à même de porter une intention narrative. La neige naturelle est considérée comme un sujet cinématographique délicat, porteur de contraintes fortes, autant logistiques que techniques. Si les difficultés purement pratiques n'ont pas d'influence directe sur la volonté de rendu qui sous-tend les stratégies de prise de vue, elles peuvent néanmoins limiter les moyens à la disposition de l'opérateur. L'ambition de cette recherche n'est pas de rendre compte de ces contraintes logistiques, mais bien d'analyser les enjeux techniques de la mise en image de la neige.

Comment appréhender le processus de fabrication de l'image de neige pour obtenir un rendu à même de servir les enjeux sémantiques d'un film ?

Pour tâcher de répondre à cette interrogation, nous chercherons d'abord à mieux connaître notre sujet. L'étude approfondie des processus qui régissent la formation et les métamorphoses de la neige, de sa chute jusqu'à la fonte du manteau neigeux, nous permettra d'appréhender la diversité de sa composition et ses propriétés en tant qu'objet. Cela permettra de comprendre son interaction avec la lumière, et de la définir comme un sujet à part entière, dans ses contrastes et ses couleurs. Ces différents aspects ne sont valables que pour l'appareil visuel qui les perçoit, il conviendra donc de comprendre le processus de vision qui fournit la référence de notre appréhension de la neige.

Nous tâcherons ensuite de déterminer les enjeux de sa mise en images, les intentions narratives qu'elle peut porter ainsi que les manières de se l'approprier cinématographiquement, à travers l'analyse de films donnant à la neige une place prépondérante dans le récit, et l'expérience de chefs opérateurs confrontés à ce sujet.

Enfin, l'analyse de l'outil cinématographique et la compréhension des distorsions qu'il peut produire par rapport à notre référence visuelle nous amènera à envisager des stratégies de prise de vue à même de nous apporter une meilleure maîtrise du rendu de l'image de neige.

PARTIE 1 :
LA NEIGE COMME PHÉNOMÈNE PHYSIQUE

Partie 1 :La Neige comme phénomène Physique

Lorsque l'on pense à la neige, on convoque souvent l'image féérique d'un manteau uniforme qui recouvre tout, adoucissant les aspérités, lissant les surfaces dans une blancheur éclatante et scintillante ; on parle même souvent de « neige de cinéma », forme de neige onirique dont on rêve à Noël et qui confère à cet élément une valeur quasi magique, propre à émerveiller petits et grands. Si l'on est un peu plus familier des paysages hivernaux, on s'aperçoit que la réalité est beaucoup plus riche que ces images d'Épinal. La neige est un élément d'une complexité rare que les experts peinent à connaître parfaitement, surtout dans le cadre de la nivologie, cette discipline qui consiste à étudier la neige dans le but principal de pouvoir mieux anticiper les risques qui y sont liés, et plus particulièrement celui des avalanches, à l'origine, chaque année, de graves accidents en montagne.

Dans le cadre de notre étude, il nous a semblé impératif, dans un premier temps, de faire un point sur les bases nivologiques actuelles, afin de mieux comprendre l'élément qui nous intéresse, avec ses différentes formes et transformations, et pouvoir appréhender au mieux les aspects qui s'offrent à notre regard, pour pouvoir ensuite envisager sa captation par un système de prise de vue numérique. Il nous paraît en effet primordial de définir dans un premier temps ce qu'est le sujet neige, c'est-à-dire l'objet lui-même et son interaction avec la lumière, ainsi que la perception que nous en avons, car c'est, de notre point de vue, le premier travail de l'opérateur que de connaître et maîtriser autant que faire se peut son sujet.

Partie 1 :La Neige comme phénomène Physique

I Formation et métamorphoses de la **neige :**

Le manteau neigeux que l'on peut observer tout au long de l'hiver dans les endroits où la neige persiste, et qui va nous intéresser ici car c'est celui que nous avons été amenés à filmer et également celui face auquel se trouvent principalement confrontés les opérateurs, est tout sauf un élément inerte et homogène. Il est en effet constitué de différentes couches déposées au cours de multiples épisodes neigeux, et est amené à se transformer sans cesse de sa formation jusqu'à sa fonte totale.

On distingue généralement deux grands types de neige constitutifs de ce manteau neigeux : la neige récente et la neige travaillée. Cette dernière est souvent qualifiée de « vieille neige », mais cette appellation est à nuancer, les transformations pouvant s'effectuer en un laps de temps très réduit selon les conditions.

Nous allons détailler dans un premier temps les différents aspects de la neige récente, avant de nous intéresser aux transformations qu'elle est amenée à subir jusqu'à la fonte. Nous nous appuierons pour ce faire sur les recherches de l'Anena¹ (Association Nationale pour l'Étude de la Neige et des Avalanches), qui nous ont semblé suffisamment claires et succinctes pour résumer le propos qui nous intéresse ici, le but n'étant pas de faire une étude exhaustive du phénomène neigeux mais plutôt d'en comprendre les aspects généraux afin de dégager les cas de figure les plus probables auxquels l'opérateur pourra être confronté.

¹ Association Nationale pour l'Étude de la Neige et des Avalanches, site consulté le 21 mars 2017 <http://www.anena.org/5938-nivologie-et-meteo.htm>

A FORMATION ET DIVERSITÉ DE LA NEIGE FRAÎCHE :

La formation de la neige est un phénomène météorologique complexe dont les subtilités ne seront pas détaillées ici ; nous nous attacherons à dégager les facteurs généraux qui conditionnent son apparition et déterminent la forme et la cohésion des grains (nous préférons ce terme à celui de « flocon », qui nous apparaît à la fois trop vague et trop réducteur, et ne peut s'appliquer que dans le cas d'une neige fraîche tombée sans vent). La neige se forme à partir de la vapeur d'eau présente dans un nuage dont la température est inférieure à 0 °C. Cette vapeur se condense en glace sur des impuretés présentes dans le nuage (poussières, particules végétales ou salines). Ces impuretés, appelées noyaux de congélation², forment une base pour les germes de glace qui se cristallisent dessus et grossissent en se nourrissant de la vapeur d'eau du nuage, formant des cristaux de neige fraîche qui croissent jusqu'à ce que leur poids les précipite au sol sous forme de chute de neige. C'est ainsi que l'on a vu qualifié de « neige de pollution » l'épisode neigeux survenu à la fin du mois de Janvier en région parisienne, où certaines zones très localisées (XX^{ème} arrondissement par exemple) ont pu subir d'assez conséquentes chutes d'une neige s'étant précipitée autour des particules fines de pollution présentes en grande quantité dans l'air, alors que les zones à proximité n'étaient pas impactées, leur air étant moins saturé en particules susceptibles de devenir des noyaux de congélation.

L'anecdote de cet épisode particulier, que personne n'avait vraiment prévu, rappelle la complexité du phénomène neigeux, qui peut surprendre même les spécialistes. Nous n'avons pu hélas en savoir plus concernant l'aspect de cette neige de pollution si particulière, nous ne nous avancerons

² Dossier Anena: "*Nivologie, connaissances de base*", consulté le 21 mars 2017
<http://www.anena.org/5292-nivologie-connaissances-de-base.htm>

donc pas sur une éventuelle différence entre ses cristaux et ceux composant une neige plus classique, si ce n'est pour dire que la simple observation à l'oeil nu ne permettait pas de les distinguer.

La fascination pour la compréhension de la neige et la forme de ses cristaux, dont on retient le plus souvent l'étoile à six branches symbolique, est bien antérieure aux travaux récents de la nivologie. C'est en 1611 que l'astronome allemand Johannes Kepler rédige son traité *L'étrenne ou la neige sexangulaire*³, dans lequel il tente de comprendre pourquoi les cristaux de neige ont une forme de fleur. Les principaux travaux sur la classification et la compréhension des mécanismes de formation des cristaux de neige sont réalisés par le physicien japonais Ukichiro Nakaya dans les années 1930⁴. Ces travaux consistent à faire croître des cristaux individuels dans des chambres expérimentales. Ses premières conclusions indiquent une influence principale de la température et de l'humidité de l'air dans la morphologie des cristaux de neige, mais le phénomène est d'une telle complexité que même aujourd'hui les scientifiques n'ont pas résolu entièrement le mystère de la cristallisation de la neige.

« La diversité des formes est si remarquable qu'elle donne presque raison au vieil adage selon lequel il n'existe pas deux cristaux de neige identiques. »

Nous ne nous étendrons donc pas ici sur les conclusions et hypothèses qui agitent actuellement le monde scientifique sur la question. Nous retiendrons simplement que, bien que les mécanismes de cristallisation de la neige soient relativement connus et compris, la forme des cristaux issus de la précipitation solide de la vapeur d'eau au sein d'un nuage pour former

3 LIBBRECHT Kenneth, « La formation des cristaux de neige », *Pour la Science*, Février 2007, n°352, p.34

4 Ibid., p.35

de la neige dépend de subtiles variations de température et de saturation en molécules d'eau, conférant à chaque cristal de neige, ayant son parcours propre au sein du nuage, une forme quasi unique. C'est pour cela que l'on ne peut connaître avec exactitude les qualités réfléchissantes des cristaux de neige, chacun étant pour ainsi dire à nul autre pareil. Néanmoins, on peut recenser quelques formes typiques des cristaux principaux que l'on trouve en majorité dans une précipitation neigeuse en fonction de la température et de l'hygrométrie au moment de la chute.

Les cristaux de neige peuvent être classés selon trois formes originelles, étoiles, plaquettes et aiguilles, la multiplicité du reste résultant d'une combinaison de ces formes au cours de la croissance du cristal. **L'étoile** est la forme à laquelle on pense le plus souvent lorsque l'on parle de « flocon », il s'agit d'une étoile à six branches, lesquelles peuvent elles-mêmes se subdiviser en une multitude d'autres branches, selon un principe de croissance hexagonale dû à la nature moléculaire de l'eau. Ces branches, appelées dendrites, sont à l'origine de la cohésion de feutrage qui permet à ce type de neige de tenir sur des pentes très raides ou sur les branches des arbres par exemple, par l'enchevêtrement des dendrites des différents cristaux. Cette cohésion est fragile et ne dure généralement pas, mais c'est à elle que l'on associe la belle neige poudreuse de notre imaginaire collectif.



Figure 1: Etoile de neige fraîche

Le deuxième type de cristal est **la plaquette**, qui se forme juste en dessous du point de congélation, soit autour de -2 °C , et s'apparente à une paillette hexagonale plate et régulière.

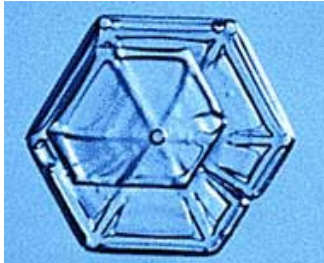


Figure 2: Cristal en plaquette

Si la température diminue autour de -5°C , on obtient des **cristaux en forme d'aiguilles** très fines ressemblant à des crayons. Ces deux types de cristaux, n'ayant pas les dendrites caractéristiques de la première, auront une cohésion moins forte. Tout comme les cristaux en colonne, obtenus à très faible température (-15 °C) donneront une neige « froide » qui coule entre les doigts. Ainsi, selon la nature même des cristaux qui la composent, la neige fraîche n'aura pas les mêmes propriétés physiques en termes de cohésion. Nous pouvons aisément imaginer que cette variété aura aussi une influence sur son aspect visuel, ce qui nous intéresse ici au plus haut point. (Nous reviendrons sur les propriétés de la neige dans son rapport à la lumière dans la partie 1.II.).

Il convient de noter que ces différents cristaux (étoiles, plaquettes) ont tous la propriété d'être transparents, contrairement à **la neige roulée ou grésil**, qui est une autre forme de précipitation neigeuse qui se forme autour du noyau de congélation, non plus à partir de la vapeur d'eau mais bien à partir des gouttelettes d'eau liquide présentes dans le nuage à température négative. Cette neige roulée, d'aspect boursoufflé tel une boule

de mimosa, outre son opacité, a pour particularité de n'avoir aucune cohésion et d'être peu sujette aux transformations lorsqu'elle est enfouie, ce qui en fait un parfait exemple de couche fragile à l'origine potentielle des avalanches.

Un autre type particulier de cristallisation est **le givre de surface**. Ce n'est pas de la neige à proprement parler car il n'est pas issu d'une précipitation mais "pousse" comme de l'herbe à la surface du manteau neigeux au cours de nuits froides et claires, par cristallisation de la vapeur d'eau sur la surface de neige plus froide que l'air ambiant. Cela donne de gros cristaux semblables à des feuilles et pouvant aller jusqu'à quelques centimètres de hauteur. Ce givre de surface n'a pas non plus de cohésion et subit peu de transformations une fois enfoui.

Ces deux cas particuliers sont évoqués ici pour leur aspect original, mais ils sont relativement rares dans la formation du manteau neigeux, et nous ne nous avancerons pas plus loin sur leur étude, préférant nous concentrer sur les cristaux de neige fraîche qui sont, eux, amenés à évoluer de manière importante au cours de leur existence.



Figure 3: Givre de surface

Une fois les cristaux formés, ils tombent au sol sous leur propre poids, et sont susceptibles de rencontrer au cours de leur chute différents éléments à même de transformer leur aspect et leurs propriétés physiques. Nous avons déjà évoqué les conditions au sein même du nuage qui peuvent varier, tant en hygrométrie qu'en température, entraînant la combinaison des différentes formes de cristallisation et donc la création de cristaux uniques. Le vent est également un facteur important de mutations ; les dendrites fragiles des cristaux en étoile se brisent facilement sous l'effet des bourrasques, transformant les cristaux en particules reconnaissables, ces cristaux dont on peut encore deviner la forme bien que leur structure symétrique hexagonale soit partiellement endommagée. Cette fragmentation entraîne une cohésion de feutrage de moindre importance du fait de la perte d'une partie des dendrites, et donne des grains d'une taille légèrement plus petite. Si le vent est très violent, cela peut aller jusqu'à une perte totale des dendrites, formant finalement des grains fins d'une taille inférieure à 0,1 mm⁵. C'est alors une autre forme de cohésion, dite de frittage, qui apparaît.

Un autre facteur de transformation au cours de la chute est évidemment la température. Si le cristal rencontre, en tombant, une masse d'air plus chaud, à température positive, il peut commencer à fondre partiellement et perdre ainsi ses propriétés initiales pour devenir de la neige humide dans laquelle se trouve de l'eau à l'état liquide.

Avec les seules conditions de cristallisation puis de chute, la neige peut revêtir des caractéristiques très variées. Prenons pour exemple sa masse volumique, c'est-à-dire sa masse par unité de volume que l'on peut

5 Dossier Anena, "*Métamorphoses de la neige*", consulté le 21 mars 2017, p.33
<http://www.anena.org/7158-les-metamorphoses-de-la-neige.htm>

assimiler ici à une forme de concentration des cristaux de neige. Celle-ci est très variable selon la qualité et les conditions de chute de la neige : une neige très froide tombée sans vent par $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ aura une masse volumique de l'ordre de 20 à 50 kg.m^{-3} , tandis qu'une précipitation neigeuse par un vent de 10 m.s^{-1} à -5°C aura une masse volumique comprise entre 150 et 200 kg.m^{-3} . De même, nous pourrions avoir jusqu'à 500 kg.m^{-3} pour de la neige humide gorgée d'eau⁶.

B MÉTAMORPHOSES DU MANTEAU NEIGEUX :

L'examen d'une coupe, réalisée dans un manteau neigeux, montre que celui-ci est constitué d'un empilement de strates de neige aux caractéristiques physiques et mécaniques différentes. Chacune de ces strates s'est constituée au cours d'un épisode neigeux particulier. Les conditions météorologiques du moment de la chute, ainsi que celles ayant régné ensuite lui confèrent des caractéristiques propres, et qui continueront d'évoluer jusqu'à la fonte finale. L'exposition topographique joue aussi un rôle important.

Les caractéristiques 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, métamorphoses qui vont conduire à la fonte par une évolution continue.

Détaillons les grains qui peuvent composer le manteau neigeux, avant d'en étudier les métamorphoses. Après les **cristaux de neige fraîche**, les premiers grains que l'on peut observer sont les **particules**

⁶ *Ibid.*, pp.34, 35, 38

reconnaissables, cristaux émoussés, aussi variés que les grains d'origine. On gardera surtout à l'esprit que ce sont des particules relativement allongées et peu épaisses. Viennent ensuite les **grains fins**, qui sont, comme le suggère leur nom, de très petite taille, soit moins de 0,5 mm, et de forme sphérique. Ils sont caractérisés par une légère opacité et une bonne cohésion, dite de frittage. C'est typiquement le genre de grains que l'on trouve dans les corniches et congères, donnant une couche compacte avec une masse volumique de l'ordre de 200 à 300 kg.m⁻³.

Le stade suivant est celui des **grains à faces planes**, qui sont plus gros, de l'ordre du millimètre, ils ont une forme plus anguleuse. Ce sont des cristaux transparents avec une cohésion quasi nulle, ils coulent entre les doigts comme du sucre. Leur masse volumique est légèrement supérieure à celle des grains fins (entre 250 et 350 kg.m⁻³).

Les **gobelets** sont un autre type de grains anguleux, mesurant plusieurs millimètres et reconnaissables à leur forme pyramidale aux faces striées. Ces grains sont particulièrement connus des nivologues car ils présentent la plus faible cohésion et sont souvent à l'origine des avalanches lorsqu'ils se trouvent enfouis sous des couches plus compactes.

Tous ces grains provenant de la neige travaillée sont issus des transformations de la neige sèche, que nous détaillerons plus loin, à la différence des **grains ronds**, dernière étape avant la fonte. Ce sont de gros grains lisses et sphériques pouvant mesurer jusqu'à plusieurs millimètres. Ils sont constitutifs de la neige humide, qui contient aussi de l'eau liquide. Ils se caractérisent par une masse volumique élevée pouvant dépasser les 500 kg.m⁻³. Leur cohésion est variable, et de deux types : si l'eau liquide est présente en petite quantité entre les grains, il y a un effet

7 *Ibid.*, p.34

de capillarité qui les maintient entre eux, donnant une couche assez solide, alors que si la quantité d'eau liquide augmente, leur cohésion diminue et l'on obtient la « soupe » classique de la neige de printemps. Ajoutons à cela que lorsque ce type de grains est soumis à des températures négatives, par exemple la nuit après une chaude journée, l'eau liquide présente gèle, formant une croûte de regel à la cohésion très importante, donnant une neige dure et souvent glissante.

Ainsi, avec la multiplicité de tous ces types de grains, aux formes et aspects variés, le manteau neigeux apparaît comme une combinaison d'éléments divers aux caractéristiques propres, en perpétuelle évolution. En effet, les grains ne cessent de se transformer sous l'effet de différentes actions mécaniques et thermodynamiques, que nous tâcherons de décrire brièvement ici.

Le vent est la première action mécanique à laquelle sont susceptibles d'être confrontés les cristaux. Il peut, selon sa vitesse, transformer la neige soit en particules reconnaissables, soit en grains fins. Ce vent peut agir au moment de la chute de neige, ou effectuer une « reprise » de la couche de neige récente (transport des grains à faible cohésion déjà déposés sur le manteau).

L'effet de rayon de courbure est une transformation spontanée de la neige, liée à la simple présence simultanée d'eau sous forme solide et gazeuse. Il agit donc dès la chute, et poursuit son action tant que la neige reste « sèche », c'est-à-dire lorsqu'elle n'est constituée que d'air et de glace. Sans rentrer dans les principes physiques complexes qui expliquent le phénomène, retenons qu'il entraîne un lissage des grains dont les surfaces convexes saillantes tendent à s'aplanir pour remplir les creux des

parties concaves. Concrètement cela arrondit les grains puis les soude en créant entre eux des ponts de glace : c'est la cohésion de frittage. L'effet de rayon de courbure est d'autant plus efficace que la température est proche de 0 °C, par très grand froid, la transformation sera plus lente. Plus les grains sont petits, plus il y a de points de contacts, plus la cohésion de frittage est grande, ce qui explique la bonne tenue des couches de grains fins, contrairement aux couches où les grains sont plus gros.

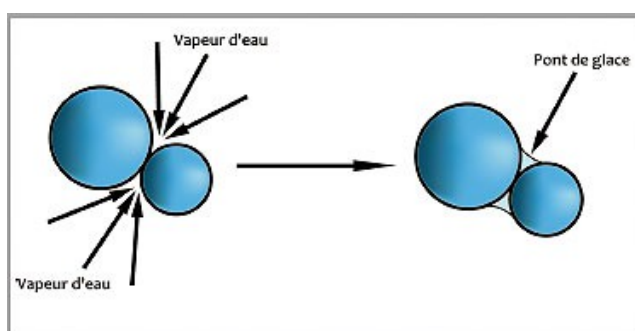


Figure 4: Schéma explicatif du phénomène de cohésion de frittage

Un autre mécanisme à l'oeuvre dans la transformation de la neige sèche est **le gradient de température**, qui tend à accroître la taille des grains et leurs angulations. Le gradient vertical de température caractérise la répartition de la température dans une couche de neige. Généralement, la base du manteau neigeux en contact avec le sol a une température proche de 0 °C, tandis que la neige de surface peut atteindre des valeurs très faibles (-20 °C, -30 °C). Le gradient désigne le rapport entre l'écart de température de deux niveaux et la distance verticale qui sépare ces deux niveaux. Il est lié à la qualité isolante de la neige, qualité déterminée par la quantité d'air qu'elle contient, c'est-à-dire par sa masse volumique. Ainsi, c'est généralement dans les couches récentes que l'on observera les plus forts gradients de température, tandis que les couches anciennes, plus denses, y seront moins sensibles. Si le gradient est significatif, chaque grain

est plus chaud que le grain du dessus, créant un déséquilibre de la saturation en vapeur d'eau autour des grains ; le grain inférieur se sublime en partie en vapeur d'eau, tandis que le grain supérieur condense cette vapeur par cristallisation hexagonale, créant ainsi des angles. Il y a transfert de masse de grain à grain.

La température joue un rôle sur l'efficacité de ces transformations : pour un même gradient de température, deux couches ayant une température moyenne différente n'évolueront pas de manière identique ; encore une fois plus on se rapproche de 0 °C, plus les métamorphoses sont rapides.

Les métamorphoses liées au rayon de courbure et celles liées au gradient sont antagonistes, l'une tendant à **arrondir les grains** tandis que l'autre **les rend anguleux**. Dans le cas d'une métamorphose de **faible gradient**, soit $G < 5 \text{ °C/m}$, c'est l'effet du rayon de courbure qui l'emporte, les cristaux de neige fraîche s'arrondissent lentement et finissent par se transformer en grains fins, entraînant une augmentation de la masse volumique de la couche et un tassement de celle-ci.

Dans le cas d'un **gradient moyen**, soit $5 \text{ °C/m} < G < 20 \text{ °C/m}$, les deux types de transformations entrent en jeu, ce qui entraîne l'apparition de grains plus gros avec des angulations, les grains à faces planes. Cette transformation peut s'effectuer directement à partir des cristaux de neige fraîche, sans passer par le stade des grains fins, entraînant alors un fort tassement de la couche qui voit sa masse volumique augmenter de manière conséquente. Néanmoins, si le gradient diminue, le processus reste réversible et les grains à faces planes, s'ils ne sont pas trop gros, peuvent se transformer en grains fins sous l'action du rayon de courbure.

Ce n'est pas le cas des métamorphoses de **fort gradient** ($G > 20$ °C/m), à l'origine de la formation des fameux gobelets, dont la forme est irréversible par métamorphose sèche.

La neige sèche continue d'évoluer lorsqu'elle est combinée à de l'eau liquide, soit par **fusion** lorsque le soleil la fait fondre, soit lorsqu'elle est arrosée par de **la pluie**. Lorsque les trois phases de l'eau, solide, liquide et gazeuse, sont présentes dans une couche, sa température d'équilibre est alors nécessairement de 0 °C. Les métamorphoses sont alors conditionnées par la **teneur en eau liquide** présente dans la neige. Ces métamorphoses de neige « humide » peuvent se réduire à un arrondissement et un grossissement des grains, d'autant plus rapide que l'eau liquide sera présente en quantité. On obtient une couche formée de **grains ronds** avec une forte densité, et dont la cohésion est inversement proportionnelle à sa teneur en eau.

La transformation en grains ronds est la dernière que puisse subir la neige, la seule métamorphose possible des gobelets ou de la neige roulée. Elle peut entraîner, à la suite d'un fort refroidissement, un **regel** de l'eau liquide qui formera une couche très dure et dense de **neige glacée**.

Ajoutons enfin que si la neige ne fond pas, en plus de subir potentiellement toutes ces métamorphoses, elle finit par se tasser sous son propre poids, formant une glace dont tout l'air est chassé. C'est cette glace bleue qui forme les glaciers en région de neiges éternelles.

Ainsi, selon les conditions hygrométriques et thermiques, selon l'épaisseur et la nature même des grains qui la composent, la neige va subir des transformations plus ou moins rapides et irréversibles, façonnant son aspect et ses propriétés physiques et mécaniques. Objet hautement

hétérogène et relativement imprévisible, le manteau neigeux offre des caractéristiques visuelles multiples en constante évolution.

II Le sujet neige : caractéristiques

visuelles et interaction avec la lumière

incidente:

Même si la neige est un élément hétérogène dont la composition absolue est difficile à connaître et les évolutions pratiquement impossibles à prévoir à coup sûr, elle possède cependant certaines caractéristiques constantes dans son rapport à la lumière. L'opérateur amené à la filmer sera donc confronté à un sujet aux multiples facettes, avec ses problématiques spécifiques en termes de contraste et de couleur.

A ASPECTS DE SURFACE :

Du fait de la nature même des cristaux qui la composent, la neige aura des aspects de surface différents, les divers types de grains n'ayant pas les mêmes propriétés physiques. Cela est directement visible lorsque l'on observe une coupe du manteau neigeux, dans laquelle on distingue généralement assez clairement les couches les unes par rapport aux autres.

Ainsi, et de manière assez schématique, une couche de neige fraîche constituée de particules reconnaissables et de cristaux encore entiers sera très **blanche et brillante**, et aura, du fait de sa faible masse volumique, l'aspect poudreux que l'on connaît bien. Les grains fins donneront également une couche bien blanche, voire à **tendance bleue** lorsqu'ils sont vraiment tassés, avec un aspect compact et homogène dû à la bonne cohésion de frittage qui lie les grains entre eux. Du fait de leur petite taille, on aura plus de mal à distinguer les grains les uns par rapport aux autres.

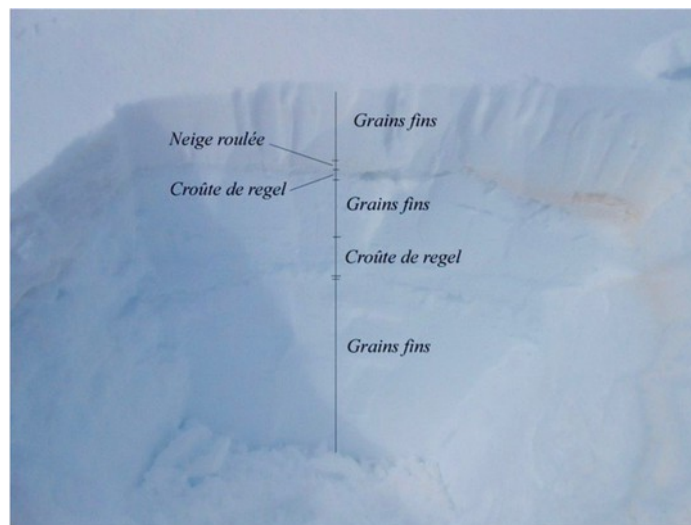


Figure 5: Coupe d'un manteau neigeux

Les grains à faces planes, plus gros et transparents, donneront une couche plus **terne et sombre**, avec une faible cohésion qui permet de distinguer facilement les particules qui la composent. Il en va de même pour les gobelets, encore plus gros, qui sont, de fait, mieux reconnaissables. Enfin, les grains ronds issus de la neige humide, outre leur taille imposante, auront pour caractéristiques un aspect **encore plus terne**, ou alors **très brillant** selon l'angle d'observation, lié à la présence d'eau liquide ou de glace⁸. Par conséquent la neige offerte au regard aura un aspect de surface dépendant des grains qui composent sa couche supérieure.

Le premier paysage enneigé auquel on pense est composé d'une belle couche de **neige fraîche**, qui recouvre tout et tient par cohésion de feutrage aux pentes les plus raides et aux branches des arbres. Les éléments sont uniformisés sous l'écrin blanc cotonneux de la neige. Pour peu qu'un rayon de soleil apparaisse, on distingue des **brillances** irisées de couleurs ; c'est la belle neige de notre imaginaire collectif, mais qui, nous

⁸ Dossier Anena, "Observation pratique du manteau neigeux", consulté le 21 mars 2017, p.5 <http://www.anena.org/5938-nivologie-et-meteo.htm#par57022>

l'avons vu, est en fait très éphémère, rapidement soumise à des métamorphoses multiples. C'est une neige qui pourra poser des problèmes de raccord lors des prises de vues, si l'on souhaite par exemple tourner plusieurs jours dans un même paysage. Effectivement, la cohésion de feutrage liée à la structure dendritique des cristaux dure rarement plus d'une dizaine d'heures⁹, les arbres vont donc rapidement se décharger de leur enveloppe immaculée.

Un deuxième cas de figure classique est celui de la **neige soufflée**, ou tombée par grand vent, qui donne un manteau neigeux où alternent des zones d'accumulation et des zones d'érosion, conférant au manteau neigeux un aspect ridé, ou formant des sortes de dunes de neige. Ces empreintes laissées par le vent sont orientées perpendiculairement au flux, et peuvent continuer à se creuser et se déplacer tant que le vent ne sera pas retombé ou que la neige n'aura pas acquis une cohésion suffisante, par exemple si le grand froid persiste. Nous sommes ici de nouveau en présence d'une surface mouvante et imprévisible, pouvant également occasionner des problèmes de raccord dans le cas d'un récit filmique. Notons tout de même que, si le manteau se stabilise, cela peut donner un relief intéressant à une étendue monotone.

Dans le cas d'un manteau constitué de **neige travaillée**, on peut observer également plusieurs configurations, et l'aspect de surface dépendra principalement de la topographie du terrain et de l'exposition de la neige par rapport au soleil. En effet, par temps clair, on observe une disparité entre la neige au soleil et celle à l'ombre. La première apparaît souvent plus terne car humide. Des brillances sont visibles lorsque l'on change notre angle d'observation ; si la pente est un peu raide, on pourra

⁹ Ibid. ,P.4

en outre observer des boules, parties spontanément à cause de la fonte. En revanche, le versant à l'ombre paraîtra plus bleuté, du fait, d'une part, de son exposition, et d'autre part, de sa composition comportant moins de grains ronds.

La neige travaillée est relativement stable ; dans le cas d'une étendue plate, exposée de manière plutôt homogène au soleil, on obtient un décor qui ne changera pas beaucoup au fil du temps. Ainsi, bien que cette neige soit moins blanche et parfaite que la neige fraîche, son état stable dans le temps peut être un bon atout pour l'opérateur. Elle peut de surcroît offrir des brillances intéressantes si l'on sait se positionner correctement.

Un autre cas de figure qui mérite d'être relevé est celui de **la neige humidifiée par une chute de pluie**, qui aura souvent un aspect rainuré, avec des coussins et des rigoles qui se forment à la surface du manteau neigeux sous l'effet de l'eau liquide.

Enfin, un dernier aspect de surface original et assez rare que l'on peut rencontrer au printemps est celui occasionné par la formation d'une **croûte de radiation**, soit une pellicule de glace très fine qui se forme par fusion partielle de la neige sous la surface, et donne au manteau neigeux un aspect très brillant, comme s'il était vitrifié. Ce phénomène apparaît dans des conditions particulières, souvent au printemps, par fort rayonnement solaire avec un air sec¹⁰.

¹⁰ LAMBERT Richard, *Lumières de Neige*, Editions Guérin, Chamonix, 2005, p.170



Figure 6: Neige vitrifiée

B CONTRASTES :

Ayant désormais relativement bien défini la neige comme objet, nous allons la penser dans son rapport à la lumière, afin de la comprendre en tant que sujet cinématographique, c'est-à-dire objet éclairé. Les luminances et les couleurs de ce sujet vont dépendre à la fois des caractéristiques de l'objet et de celles de la lumière incidente.

Rappelons tout d'abord quelques points essentiels de photométrie, cette discipline qui consiste à mesurer la lumière en rapport avec la réponse de l'oeil humain. Les principales grandeurs qui vont nous intéresser ici sont :

-le flux lumineux, exprimé en lumen (lm), qui désigne la quantité de lumière émise par une source dans toutes les directions ;

-l'éclairement, exprimé en lux, qui est le flux lumineux reçu par unité de surface d'un élément ;

-**la luminance**, en candela par m² (cd.m⁻²), qui désigne l'éclairement modulé par les caractéristiques d'un objet, et donc plus schématiquement la lumière renvoyée par cet objet ;

-**l'éclairement image** (lux), désignant l'éclairement produit par les luminances du sujet sur la surface photosensible (œil ou capteur dans notre cas) ;

- **la lumination** (lux.s⁻¹), qui est le produit de cet éclairement image par le temps de pose de la caméra¹¹.

Lorsqu'un objet est éclairé, il a plusieurs types d'interactions avec le flux incident : transmission, absorption, diffusion et réflexion.

La transmission désigne le rapport entre flux incident et flux transmis ; on parle de transmittance (T) comme caractéristique de l'objet, avec $0 < T < 1$. **La réflectance** de l'objet, notée R, désigne le rapport entre flux incident et flux réfléchi. Dans le cadre de notre étude, c'est cette grandeur qui va le plus nous intéresser, bien que la dimension diaphane que peut revêtir la neige soit aussi un élément à prendre en compte pour sa prise de vue.

On distingue trois types d'objet selon la manière dont ils réfléchissent la lumière :

un objet est dit **lambertien** lorsqu'il diffuse également dans toutes les directions la lumière incidente, *a contrario*, un objet sera qualifié de **spéculaire** s'il ne réfléchit la lumière que dans une unique direction (c'est par exemple le cas bien connu du miroir) ; enfin, un objet **mixte** réfléchira

¹¹ BELLAÏCHE Philippe, *Les Secrets de l'Image Vidéo*, 10^{ème} édition, Eyrolles, Paris, 2015, pp. 7-8

le flux incident majoritairement dans une direction, mais en diffusera également une partie.

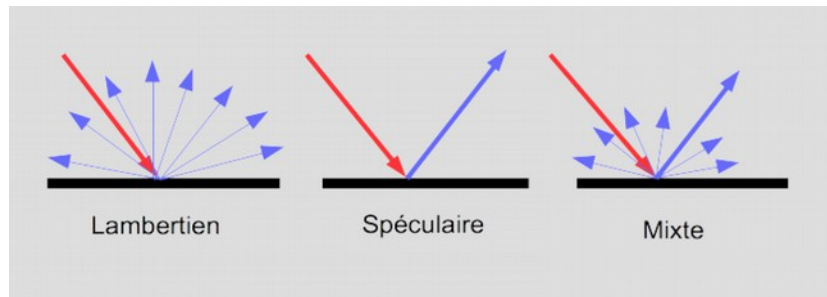


Figure 7: Les différents types d'objet

Dans le cas d'un objet lambertien, la luminance sera le produit de la réflectance et de l'éclairement, divisé par π , du fait de la diffusion homogène du flux : $L=RE/\pi$.

Pour un objet spéculaire, la formule de luminance est $L=RE$, le flux n'étant réfléchi que dans une direction unique.

Dans le cas d'un objet mixte, il n'y a pas de formule absolue, la luminance variant avec l'angle d'observation et selon le pourcentage du flux diffusé dans la direction principale.

La neige est un objet mixte, d'autant plus qu'elle est composée de cristaux qui sont eux-mêmes des objets mixtes.

La diversité de la neige est grande, et ses caractéristiques en tant qu'objet varient en fonction de sa composition : la réflectance, appelée aussi **albédo** chez les nivologues, ne sera pas la même pour une couche de neige fraîche que pour une couche de grains ronds. En règle générale, une couche de neige fraîche renvoie 90% à 95% de la lumière incidente¹². Les particules reconnaissables et les grains fins, du fait de leur petite taille, auront une réflectance semblable. Les grains à faces planes et les gobelets,

¹² "Nivologie, connaissances de base" op.cit.

plus gros, auront un albédo inférieur, de l'ordre de 80%, ce qui explique l'aspect plus terne des couches formées par ces cristaux. Enfin, la neige humide constituée de grains ronds aura un albédo encore plus bas, entre 50% et 70%. En revanche, la composante spéculaire de la lumière réfléchiée par une neige mouillée sera importante ; la neige de printemps aura un aspect particulièrement brillant lorsqu'on la regarde sous un certain angle.

Quelle que soit sa composition, la neige fait partie des matériaux naturels les plus réfléchissants, et c'est donc lors de journées ensoleillées avec un beau manteau de neige fraîche que l'on pourra mesurer les luminances les plus élevées à l'état naturel. La neige au soleil est en effet souvent citée à titre d'exemple pour les mesures extrêmes, de l'ordre de 10^4 ou 10^5 cd.m⁻². Les luminances plus fortes proviennent des sources de lumière en direct. Lors de ma partie pratique, aux environs de 14h et par grand soleil, j'ai moi-même pu mesurer des luminances autour de 20 000 cd.m⁻², à l'aide d'un spotmètre, outil privilégié de l'opérateur en lumière naturelle. Il s'agissait de neige travaillée, humide, sans doute composée de grains ronds ; des luminances encore plus grandes doivent pouvoir se mesurer avec de la neige fraîche.

Un sujet cinématographique est composé de plusieurs objets, différemment exposés à la lumière ; s'offre donc au regard une multitude de luminances, dont le rapport les unes aux autres est appelé **contraste**. Le contraste sujet est le rapport entre la luminance la plus élevée et la luminance la plus faible. Il peut être exprimé en EV (*exposure value*), selon une échelle logarithmique, où +1 EV équivaut à deux fois plus de lumière, ce qui correspond aux diaphragmes, ou F/stop, auxquels sont habitués les opérateurs. Statistiquement, un sujet standard, éclairé par une lumière naturelle, a un contraste moyen de 5 EV 1/3.

Les paysages enneigés sont considérés comme ayant un contraste beaucoup plus élevé. Ainsi, je pensais mesurer au cours de ma partie pratique des contrastes énormes, de l'ordre de 14 EV, d'autant que Laurent Chalet, directeur de la photographie sur *La marche de l'Empereur*¹³, m'a dit¹⁴ avoir observé des contrastes sujet jusqu'à 20 EV. J'ai donc été assez surprise de ne rien mesurer au-delà de 8 EV 1/3 en contraste, hormis le coucher de soleil qui est un cas à part entière, avec la source la plus lumineuse au monde dans le champ.

Cela s'explique assez facilement dans notre cas ; en effet j'ai filmé principalement des paysages ouverts, avec une grande étendue de neige, le plus souvent au soleil, qui agissait donc comme un immense réflecteur, rééclairant de manière conséquente les ombres (forêt de conifères, abris, etc...). Les très hauts contrastes évoqués plus hauts doivent donc pouvoir se trouver en présence de neige, mais pas aussi souvent que ce que l'on peut imaginer de prime abord. Il faudrait un environnement très particulier, avec des zones sombres suffisamment séparées de la neige pour ne pas subir la lumière qu'elle réfléchit.

Un autre type de contraste est à prendre en compte lorsque l'on pense au sujet cinématographique : **le contraste ponctuel**, qui exprime les écarts de luminances sur une petite partie du sujet. Il a un rapport direct avec la notion de détail, et c'est lui qu'il conviendra de bien restituer afin d'obtenir les informations voulues dans l'image. Dans le cas qui nous intéresse, les micro-contrastes ont une importance particulièrement cruciale pour nous donner à voir la texture de la neige. En effet, vue de loin, la

¹³ JACQUET, Luc, *La Marche de l'Empereur*, France, 2005, 1h20 (80 minutes), 16mm (gonflé en 35mm), Couleur, ratio 1.85:1

¹⁴ Entretien du 23 janvier 2017

neige peut apparaître vite comme un à-plat blanc plus ou moins lumineux, et il suffit d'un peu de brouillard pour que l'on perde le moindre repère. Or, elle est composée d'une infinité de grains, et la perception de cette texture hétérogène dépend de la perception des détails, et donc des contrastes minimes qui séparent les grains entre eux. Plus largement, ce sont ces infimes variations lumineuses qui offrent au regard les reliefs de la neige.

Ainsi, l'aspect visuel de la neige sera très dépendant de la qualité de la lumière incidente. J'ai pu observer au fil de mon expérience qu'une lumière rasante permet d'exacerber les détails de la neige. De même, lorsque le soleil est à son zénith, et bien que les ombres soient moins grandes, on continue à bien percevoir les micro-contrastes.

En revanche, par temps nuageux, la lumière, déjà diffusée par les nuages, l'est à nouveau par la neige. La composante spéculaire de la lumière renvoyée par la neige est beaucoup moins présente, et l'on a du mal à voir les détails, générant un à-plat blanc assez terne. Le cas le plus extrême est celui du brouillard, qui diffuse d'autant plus la lumière et rend les détails complètement invisibles ; c'est le classique « jour blanc » tant redouté des amateurs de montagne, qui entraîne une telle perte des repères que l'on peut littéralement s'égarer dans cet univers entièrement blanc.

Ainsi, avec la neige on a ce paradoxe de pouvoir être en présence de forts contrastes par temps ensoleillé, ou alors d'observer un sujet totalement blanc ou gris, ayant un contraste de 1 ou 2 EV par temps gris. L'opérateur peut donc être confronté aux extrêmes absolus d'un sujet très haut en contraste ou alors d'un sujet totalement plat et avec peu de détails.

C COULEURS :

« Sur un grand champ de neige tombe un léger brouillard. Avec lui les ombres disparaissent, le contraste diminue. Que le brouillard s'épaississe un peu et nous ne distinguons plus rien. Nous ne voyons plus, tout en étant immergés dans le bain de lumière que diffusent les cristaux de neige et les gouttelettes de brouillard, clarté dispersée dans toutes les directions et qui ne peut plus véhiculer d'images puisqu'elle a perdu ses rayons. Remarquons, dans cette scène de brouillard en montagne, que nous restons de toutes parts entourés d'eau. Or, à l'état solide (glace), comme à l'état liquide, l'eau est essentiellement un milieu transparent. D'où vient donc la diffusion, c'est-à-dire cette manière qu'ont la neige et le brouillard de répandre la lumière en tout sens jusqu'à détruire les images que celle-ci devrait transporter ? »¹⁵

À travers cette citation apparaît le paradoxe de l'élément transparent qui, par diffusion, donne la couleur blanche si caractéristique de la neige. Nous allons donc maintenant nous intéresser au processus qui donne ses couleurs à la neige, afin de mieux comprendre la subtilité des nuances de blanc qui peuvent s'offrir à nous.

Dans son *Traité des Couleurs*¹⁶, Libero Zuppiroli 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'organe visuel, et qui regroupent tous les phénomènes colorés ne pouvant se résumer dans les deux autres catégories.

¹⁵ ZUPPIROLI Libero, BUSSAC Marie-Noëlle – *Traité des couleurs*, presses polytechniques et universitaires romandes, 2011, p.57

¹⁶ *Ibid.*

Dans notre cas, la neige étant formée d'une multitude de cristaux transparents, les couleurs qui en résultent seront de nature physique. La couleur blanche viendrait de la composition même de la neige ; en effet, c'est la partition en cristaux qui explique la blancheur de la neige par rapport à une surface de glace lisse transparente ; les aspérités, la rugosité de notre élément diffusent la lumière en tout sens et sont donc à l'origine de sa couleur.

Pour rappel, la lumière blanche est un rayonnement électromagnétique dont les longueurs d'onde visibles vont approximativement de 380 nm pour le bleu à 750 nm pour le rouge. Dans le cas de la neige, toutes les longueurs d'onde sont également réfléchies, donnant donc du blanc ; il n'y a pas absorption d'une partie du spectre contrairement aux objets colorés. Le même phénomène de division en minuscules gouttelettes est à l'oeuvre dans la blancheur des œufs montés en neige.

Cette **diffusion** implique que la couleur est dictée par la qualité de la lumière incidente. Cela explique dans un premier temps l'opposition entre les ombres bleutées, qui diffusent plus les couleurs du ciel, et les couleurs légèrement chaudes de la neige au soleil, renvoyant directement les rayonnements solaires. Cela est particulièrement visible à l'aube ou au crépuscule, où la neige peut se colorer de toutes les nuances présentes au firmament. On assiste alors à de magnifiques embrasements des faces éclairées, qui se teintent de rose, orange, pourpre, tandis que les ombres basculent dans un bleu pastel délicat.

C'est ce même phénomène de diffusion qui est à l'origine de la couleur bleue du ciel, sauf que la taille des particules, ici les molécules de l'air, est bien inférieure à celle des cristaux de neige. Sans entrer dans les détails de

ce phénomène physique complexe, la petite taille de ces particules privilégie les faibles longueurs d'onde du spectre de la lumière blanche, et donc la couleur bleue¹⁷.

Ainsi, la taille des particules a un impact sur les couleurs diffusées, et cela pourrait expliquer la légère différence de couleur entre une couche de grains fins, d'assez petite taille et un peu bleutée, et une couche de grains ronds par exemple, beaucoup plus neutre.

Parfois, l'on peut également observer à la surface de la neige des brillances aux contours colorés. Cela est encore une fois lié à la taille des grains qui, suffisamment gros, entraînent, en plus de la diffusion, **une réfraction** de la lumière en surface. La réfraction de la lumière a lieu à l'interface eau-air ; elle est entre autres à l'origine des arcs-en-ciel et de la séparation du spectre de la lumière blanche par un prisme. Bien que moins remarquable sur la neige, ce phénomène est néanmoins présent et peut apporter de forts reflets colorés.

N'oublions pas également le caractère légèrement transparent de la neige, que l'on peut assimiler à un milieu trouble très dense. Si l'on observe le manteau neigeux dans sa profondeur, par exemple une corniche surplombante, une partie de la lumière incidente est **transmise** à travers la couche, ce qui peut lui donner une teinte luisante, orangée ou bleutée selon que la lumière diffusée sera plutôt froide ou chaude ; la couleur transmise étant complémentaire de la couleur diffusée.

Autre aspect particulier, dans le cas d'une chute de neige par fort vent, des particules diverses ou du sable peuvent se déposer en même temps que les cristaux. Ces poussières ont leur couleur propre, ici chimique selon

17 Ibid., p.59

la classification de Zuppiroli, et sont amenées à teinter la neige. Ainsi, j'ai moi-même pu observer, lors d'un séjour hivernal dans les Alpes du Sud, une couche de neige rose car saupoudrée de sable saharien. Ce n'est donc dans ce cas-là pas la neige même qui porte la couleur mais le fait qu'elle soit mêlée à d'autres éléments colorés. Notons également que dans cette situation spécifique, la réflectance est aussi impactée, les poussières étant beaucoup moins réfléchissantes que les cristaux de neige.

Ainsi, à l'image de la complexité de sa composition, la neige revêt des caractéristiques physiques variées qui offrent une multitude d'aspects au regard. En termes de couleur, au-delà de sa robe blanche classique, elle se pare également de nuances multiples, changeantes et relativement imprévisibles, dépendant directement de la lumière qui l'éclaire. Autant d'éléments qui en font sa richesse et sa complexité, offrant à l'opérateur un sujet extrêmement mouvant, et donc posant potentiellement des problèmes de raccords.

III Perception humaine :

Notre perception visuelle est la référence que l'on convoque lorsque l'on cherche à faire des images, que l'on choisisse de s'en éloigner ou au contraire de chercher un rendu le plus conforme possible à notre sensation. Comment voyons-nous la neige ? Comment l'oeil réagit-il aux fortes luminances, et jusqu'où peut-il discriminer les détails dans le cas d'un jour blanc ? D'où provient cette sensation de blanc que l'on a toujours face à la neige, malgré les nuances colorées évoquées plus haut ?

A COMPOSITION DE L'APPAREIL VISUEL :

Lorsque l'on évoque la vision, on pense immédiatement à l'oeil comme organe principal ; n'oublions pas le rôle essentiel du cerveau sans lequel aucune image ne peut se former. L'oeil est l'organe récepteur, qui réagit à la stimulation lumineuse, tandis que le cerveau est l'interprète qui analyse le signal fourni par l'oeil pour en fabriquer une image. Détaillons dans un premier temps la composition de l'oeil et son action.

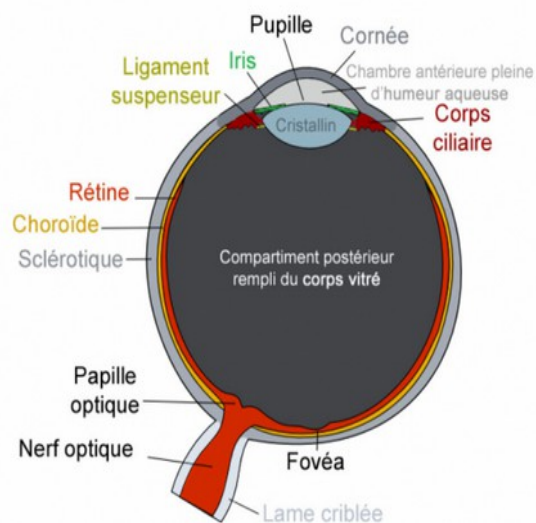


Figure 8: Schéma de l'Oeil Humain

Lorsqu'un rayon de lumière parvient à l'oeil, il traverse la cornée et une cavité remplie d'humeur aqueuse, avant d'atteindre la pupille, délimitée par l'iris, pour traverser ensuite le cristallin, le corps vitré et parvenir enfin jusqu'à la rétine, siège des photorécepteurs. Chacun de ces éléments a un rôle propre qui comporte des analogies avec le fonctionnement des appareils de prise de vue.

Ainsi, on peut assimiler premièrement l'ensemble pupille et iris à un diaphragme, qui gère la quantité de lumière entrant. La pupille est l'ouverture dessinée au centre de l'iris qui laisse passer la lumière ; elle peut varier d'un diamètre de 2 à 8 mm, soit un rapport de 1 pour 16 en surface, grâce à l'action des muscles de l'iris qui la rétractent ou la dilatent en fonction de la quantité de lumière présente, afin de garantir, par cette accommodation, la meilleure exposition possible de la rétine. Le cristallin a pour rôle de focaliser les rayons lumineux pour assurer la mise au point de l'image ; il peut être assimilé à une lentille biconvexe dont la vergence varie du fait de l'action des tendons qui maintiennent le cristallin et peuvent le bomber plus ou moins. Ces deux étapes permettent de former une image nette et exposée au mieux sur la rétine, assimilable à une pellicule ou un capteur ; c'est notre surface photosensible.

La rétine est une membrane très fine qui tapisse le fond de l'oeil sur quasiment toute sa surface (environ 150°) ; elle est composée de plusieurs couches de cellules aux propriétés particulières que nous détaillerons plus loin. C'est un élément hétérogène dont l'épaisseur varie entre 0,1 et 0,5 mm selon les lieux. Elle abrite entre 120 et 140 millions de photorécepteurs, répartis de manière non homogène sur toute sa surface.

Au centre de la rétine, directement dans l'axe optique de l'oeil, se trouve la fovéa, une zone remarquable correspondant à environ 5° d'angle de champ où se concentre le plus grand nombre de photorécepteurs. C'est ici que l'acuité visuelle est la meilleure et c'est donc là que la mise au point est faite. On considère la zone maculaire, qui s'élargit autour de la fovéa sur un angle d'environ 15°, comme le centre général de la vision, tandis que le reste de la rétine assure notre vision périphérique, moins précise que celle de la zone centrale.

La rétine abrite deux grands types de photorécepteurs, les cônes, responsables de la vision diurne, et les bâtonnets, utilisés dans la vision nocturne. Leur répartition spatiale sur la rétine n'est pas du tout homogène, on a entre 110 et 130 millions de bâtonnets pour 7 millions de cônes. Les cônes sont essentiellement présents dans la partie centrale de la rétine, et ils recouvrent exclusivement la fovéa ; les bâtonnets n'apparaissent qu'à 0,5 mm de la fovéola, point central de la fovéa, et sont majoritaires sur tout le reste de la rétine.

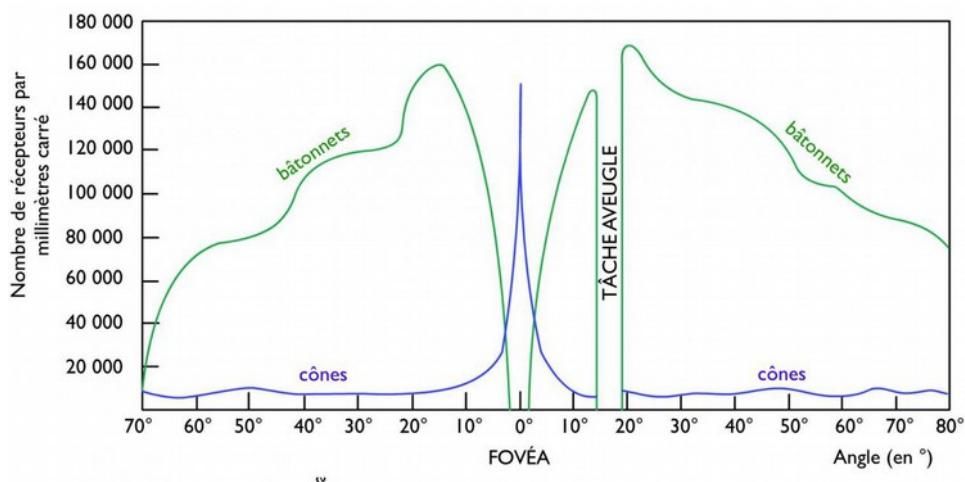


Figure 9: Schéma de répartition des photorécepteurs rétiniens

Une dernière zone remarquable est la papille, communément appelée « tâche aveugle », qui désigne un lieu où aucun photorécepteur n'est présent et où se rejoignent toutes les fibres nerveuses de la rétine pour former le nerf optique qui va convoier les informations des photorécepteurs jusqu'au cerveau.

Plusieurs zones du cerveau jouent un rôle dans la vision ; les nerfs optiques issus des deux yeux se rejoignent au niveau du chiasma optique, puis l'information est relayée vers le corps genouillé latéral avant d'atteindre le cortex visuel primaire, où le traitement de l'information, entamé dès la sortie des photorécepteurs, va se poursuivre jusqu'à parvenir finalement dans des cortex associatifs qui font advenir les contrastes et les couleurs à notre conscience. Si cette dernière partie n'est pas en état de marche, et bien que tout le reste de la chaîne fonctionne parfaitement, les images seront incomplètes ou inexistantes. Ainsi, l'appareil récepteur qu'est l'oeil ne suffit pas à la formation des images, il est indissociable des traitements effectués ensuite par le cerveau, tout comme un capteur ou une pellicule seuls ne portent pas les images mais nécessitent un traitement, électronique ou chimique, pour interpréter et faire advenir les images du monde qui nous entoure.

B SENSIBILITÉ AU CONTRASTE :

Le processus de vision commence par la réception, par une cellule photosensible, d'un ou plusieurs photons, qui va entraîner une interaction lumière/matière à l'origine de l'émission d'un signal électrique analysé et transmis au cerveau via le réseau nerveux.

Nous l'avons vu, il existe deux grandes familles de photorécepteurs, les cônes et les bâtonnets ; ils ne sont pas distribués de la même manière sur la rétine et n'ont pas une réponse semblable aux stimuli lumineux. Ainsi, les cônes vont réagir à partir de luminances comprises entre 1 cd.m^{-2} et 10 cd.m^{-2} , tandis que les bâtonnets peuvent avoir une réponse à partir de $10^{-6} \text{ cd.m}^{-2}$. Ces deux seuils de réponse induisent trois types de vision :

- **la vision photopique**, pour laquelle seuls les cônes modulent l'information lumineuse, les bâtonnets ayant une réponse saturée, et qui correspond à des luminances supérieures à 10 cd.m^{-2} ;

- **la vision mésopique**, qui est un intermédiaire où cônes et bâtonnets répondent, pour des luminances comprises entre $10^{-3} \text{ cd.m}^{-2}$ et 10 cd.m^{-2} ;

- **la vision scotopique**, où seuls les bâtonnets répondent, pour des luminances inférieures à $10^{-3} \text{ cd.m}^{-2}$, et qui nécessite un temps d'adaptation de presque une heure.

Dans notre cas, seule la vision photopique nous intéresse car elle correspond aux luminances de notre sujet.

La perception du monde qui nous entoure et de sa composition passe en premier lieu par la discrimination des contrastes de luminance, avant les contrastes colorés. Quels sont les plus petits détails que l'oeil peut percevoir ? Sans rentrer dans des considérations trop précises pour notre sujet, notons que cela dépend à la fois de la taille de l'objet mais également du contraste de luminance qui existe entre cet objet et le fond. Ainsi, pour déterminer une courbe de sensibilité au contraste qui prend en compte ces deux paramètres, on soumet à l'observation des réseaux achromatiques avec en abscisse une augmentation de fréquence et en ordonnée une

baisse du contraste. On trace une courbe correspondant à la limite de détection du motif, ce qui donne généralement une courbe en forme de cloche.

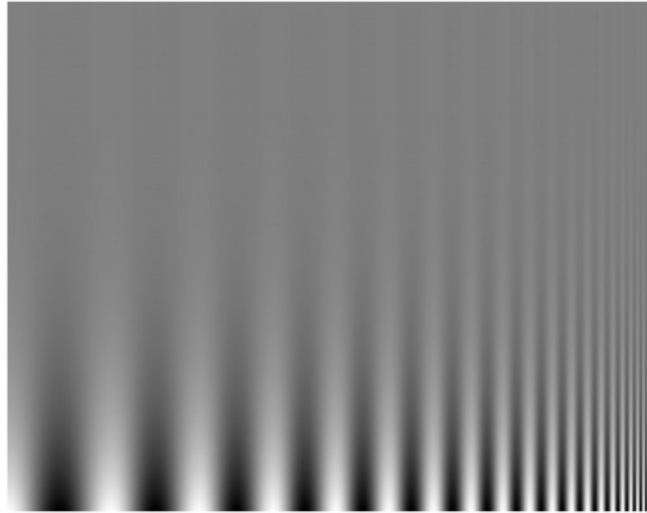


Figure 10: Réseau de détermination de sensibilité au contraste. En abscisse la fréquence spatiale augmente, en ordonnée le contraste diminue

Pour notre sujet, on retiendra du résultat de ces tests que le système visuel n'a pas une réponse linéaire en fonction de la luminance moyenne à laquelle est exposé le réseau¹⁸.(Barten) Ainsi, l'acuité visuelle sera maximale dans le cas d'une vision photopique, et diminuera grandement à mesure que la luminosité diminue ; en scotopique, les performances de l'oeil sont bien moindres.

¹⁸ BARTEN Peter G. J., *Contrast Sensitivity of the Human Eye and Its Effects on Image Quality*, SPIE Optical Engineering Press, 1999, p. 20

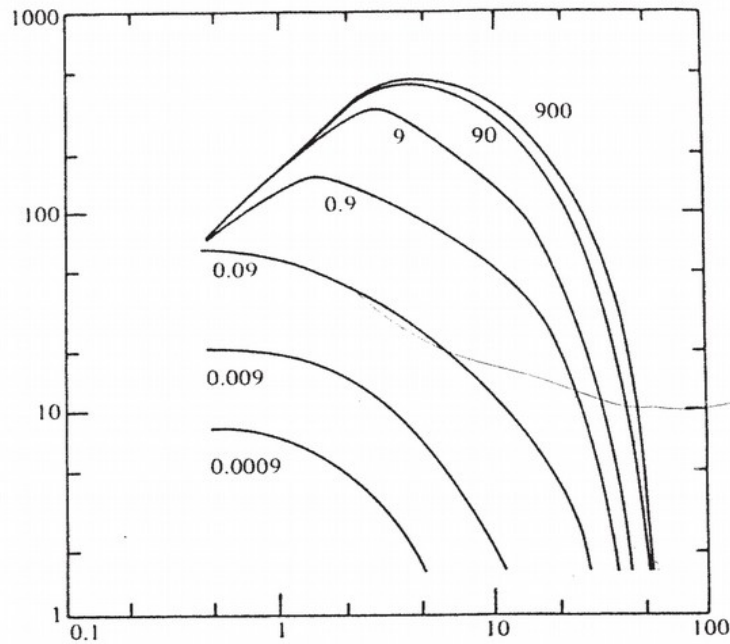


Figure 11: Courbes de sensibilité au contraste pour différents éclairagements rétiniens, en Td de 0,0009 à 900 en fonction de la fréquence spatiale (abscisse en cycles/deg et ordonnée 1/contraste minimum perceptible)

L'éclairement rétinien, qui est le produit de la luminance du sujet par la surface pupillaire (en mm^2), est exprimé en troland (Td). Il apparaît déterminant pour la sensibilité au contraste, et l'on voit qu'à forte exposition, l'oeil est beaucoup plus discriminant en termes d'acuité visuelle. Néanmoins, si l'on considère notre neige à des luminances de l'ordre de 10 000 cd.m^{-2} , et que l'on calcule l'éclairement rétinien en supposant la pupille réduite à son minimum, soit un diamètre de 2 mm, on obtient un éclairement rétinien de l'ordre de 30 000 Td, ce qui est bien supérieur aux courbes exprimées ici. On peut d'ailleurs difficilement soutenir une telle exposition, et nous plissons les yeux afin de les protéger de l'éblouissement ; l'on peut donc considérer ce calcul comme approximatif, ne tenant pas compte de ce réflexe de sauvegarde de notre œil. Nous retiendrons seulement que l'éclairement rétinien est au-delà de 900 Td. Or, on voit qu'entre 90 et 900 Td, la différence est très ténue et l'on peut donc

supposer que pour des éclaircissements supérieurs, il n'y aura de même pas de différence significative, voire même que l'effet d'éblouissement limitera notre acuité visuelle. Il aurait fallu pour s'en convaincre soumettre des sujets tests à ces mêmes contraintes, néanmoins le temps a manqué à cette recherche pour conduire de telles expérimentations.

Nous nous fierons donc à notre intuition et notre expérience personnelle pour supposer que, lorsque nous regardons la neige, les luminances sont telles que notre œil est performant en termes d'acuité et de sensibilité au contraste. Néanmoins, nous voyons également que la discrimination des éléments dépend à la fois de leur taille (fréquence spatiale) et de leur contraste ; plus le contraste est faible et la taille de l'objet petite, plus on aura du mal à le distinguer. Or, c'est précisément à ce genre de sujet qu'est confronté l'observateur de la neige si l'on pense aux cristaux qui la composent, et il est donc heureux qu'un tel sujet soit clair sinon nous ne pourrions en saisir les nuances. Ajoutons à cela que la distance d'observation joue un rôle important dans la perception des détails, et l'on comprend ainsi que la neige ne sera pas perçue de la même façon selon qu'on la regarde de près ou de loin.

Enfin, notons l'importance du traitement cérébral dans la perception du contraste. En effet, nous avons souligné le rôle des photorécepteurs, mais ce ne sont pas les seuls acteurs de l'acuité visuelle. Outre la couche de photorécepteurs, la rétine est composée d'un ensemble complexe de cellules, bipolaires, amacrines, horizontales et ganglionnaires, dont l'enchevêtrement et les ramifications constituent la première étape du traitement du signal visuel.

À la sortie des photorécepteurs, le signal est transmis aux cellules ganglionnaires, via les cellules bipolaires. Néanmoins, les cellules horizontales effectuent des liaisons entre les signaux des photorécepteurs avant de les transmettre aux couches suivantes, ce qui signifie plus simplement qu'une cellule ganglionnaire va traiter un signal issu de plusieurs photorécepteurs. Il n'y a donc pas analyse point par point, mais des regroupements et des comparaisons. Les « paquets » de photorécepteurs gérés par chaque cellule ganglionnaire sont d'autant plus grands que l'on s'éloigne du centre de la rétine. Ces ramifications dessinent des champs récepteurs qui fonctionnent par contraste, selon un processus d'excitation et d'inhibition dont l'effet est comparable à une augmentation de contraste. On distingue deux types de champs récepteurs, ceux à centre ON, avec une réponse exacerbée lorsque la stimulation est centrale, et ceux à centre OFF, avec une réponse inverse, soit exacerbée lorsque la stimulation est périphérique.

Retenons simplement que ces champs récepteurs augmentent les différences pour des zones contrastées, mais sont peu réactifs aux à-plats lumineux. Pour une plus grande finesse d'analyse, il y a recouvrement des champs récepteurs, ce qui implique qu'un même photorécepteur peut distribuer son information à plusieurs cellules ganglionnaires. Bien d'autres éléments entrent dans le fonctionnement de la vision et expliquent certaines illusions ou aberrations que l'on peut observer dans la perception du contraste, toutefois, le tableau que nous venons de dresser nous semble suffisant pour la compréhension du sujet.

En termes de quantité de lumière, nous avons évoqué une échelle logarithmique en EV dans la mesure des contrastes ; celle-ci correspond à notre perception, en effet l'oeil n'a pas une réponse linéaire, et interprètera

comme égale la différence entre des éclairagements de 10 cd.m^{-2} et de 20 cd.m^{-2} , et la différence entre des éclairagements de 1000 cd.m^{-2} et de 2000 cd.m^{-2} . Ainsi, l'échelle des diaphragmes correspond à un doublement de la quantité de lumière, ce qui implique que pour les luminances élevées de la neige, il faudra de grandes différences pour générer la sensation de contraste ; un apport de 10 cd.m^{-2} n'aura pas le même impact si l'éclairage de base est de 10 cd.m^{-2} ou s'il est de 100 cd.m^{-2} .

C VISION DES COULEURS ET SENSATION DE BLANC :

Outre les contrastes lumineux, le système visuel humain est capable de discriminer les couleurs. Nous avons déjà indiqué les deux grands types de photorécepteurs, cônes et bâtonnets, qui tapissent le fond de la rétine. Précisons que les cônes sont divisés en trois catégories, avec chacune un pic de sensibilité pour une longueur d'onde donnée du spectre visible. Ainsi, les cônes S, pour short wavelength, ont une sensibilité maximale autour de 450 nm , ce qui correspond à du bleu ; les cônes M, medium wavelength, ont leur pic vers 530 nm , correspondant à du vert ; enfin les cônes L, long wavelength, ont un pic à seulement 30 nm des précédents, soit aux environs de 560 nm , correspondant à du jaune.

Ces cônes se trouvent dans la rétine dans une répartition non homogène, selon le rapport suivant : à 1 cône S correspondent 20 cônes M et 40 cônes L¹⁹. De cette répartition, on peut déduire la courbe d'efficacité de l'oeil humain $V(\lambda)$, qui voit son maximum de sensibilité à 555 nm , ce qui correspond à un vert-jaune et explique que ce soient ces couleurs qui nous apparaissent les plus lumineuses. Les bâtonnets, quant à eux, ne sont que d'une sorte, avec un maximum de sensibilité autour de 500 nm . Il n'y a pas

19 ZUPPIROLI Libero, op. Cit., p 179

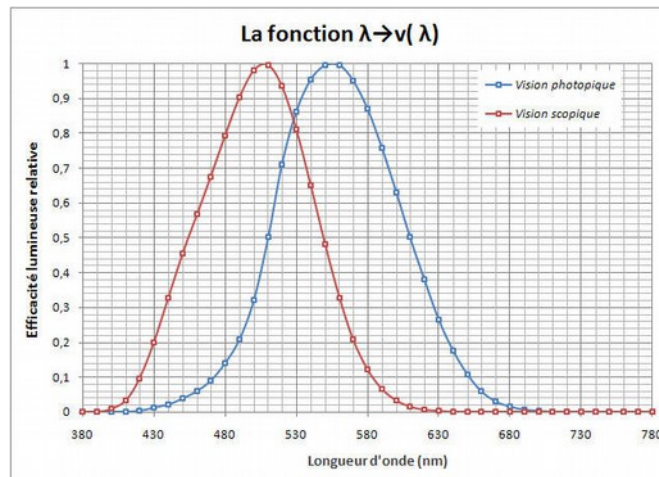


Figure 12: Courbe d'efficacité visuelle relative humaine

de trivariance chromatique, c'est pourquoi en vision scotopique, on ne perçoit plus les couleurs et la courbe d'efficacité est différente, plus sensible vers 500 nm, ce qui correspond approximativement au cyan.

Au-delà de leur pic de sensibilité, les trois types de cônes recouvrent chacun une large bande spectrale, de l'ordre de 100 nm, ce qui induit des redondances et permet de couvrir l'ensemble du spectre visible, condition d'une bonne analyse des couleurs. Cette analyse trichromatique des signaux lumineux colorés est un premier mécanisme de perception des couleurs. La sensation de blanc serait donc ici induite par une excitation équivalente des trois types de cônes, issue d'une lumière parfaitement neutre physiquement. Or, la situation n'est pas aussi simple, ce qui est vrai pour l'oeil ne l'est pas forcément physiquement.

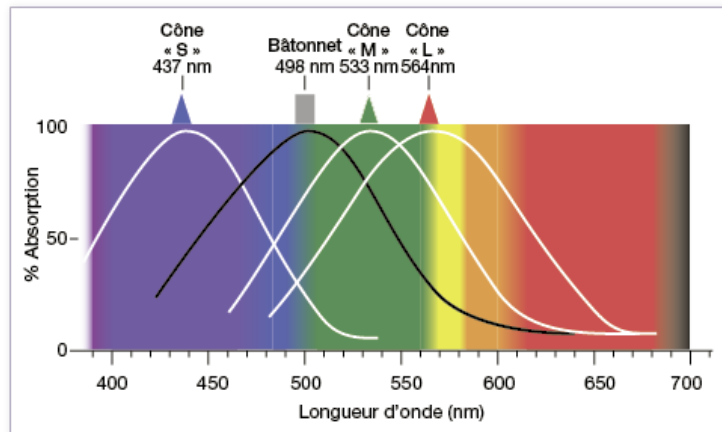


Figure 13: Courbes de sensibilité spectrale des photorécepteurs humains

Un second mécanisme réside dans l'analyse des contrastes colorés. Tout comme pour le contraste lumineux, la couche des cellules ganglionnaires induit des champs récepteurs fonctionnant par antagonisme, non plus Noir/Blanc mais Jaune/Bleu et Rouge/Vert, avec quatre types de cellules antagonistes : V+/R- ; V-/R+ ; J+/B- et J-/B+. Ainsi, dans le cas extrême d'une stimulation par une lumière exclusivement bleue par exemple, seuls les cônes S vont réagir, et ainsi activer les cellules J-/B+ et inhiber totalement les cellules J+/B- ; la dominante bleue va être renforcée. Ces cellules ganglionnaires permettent entre autres d'accroître la séparation spectrale entre les cônes M et L ; la faible nuance de 30 nm se transforme en une véritable différence de 140 nm²⁰.

Ce même genre de traitement se poursuit dans le cerveau, avec la présence d'îlots chromatiques contenant des cellules ganglionnaires à double opposantes, dont nous retiendrons du fonctionnement qu'il est à l'origine des « couleurs accidentelles ». Ces couleurs sont celles que l'on peut imputer au système visuel seul, et qui semblent se former directement sur la rétine, comme par exemple, après avoir fixé longuement un carré

²⁰ *Ibid.*, p.182

rouge, en détournant le regard sur une surface claire on perçoit clairement un carré de même taille et de couleur complémentaire bleu/vert.

L'autre expérience sensible que l'on peut faire et qu'explique cette conception par antagonisme du système visuel, est celle des ombres colorées et de la sensation de blanc, qui nous intéresse au plus haut point. Ainsi, ces phénomènes ne sont pas réductibles à la seule compréhension du monde coloré par la trichromie. En effet, le blanc est une perception courante, or l'état de neutralité parfaite est assez rare si l'on mesure à l'aide d'instruments tels qu'un spectroradiomètre les luminances du monde coloré qui nous entoure.

« Considérons une chemise blanche, c'est-à-dire capable de renvoyer tout le spectre des couleurs qu'elle reçoit, sans en absorber la moindre partie. La blancheur se définit ici en lumière du jour, c'est-à-dire avec un spectre solaire. Par conséquent, éclairée par la lumière artificielle des lampes au tungstène, la chemise ne réémet pas vraiment du blanc. D'ailleurs, si on la photographie avec une pellicule adaptée à la lumière du jour, la chemise paraît singulièrement jaunâtre, au désespoir du photographe et de ses amis. Pour corriger cet effet jugé déplorable, on achètera une pellicule qui corrige la couleur de telle sorte à obtenir une sensation de blanc plus pur malgré la dominante jaune[...]. Mais pourquoi diable compenser de la sorte ; la chemise n'est-elle donc pas jaune en réalité ? C'est tout simplement parce que, dans le processus de la vision, notre cerveau effectue automatiquement cette compensation : dans une certaine mesure, les couleurs sont perçues par l'homme indépendamment de l'éclairage ; la chemise reste blanche, même quand le spectre réémis n'est plus celui du blanc. Une telle constatation[...] montre que la perception de la couleur d'un objet dépend à la fois de la lumière émise par cet objet, mais aussi de la lumière qui éclaire son environnement. »²¹

21 *Ibid.*, p.165

Ainsi, pour chaque scène, le cerveau convoque sa propre référence de blanc, dans une sorte de balance automatique qui équilibre les informations portées par les cônes en fonction de cette référence choisie. Cela est vrai dans le cas d'un environnement éclairé par une source relativement continue ; si la lumière est monochromatique, on ne percevra plus les couleurs de la même manière. Néanmoins, dans le cas qui nous intéresse, retenons que :

*« appréciées non pas dans l'absolu, mais les unes par rapport aux autres, les couleurs sont lues, non pas pour ce qu'elles sont, mais pour ce qu'elles seraient si les objets étaient éclairés par de la lumière blanche solaire ».*²²

Notre œil est donc en quelque sorte trompeur par rapport à la réalité physique mesurable de la lumière qu'il perçoit, et particulièrement en ce qui concerne le blanc. L'interprétation cérébrale du signal fourni par les photorécepteurs n'est pas identique selon les conditions de lumière, et se conforme à une référence de blanc qui peut ne pas être physiquement parfaitement neutre. Or, les systèmes de prise de vues n'ont pas automatiquement cette interprétation, et peuvent donc induire un décalage entre ce qu'ils enregistrent et ce qui est perçu par l'œil de l'opérateur. Il faut donc être particulièrement attentif à la qualité du blanc que l'on souhaite enregistrer. L'œil étant un très bon comparateur, nous percevrons en revanche assez violemment une différence d'équilibre du blanc, même faible, entre deux plans qui s'enchaînent dans un montage.

22 Ibid., p.167

PARTIE 2 :
APPROPRIATION CINÉMATOGRAPHIQUE : L'IMAGE
DE NEIGE

Partie 2 : Appropriation cinématographique : l'image de neige

À l'issue de notre première approche, nous connaissons désormais mieux notre sujet. Tout d'abord dans sa réalité physique, qui nous est apparue changeante et imprévisible, induisant de multiples variations d'états et d'aspects, dépendant de nombreux facteurs eux aussi mouvants tels que la qualité de lumière ou les conditions météorologiques. Par une analyse relativement poussée de notre système visuel, nous avons ensuite pu constater la complexité de notre perception du réel, et les problématiques que cela peut engendrer pour notre sujet, les hautes lumières et le blanc de la neige constituant des conditions d'observation et de réception particulières.

Attachons-nous désormais à voir comment ce sujet, dans toutes ses nuances et contraintes, a été appréhendé par le cinéma, et l'image cinématographique qui en a été faite. Retrouve-t-on dans les images de neige la complexité de sa composition, les nuances de ses couleurs ? Plus important encore, parvient-on à véhiculer par son image les sensations que peut porter la neige, telles que l'éblouissement ou encore la perte des repères ? Le but de cette partie n'est pas une étude exhaustive des traitements accordés à la neige, mais de fournir un retour d'expérience, à la fois spectatorielle et professionnelle, à travers l'analyse d'images finies et les compte-rendus d'opérateurs confrontés à mon sujet. Sans faire de décryptage scientifique de ces images, je m'attacherai à en dégager des tendances ou intentions de rendu, le cas échéant, ou bien à relever ce qui, d'un certain point de vue, peut présenter des défauts.

Partie 2 : Appropriation cinématographique : l'image de neige

IV Les images de neige : couleurs, textures, compositions significantes :

Mon corpus se constitue d'une part de films qui m'ont, par leur forme, donné envie d'étudier ce sujet, et d'autres parts de films découverts au cours de ma recherche, et pour lesquels j'ai eu la chance de rencontrer les opérateurs. Il ne s'agit en rien d'une étude exhaustive, et d'autres oeuvres ont évidemment émaillé cette réflexion ; le but est ici de présenter quelques exemples représentatifs de différents rendus de neige que j'ai pu observer au cours de mes analyses. J'ai choisi des films dans lesquels la neige est un élément clef, omniprésent et faisant donc l'objet d'un traitement spécifique.

En voici la liste:

-*The Revenant*, de Alejandro Gonzalez Iñárritu, réalisé en 2015 et éclairé par Emmanuel Lubezki ; prise de vue numérique.

-*Fargo*, de Joël et Ethan Coen, réalisé en 1996 et éclairé par Roger Deakins ; prise de vue argentique.

-*Le Voyage au Groenland*, de Sébastien Betbeder, 2016, éclairé par Sébastien Godefroy.; prise de vue numérique.

-*Svalbard*, moyen métrage documentaire réalisé et éclairé par Evgenia Alexandrova comme Travail de Fin d'Etudes de la Fémis en 2016 ; prise de vue numérique.

A RENDU RÉALISTE ET PRÉCISION DU MOTIF : *THE REVENANT*

Dans ce film au contenu narratif minimaliste (un trappeur survit à tout pour se venger des hommes qui l'ont abandonné, grièvement blessé, au milieu des étendues sauvages de l'Amérique du début du XIX^{ème} siècle), l'essentiel tient par la forme et les partis pris de mise en scène forts. Si je n'ai personnellement pas adhéré au propos et à la surenchère de prouesses techniques, au jeu comme au cadre, on ne peut que saluer la qualité de l'image et le rendu de la sauvagerie des grands espaces. Tout ou presque est filmé en lumière et décors naturels, dans l'intention de coller au plus près des conditions réelles auxquelles le personnage est supposément confronté. Il s'agit, selon ses propres dires, de l'expérience la plus difficile rencontrée par Lubezki qui « voulait abolir absolument tout artifice », pour satisfaire à la volonté de réalisme absolu du réalisateur²³. Cela vaut évidemment pour le traitement de la neige, motif récurrent du film dont la chronologie suit l'arrivée de l'hiver dans les paysages montagneux du nord des Etats-Unis. La neige est omniprésente à partir du premier tiers du film, et devient de plus en plus épaisse au fur et à mesure que le récit avance. Entrave aux déplacements et symbole de l'hostilité et de la sauvagerie du monde, elle permettra finalement de retrouver la trace, au sens propre, du traître que cherche à détruire le héros.

J'ai en premier lieu été marquée par la séquence finale, qui voit s'affronter les deux personnages dans un violent duel où les protagonistes deviennent quasiment animaux. Juste avant de se jeter l'un sur l'autre, on les voit face à face dans un plan large qui montre le cirque enneigé qui les

23 GOLDMAN, M. « Left for Dead : Emmanuel Lubezki goes to the extrem », *American Cinematographer*, Janvier 2016, vol. 97, n°1, pp.36-53

entoure. Un rayon de soleil transperce les nuages, éclairant les montagnes en arrière-plan et donnant une profondeur nouvelle à l'image.



Figure 14: Photogrammes de The Revenant, séquence finale

On voit ici le jeu de lumière qui arrive fort à propos pour exacerber le récit. Ce qui est frappant est que l'effet soit si parfaitement minuté, on a l'impression que ce rayon de soleil a été « commandé » spécialement pour l'occasion. L'effet est renforcé par la réflexion sur la neige, qui se teinte chaudement sous le soleil tandis que les ombres restent plutôt ternes et froides, apportant un nouveau contraste à l'image.

Partie 2 : Appropriation cinématographique : l'image de neige

Tout au long du film, la neige est ainsi traitée, avec précision et réalisme dans le rendu des couleurs et des textures, à tel point qu'elle en devient parfois, et assez paradoxalement, mystique dans son rapport à la lumière. Cet effet est aussi renforcé par la composition de certains cadres, par exemple dans le photogramme suivant, qui fait suite à une séquence de tempête de neige, et montre le résultat sous un soleil radieux et rasant, exacerbant les brillances et la texture de cette neige fraîche.



Figure 15: Neige fraîche au soleil matinal, détails de texture, The Revenant

On voit bien ici tous les détails de cette neige presque palpable, dont la blancheur légèrement bleutée indique la pureté et la fraîcheur. Tout au long du film, le parti pris est celui du respect des sensations naturelles, aussi voit-on la neige telle que nous pourrions la percevoir réellement, dans ses contrastes, ses couleurs et sa texture. Néanmoins, le temps est souvent nuageux, menaçant comme le monde qui entoure le personnage, et ce temps gris rend la neige généralement plus terne, comme dans le début de la séquence finale qui se fait pendant une chute de neige avant que n'arrive la percée de soleil évoquée plus haut.

A travers ces différents exemples on perçoit bien l'homogénéité colorimétrique, la neige a la même couleur blanche légèrement bleu/vert, dans une continuité remarquable qui exacerbe les textures en jouant sur



Figure 16: Texture et épaisseur de la neige par temps gris, The Revenant

les effets de lumière naturelle. L'ensemble apparaît presque dénué de couleurs vives, désaturé, renforçant par-là même l'hostilité et l'indifférence de l'environnement par rapport aux figures humaines qui se débattent dans ce décor glacé. Cet effet est renforcé par le choix de costumes sombres aux tons marron qui se fondent dans le décor. La seule couleur qui ressort vivement est finalement le rouge du sang versé sur la neige, qui contraste d'autant plus avec le blanc sur lequel il est répandu.



Figure 17: Contraste coloré entre le sang et le reste de l'image, tout en nuances de gris, The Revenant

Ainsi, en choisissant de traiter la neige dans toute sa neutralité et sa capacité à réduire les paysages hivernaux à un quasi noir et blanc, même sous les rayons d'un pâle soleil, Lubezki renforce le caractère glacé et

inhospitalier des étendues sauvages dans lesquelles évoluent les protagonistes. Les occurrences colorées les plus remarquables sont réduites à la couleur rouge du sang versé, qui vient souiller le blanc immaculé de la neige, dans un effet assumé et d'autant plus saisissant. La précision du rendu des détails permet de rendre cette neige presque palpable, participant du processus d'immersion développé tout au long du film à travers les multiples partis-pris de mise en scène.

B NEIGE TERNE ET IRONIE NARRATIVE : FARGO :

Ce qui est remarquable dans l'oeuvre des frères Coen est le cynisme avec lequel ils dépeignent la vie morne de leurs personnages, au cœur de l'hiver du Minnesota. Un vendeur de voitures d'occasion, endetté jusqu'au cou, fait appel à deux malfrats plus ou moins efficaces pour kidnapper sa femme afin d'obtenir une rançon de son beau-père. La simple arnaque va progressivement basculer dans une escalade de violence à la fois banale et glaçante, non dénuée d'un certain ridicule mais en même temps trop crédible pour ne pas laisser perplexe. Le traitement de la neige participe de cette forme particulière qui exacerbe les effets, caricature les personnages, pour faire ressortir plus pleinement la véracité de ce tableau d'une vie simple et monotone qui dissimule une violence latente ne demandant qu'à croître une fois libérée du carcan des bonnes mœurs.

Un premier motif remarquable est la redondance entre le plan d'ouverture du générique et celui qui marque la fin de l'enquête, lorsque le malfaiteur survivant est embarqué par la police. Le thème musical récurrent renforce cet effet de boucle, tandis que l'image montre une ouverture au blanc et un fondu au blanc, avec un véhicule qui sort du brouillard ou s'y fond.



Figure 18: Motifs redondants à l'ouverture et à la résolution de Fargo

La similitude de couleur, de dynamique et de composition est flagrante entre ces quatre photogrammes qui se situent pourtant aux deux extrémités du film. La perte des repères liée à la présence de brouillard sur un espace plat et enneigé, qui abolit l'horizon dans une grisaille bleutée, permet ce cycle redondant qui marque le vide de l'évènement raconté et le retour au calme plat et terne, symbolisé par les deux monochromes gris/bleu dans lesquels apparaît ou se dissout l'image.



Figure 19: Neige terne, à la texture granuleuse un peu jaune, Fargo

Tout au long du film, l'image de neige est terne ; même lorsqu'elle est ensoleillée elle ne brille pas, et prend souvent une teinte jaunâtre peu engageante.

Deux occurrences de composition originale sont à relever. Il s'agit de deux plans fixes de parkings, montrant une voiture qui laisse sa trace dans la neige. La composition géométrique, aux motifs répétés et rectangulaires, donne à ces deux scènes un aspect très travaillé qui exacerbe l'artifice fictionnel et met le spectateur un peu à distance, dans une forme de recul ironique sur l'action. On observe de haut ou de loin ces véhicules laissant leur trace, plus ou moins violemment, dans la neige immaculée ; symbole de la rupture d'un équilibre tranquille et homogène ?



Figure 20: composition géométrique, carrés noirs sur fond blanc, Fargo



Figure 21: eux d'ombre et lumière sur la neige sous un soleil rasant, Fargo

Dans cet exemple, on voit bien la trace de la voiture qui vient casser violemment la monotonie de l'étendue de neige fraîche ; le sillon est

renforcé par la lumière rasante qui exacerbe les reliefs. On peut également noter l'absence de brillances et d'aspérités avant le passage de la voiture ; la texture de la neige ne nous est pas donnée à voir, ce n'est qu'une étendue blanche, presque sans matière ; un écran sur lequel le récit va s'imprimer.

Ainsi, tout au long du film, la neige est traitée selon différents régimes, tantôt simple décor, tantôt véritable écran qui masque les images ou au contraire permet leur apparition, elle se détache de sa réalité matérielle. On a rarement accès à sa texture, sauf dans le premier photogramme de la Figure 17, où elle apparaît presque fausse, comme une espèce de sucre aggloméré. Elle n'a pas toujours la même couleur, revêtant des teintes tantôt bleutées, tantôt jaunes ou marrons. Elle symbolise ici, de mon point de vue, le théâtre sur lequel le drame se joue, la page blanche qui voit advenir le récit; son côté factice renforce la distance ironique de la mise en scène, tout en entravant les personnages, les ramenant à une réalité terne et monotone.

C NEIGE ONIRIQUE ET COLORÉE : ROMPRE LA MONOTONIE ARCTIQUE :

Dans *Svalbard* comme dans *Le Voyage au Groenland*, l'action se déroule dans les étendues arctiques, et dans les deux cas le propos est de donner à voir la réalité de la vie humaine dans ces conditions, à travers le regard un peu fasciné des deux opérateurs sur cet environnement si particulier. Si nous avons décidé, dès le début de notre étude, de ne pas aborder la question logistique afin de nous concentrer sur l'image de neige, il convient toutefois de rappeler que les deux éléments sont indissociables et, dans le cas de tournages dans des conditions aussi extrêmes que l'Arctique, l'opérateur est bien souvent obligé de faire des concessions dans le

matériel technique à sa disposition. C'est ainsi que, pour des raisons différentes, les deux exemples que nous allons étudier maintenant ont été tournés avec une équipe très réduite et un matériel minimaliste, composé d'une caméra numérique Arri Amira et de deux zooms permettant de couvrir une large plage de focales. Il n'y a aucun matériel d'éclairage et tout est donc question de maîtrise de la lumière naturelle, entre choix d'exposition, de cadre et de moment propice.

Dans *Svalbard*, l'opératrice dresse un portrait poétique et onirique de cet archipel à l'extrême nord de la Norvège, notamment à travers une rencontre avec Ida, une jeune rêveuse voyageuse passionnée d'astronomie qui compare le Svalbard à un autre univers. Pour illustrer son propos, les images qui nous sont données à voir recherchent la perte des repères, en jouant notamment sur les formes, les effets de perspective et les couleurs induites par la neige. Ainsi, le film s'ouvre sur trois plans larges avec des montagnes blanches à l'horizon, le ciel est voilé également, et l'avant-plan est entièrement blanc. On distingue à peine les formes, d'autant plus que les trois plans s'enchaînent par des fondus, qui participent de cette perte de repères ; on passe d'un plan à l'autre sans vraiment saisir à quel moment.

De même, au milieu du film, quatre panoramiques se suivent ; la caméra décrit lentement la lande déserte, l'horizon est invisible et le spectateur ne sait plus trop quelle est l'échelle, les reliefs pouvant être aussi bien de petites bosses que des collines au loin.

Pour magnifier la beauté des paysages et donner à voir la majesté et la solennité du lieu, qui semble, d'après les propos tenus par Ida, écraser un peu les habitants, deux plans mettent en avant les jeux de lumière entre neige et soleil.

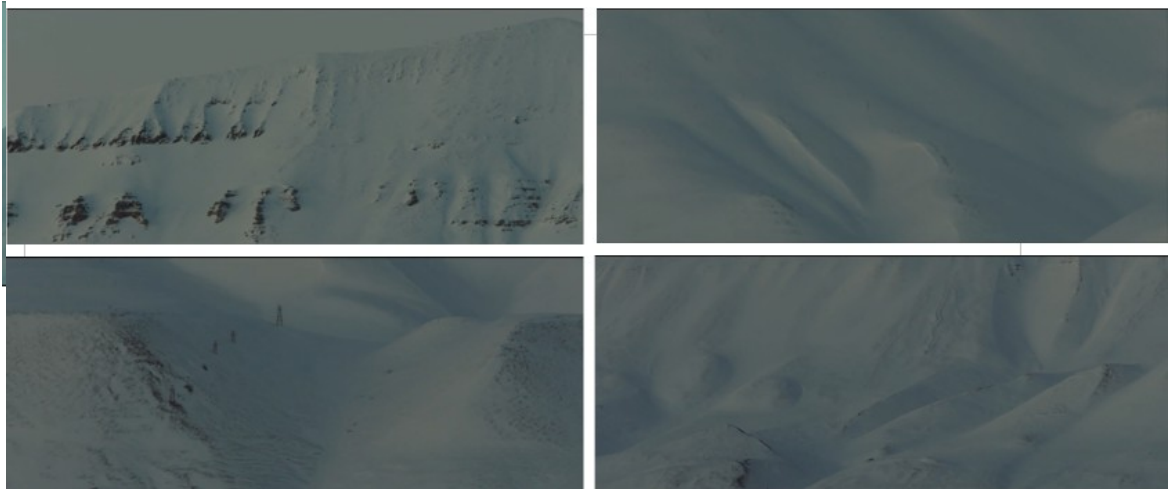


Figure 22: Jeux sur les formes et les échelles au crépuscule, Svalbard

Dans ces deux photogrammes, l'enjeu est double ; il s'agit de montrer à la fois la beauté du panorama, mais également le froid et l'hostilité. Le tournage a eu lieu entre Février et Mars, au moment où il fait le plus froid là-bas, ce qui induit une clarté atmosphérique hors normes. La lumière rasante découpe les reliefs et sculpte de nouveaux contours qui ne sont pas marqués clairement, du fait de leur couleur blanche. Le choix d'une colorimétrie pastel donne, à mon sens, ce sentiment de quiétude et d'infini voulu par l'opératrice, tout en conservant l'impression de froid extrême malgré les teintes légèrement chaudes des parties éclairées. Ainsi, en jouant sur une image blanche avec peu de contraste mais tout en nuances colorées, le rendu est ici assez onirique, à la fois majestueux et hostile, et jouant sur la perte des repères spatiaux et temporels. Une autre occurrence de l'étrangeté sauvage du lieu vient des teintes de la neige la nuit, lorsqu'elle réfléchit les éclairages publics, et qui contraste avec l'esthétique de l'image blanche évoquée plus haut.

On voit bien ici les propriétés de réflexion de la neige qui porte les nuances de la ville, dans des teintes cyan assez originales. Il y a de plus une forme d'inversion ici, c'est le sol qui est le plus lumineux alors que



Figure 24: Réflexions colorées de la neige la nuit, Svalbard

l'horizon est totalement bouché. Ce plan fait selon moi écho aux plans d'aurore boréale qui surviennent plus loin dans le film, la neige apparaissant ici comme un ciel inversé sur lequel viennent chatoyer les lumières arctiques.

Cette fascination pour les couleurs de la neige, liées à la qualité de lumière du grand Nord, se retrouve également dans *Le Voyage au Groenland*. L'idée est ici de rendre compte, à travers le voyage décalé de deux amis venus rendre visite au père de l'un d'entre eux, de la réalité du peuple de Kullorsuaq, un des villages les plus reculés du Groenland. Environnés pendant l'hiver de montagnes enneigées et d'une vaste banquise, les habitants mènent une vie réglée autour de la glace et de la neige, qui n'est donc plus si hostile mais bien un cadre de vie à part entière, avec ses codes, ses règles et ses loisirs. La couleur possède une place particulière dans ce récit, car elle est synonyme de vie pour ces hommes. En effet, le blanc de la neige représente le vide, tandis que la moindre couleur est signe d'une présence humaine ; ainsi les maisons sont-elles teintées, avec une signification pour chaque couleur, par exemple, l'aéroport de la ville d'Iqaluit est jaune canari pour être repéré de loin.

L'image participe de ce propos qui décrit la neige comme un environnement original, terrain tantôt de jeu, tantôt de chasse, dans lequel on se fond ou au contraire on se rend visible en portant des vêtements aux couleurs vives. Tourné pendant la période du jour sans fin, durant laquelle le soleil ne se couche presque pas, l'opérateur donne à voir les couleurs de ce crépuscule interminable qui pare les horizons de teintes multiples.



Figure 25: Variations colorées sur le village de Kullorsuaq, *Le Voyage au Groenland*

Sur le premier photogramme, le contraste coloré entre les maisons et l'étendue blanche qui les entoure est exacerbé. Les trois suivants montrent bien les variations colorées de la neige dans une nuit de plus en plus claire, qui apporte des teintes entre le rose des parties éclairées et le bleu pâle des ombres qui reflètent le ciel.

Dans le même registre, on voit avec ces deux photogrammes issus du même plan la grande différence de couleur de la neige entre le moment où elle reçoit encore quelques rayons de soleil et lorsqu'il n'y a plus de source directe. La neige apparaît ici non plus comme une matière inerte et

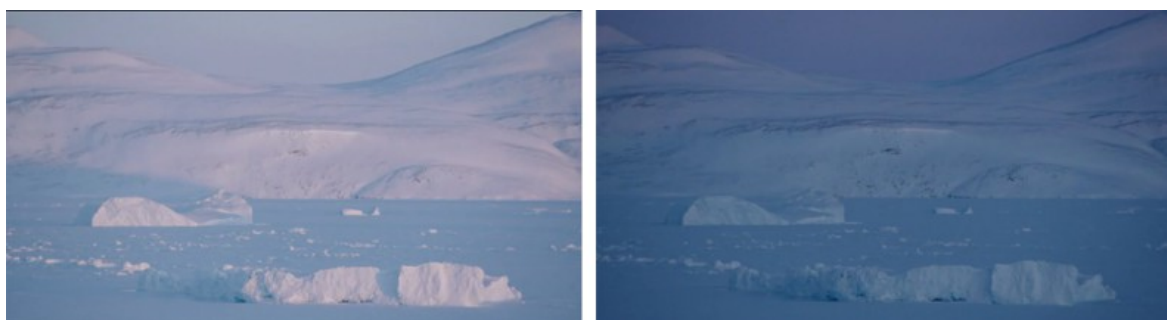


Figure 26: Variation colorée au coucher de soleil, Le Voyage au Groenland

monotone, mais bien comme un environnement perpétuellement renouvelé, qui peut changer en quelques instants dans ses couleurs et ses repères ; la perception de l'espace étant, selon les dires de l'opérateur²⁴, bien malmenée par cette étendue blanche à perte de vue qu'est la banquise.



Figure 27: Partie de chasse, Le Voyage au Groenland

Dans ce plan, le jeu sur la profondeur de champ très réduite, induite par l'utilisation d'une longue focale, permet de brouiller l'horizon, que l'on ne distingue plus, et de jouer sur la perte des repères. Au premier plan, les brillances floues rappellent la texture cristalline de la neige tout en ne la donnant pas à voir précisément. Les personnages en arrière-plan, vêtus avec des couleurs vives, tranchent par rapport au reste de l'image d'un

24 Sébastien Godefroy, entretien du 14 novembre 2016

monochrome légèrement bleuté, dans lequel se fond littéralement le chasseur. La neige est ici symbolisée par sa couleur et ses brillances, sans être directement visible dans sa matière. Ce rendu un peu particulier permet de se concentrer sur la figure du chasseur et de renforcer l'effet du camouflage ; il est d'autant plus saisissant que le plan est large. La perspective est ainsi écrasée et l'on a du mal à se situer par rapport aux protagonistes.

À travers cette étude de quatre œuvres mettant en scène la neige comme décor principal du récit, on peut observer différents types de rendus, correspondant à des volontés narratives propres. Décrite avec précision dans toute sa froideur et sa neutralité dans *The Revenant*, elle prend une dimension plus chaleureuse et poétique, notamment à travers des couleurs magnifiées, dans les deux films arctiques. Enfin, elle apparaît comme un véritable outil narratif dans *Fargo*, renforçant la distance ironique du récit par son aspect terne et presque factice.

Partie 2 :Appropriation cinématographique : l'image de neige

V L'opérateur face à la neige : retours d'expérience :

Au cours de cette recherche, j'ai pu rencontrer plusieurs opérateurs qui ont accepté de partager avec moi leurs expériences respectives de tournages dans la neige. L'idée était de recueillir leurs témoignages afin de dégager les principales problématiques auxquelles ils ont été confrontés, ainsi que les solutions mises en place. De plus, j'étais assez curieuse de connaître leur stratégie de préparation. Quel matériel est choisi et pourquoi ? Y a-t-il des tests spécifiques à mettre en œuvre ? J'ai effectué dans ce but six entretiens avec les opérateurs suivants :

- Sébastien Godefroy, chef opérateur du Voyage au Groenland, rencontré le 14 Novembre 2016 ;
- Sylvain Verdet, chef opérateur de Deux Automnes, Trois Hivers, et de documentaires dans la neige, rencontré le 19 Janvier 2017 ;
- Laurent Chalet, chef opérateur de La Marche de l'Empereur, rencontré le 23 Janvier 2017 ;
- Evgenia Alexandrova, réalisatrice et opératrice de Svalbard, rencontrée le 24 Janvier 2017 ;
- Jean-Marie Dreujou, à propos de son expérience sur Le Dernier Loup, rencontré le 8 Février 2017 ;

- Rémy Chevrin, rencontré le 15 Mars 2017 au cours d'une séance d'étalonnage du long-métrage *Tout Là-haut*, dont la sortie est prévue pour Décembre 2017.

Je m'appuie également sur le témoignage du chef opérateur Québécois Michel La Veaux, qui est venu présenter son travail, notamment sur *Le Vendeur*, lors d'une conférence le 4 Avril 2016.²⁵

A PREMIÈRE ÉTAPE : LE CHOIX DU COUPLE CAMÉRA/OPTIQUE :

Parmi les films cités ci-dessus, seuls deux ont été tournés en argentique ; il s'agit de *La Marche de l'Empereur*, tourné en 16 mm pour des questions plutôt logistiques, les caméras vidéos de 2002 n'ayant pas encore l'étendue utile nécessaire à la bonne restitution des contrastes de la banquise ; et de *Le Vendeur*, tourné en 35 mm, par choix de l'opérateur qui affirme que le numérique induit trop de contraintes pour filmer la neige. Cette mauvaise réputation, chez certains opérateurs, du numérique pour la prise de vue de sujets lumineux tels que la neige, est l'une des raisons qui m'ont poussée à étudier ce sujet, afin d'en comprendre réellement les enjeux et pouvoir la filmer en numérique.

Les autres tournages ont été effectués avec des caméras numériques. L'Arri Amira a été utilisée pour *Svalbard* et *Le Voyage au Groenland*. Sur *Le Dernier Loup*, des caméras Arri Alexa ont été choisies, ainsi que des Red pour les prises de vue en 3D. Enfin, pour *Tout Là-Haut*, Rémy Chevrin a principalement utilisé une Red Weapon et une Red Dragon 6K pour les prises de vue en hélicoptère. À travers ce petit échantillon, on note l'emploi de supports différents. Comme pour chaque nouveau projet, l'ergonomie est un facteur déterminant le choix de caméra ; nous avons évoqué dans le

25 cf. la partie "Filmographie" de ce mémoire pour de plus amples détails

chapitre précédent la taille réduite des équipes ayant tourné en Arctique, ce qui explique l'utilisation de caméras légères type vidéo comme l'Amira ou le 16 mm, permettant une qualité cinéma tout en ne nécessitant pas trop de logistique.

Néanmoins, à chaque fois, des tests spécifiques ont été effectués pour déterminer la résistance de la caméra au froid. C'est ainsi que l'opératrice de Svalbard souhaitait absolument tourner avec une caméra Arri, car les modèles équivalents de Sony qu'elle a testés avaient des plastiques moins solides à des températures extrêmes. Globalement, chaque opérateur a conduit des tests pour savoir jusqu'où la caméra envisagée supportait le froid, et les problèmes qui pouvaient subvenir. Ainsi, Sébastien Godefroy a fait une demi-journée de tests chez Picard à des températures de -28°C , tandis que Michel La Veaux a dû abandonner son idée première de tourner avec une Aaton Pénélope, cette caméra n'ayant pas supporté d'être plongée dans un congélateur à -20°C .

Outre ces données de pure résistance physique au froid, indissociable de la neige, d'autres éléments plus techniques jouent dans le choix de la caméra. Le premier point est sans doute l'étendue utile, que nous avons définie précédemment comme étant l'écart maximum de luminances que la caméra peut moduler. Les paysages enneigés ont souvent un contraste supérieur à celui du sujet standard et qui peut aller, bien que cela reste rare, jusqu'à plus de 15 EV. Le but est idéalement de pouvoir moduler l'ensemble du sujet, et donc d'avoir l'étendue la plus grande possible. Les caméras numériques cinéma actuelles ont une étendue utile qui tend à se rapprocher des 12 diaphragmes de l'argentique, certains constructeurs affirment même les dépasser en annonçant 14 diaphragmes d'étendue

utile. Pour filmer la neige, les opérateurs s'assurent d'avoir cette plage utile suffisante pour enregistrer l'ensemble du sujet.

D'autres paramètres entrent en compte dans le choix. Pour Laurent Chalet, qui fait souvent des documentaires avec de la neige, l'échantillonnage couleur est une donnée primordiale qui ne doit pas être négligée, même si l'on envisage un workflow léger. C'est ainsi que, pour le projet sur lequel il s'apprêtait à partir lorsque je l'ai rencontré, il avait insisté pour avoir une caméra capable d'enregistrer au moins dans le codec ProRes 4.2.2, car la précision des couleurs est, selon lui, la condition d'une bonne restitution des nuances de blanc. Evidemment, un workflow Raw est encore ici l'assurance du meilleur rendu, si tant est que l'on envisage une post-production lourde. C'est le choix qui a été fait par Rémy Chevrin et Jean-Marie Dreujou. De même, pour Svalbard et Le Voyage au Groenland, le choix a été fait d'enregistrer dans le codec le plus qualitatif à disposition, à savoir le ProRes 4.4.4.4.

Un autre paramètre qui me semblait primordial pour le rendu de la neige était la résolution. En effet, il paraît important de pouvoir restituer dans ses détails la texture cristalline de notre élément. Néanmoins, j'ai été surprise de voir que ce n'était pas, pour la plupart de ces opérateurs, ce qui avait motivé le choix de caméra. Ainsi, il est ressorti de mes échanges que la question de résolution se traduisait plutôt par le choix des optiques que par celui de la caméra, à part dans le cas de Rémy Chevrin, dont le workflow 6K Raw privilégie autant l'échantillonnage que la résolution. D'autre part, il choisit des zooms Angénieux pour leur rondeur, car « ils sont définis mais pas chirurgicaux et encaissent bien la surexposition ²⁶». C'est d'ailleurs un parti-pris récurrent parmi mes exemples ; je pense que

26 Rémy Chevrin, entretien du 15 mars 2017

cela est lié à la fois au rendu recherché et à l'ergonomie du zoom qui permet, dans les conditions souvent difficiles d'un tournage dans la neige, d'avoir une configuration compacte et pratique.

Evidemment, outre les tests de résistance au froid, chacun a bien insisté sur l'importance d'effectuer en amont des essais précis de *workflow* et d'exposition, le plus possible dans les conditions réelles de tournage, comme par exemple Rémy Chevrin qui a pu faire des essais directement avec des prises de vues de neige. Cela permet de valider le couple caméra/optique et d'envisager les problématiques de prise de vue auxquelles seront confrontés les opérateurs.

B POSER LA NEIGE : OUTILS ET STRATÉGIES D'EXPOSITION :

Selon le rendu souhaité, les stratégies de prise de vue vont différer, néanmoins, quelques tendances ressortent des entretiens. Parlons tout d'abord des outils de mesure utilisés par les opérateurs. Historiquement, le directeur de la photographie a à sa disposition plusieurs outils de mesure de la lumière afin d'appréhender les contrastes de son sujet et de choisir en conséquence où il va « poser » les éléments sur la courbe de réponse du capteur²⁷.

On pense immédiatement à la **cellule** qui permet de mesurer le rayonnement incident, soit l'éclairement, et gérer ainsi le contraste lumière du sujet. Or, les tournages dans la neige s'effectuent principalement en lumière naturelle, et, étant donné les quantités énormes qui sont réfléchies par cette surface blanche, il est difficile de se rendre bien compte des nuances de la scène. Ainsi, tous se sont principalement servi du **spotmètre**, qui mesure directement les luminances du sujet, et permet

²⁷ cf. Partie 3-I-A

d'avoir une quantification plus précise des niveaux lumineux. Au cours de ma partie pratique, j'ai également privilégié cet outil, dont je préciserai l'usage dans la partie 3 de cette recherche. Enfin, en ce qui concerne la gestion des couleurs et afin de pallier le problème des fausses teintes, le **thermolorimètre** a souvent été cité pour déterminer la qualité de la lumière incidente en termes de couleur, et afin d'homogénéiser les sources en cas de rattrapages à l'aide de projecteurs.

Grâce au numérique, l'opérateur a désormais à sa disposition des outils nouveaux lui permettant de contrôler son image. L'usage du **moniteur** a été peu mentionné durant ces entretiens. D'un point de vue logistique, il était souvent compliqué d'apporter un écran qualitatif et donc volumineux sur les lieux de tournage, mais la raison principale est que le moniteur n'est pas à proprement parler un outil de mesure. Il affiche une image qui a déjà subi des traitements, et permet donc de se donner une idée de rendu mais ne constitue pas un témoin précis de ce que l'on enregistre réellement. De plus, son calibrage, correspondant à l'espace couleur utilisé (Rec 709 pour la vidéo et DCI P3 pour le cinéma), n'est valable, lorsqu'il est fait, que pour un environnement lumineux maîtrisé. Or, dans les conditions de tournage qui nous intéressent, où tout est environné de blanc et soumis aux réflexions de lumière, cette maîtrise est presque impossible ; on a du mal ne serait-ce qu'à voir une image sur l'écran.

L'oscilloscope est un autre outil apparu avec le numérique. Il permet de visualiser le signal en sortie de caméra, via une interface qui retranscrit en ordonnée chaque point de l'image selon sa valeur. Si cet outil est utile pour visualiser les points extrêmes du signal et un éventuel écrêtage dans les hautes lumières, il n'a pas été beaucoup mentionné au cours de ces entretiens.

En revanche, **le false color** a été fréquemment utilisé, notamment au cours des tournages des deux films arctiques. Cet outil superpose à l'image des couleurs symbolisant un certain niveau de signal par une analyse cohérente du signal de sortie. Il permet de bien se rendre compte d'une éventuelle surexposition mais a l'inconvénient de ne pas décrire l'ensemble du signal.

Color	Level	Description
red	99 – 100%	White clipping
yellow	97 – 99%	Just below white clipping/white shoulder
pink	52 – 56%	One stop over medium gray (Caucasian skin)
green	38 – 42%	18% neutral gray
blue	2.5 – 4.0%	Just above black clipping/black slope
purple	0 – 2.5%	Black clipping

Figure 28: Index des false color Arri, Arri Pocket Guide

L'inconvénient de ces trois outils est qu'ils ne sont valables que pour une image développée et ne pourront pas vraiment être utilisés au cours d'un enregistrement Raw, où ils pourraient même être sources d'erreurs ou d'approximations.

Grâce à tous ces différents outils, l'opérateur est en mesure de déterminer les valeurs de luminance qui composent son sujet, et de choisir en conséquence où « poser » son image, soit choisir son diaphragme pour enregistrer l'image qu'il désire. Dans *Tout Là-Haut*, Rémy Chevrin avait pour objectif de rendre compte de la texture de la neige. En effet, l'histoire est centrée autour de la pratique du snowboard, et il était important de faire ressentir la qualité de neige au spectateur. Il était indispensable de photographier la neige de manière à en garder le plus de détails, sans toutefois qu'elle n'apparaisse grise. La stratégie qu'il a adoptée a été de surexposer de deux ou trois diaphragmes la neige par rapport à ce que lui indiquait le spotmètre. Cela correspond à placer la neige comme un blanc à

80 %, le spotmètre donnant une référence pour la bonne exposition d'un gris à 18 %. Cette démarche sera approfondie dans la dernière partie de cette recherche.

Pour Sébastien Godefroy, qui n'avait aucun matériel d'éclairage à disposition, la principale préoccupation a été d'exposer correctement les visages de ses personnages tout en ne saturant pas la neige. Il s'est notamment heurté à la problématique des brillances qui peuvent survenir au cours d'un mouvement de caméra et a donc posé de manière à ne pas écrêter le signal sur ces éléments les plus lumineux. En effet, selon lui, une différence entre numérique et argentique est la saturation, qui entraîne un « trou de surexposition ²⁸ » peu agréable à l'oeil en numérique tandis que les frontières sont plus douces avec la pellicule.

Le problème le plus souvent évoqué n'est pas, comme je le pensais de prime abord, la gestion d'un énorme contraste que la caméra ne pourrait pas encaisser. En effet, seul Laurent Chalet a évoqué des contrastes de plus de 20 EV, pour lesquels il appartient à l'opérateur de choisir entre conserver les hautes ou les basses lumières. Au contraire, le principal souci est celui de parvenir à donner de la profondeur à l'image afin de ne pas avoir d'à-plats blancs uniformes. Chacun pensait, tout comme moi, qu'un filtre polarisant était une bonne solution pour ramener du contraste et des nuances sur la neige. Tous m'ont unanimement dit qu'ils s'en étaient finalement très peu servi, à part pour une utilisation classique sur les ciels, mais que ça n'impactait en rien le rendu de la texture de neige. C'est donc plutôt les choix de cadre et d'orientation par rapport au soleil qui ont permis de donner du relief à l'image. Pour ce faire, un bon repérage et une

28 Sébastien Godefroy, entretien du 14 novembre 2016

maîtrise de la lumière naturelle paraissent indispensables, par exemple en choisissant une lumière rasante matinale ou de fin d'après-midi.

Le jeu sur la profondeur de champ participe également du rendu, et il convient donc d'avoir à disposition une large série de filtres à densité neutre afin d'avoir une grande latitude dans le choix du diaphragme. La question se pose particulièrement dans le cas où l'on filme un personnage. L'exemple du gros plan sur un visage a été évoqué par Rémy Chevrin, avec la question de savoir si l'on souhaite faire ressentir la profondeur de la neige derrière ou si l'on joue au contraire sur l'écran blanc. Dans *Svalbard*, l'opératrice a fait le choix du flou mais en ménageant un arrière-plan non homogène pour son premier plan sur le personnage de Tommy.



Figure 29: Gestion du flou d'arrière-plan dans un cadre serré, *Svalbard*

On distingue vaguement les reliefs et le dégradé lumineux permet d'éviter l'écueil de l'écran blanc évoqué plus haut. Avec la neige, la gestion des personnages dans le plan est problématique. Habituellement, le travail du chef opérateur se concentre particulièrement sur la figure humaine. Or, dans le cas où la neige est un élément à part entière à magnifier également, il faut parfois faire des compromis pour rendre au mieux les deux éléments. Nous l'avons évoqué dans la première partie de cette étude, les grandes luminances du sujet enneigé permettent difficilement de

rattraper les visages à l'aide de projecteurs. Il faut des puissances énormes ou alors des sources très proches pour gagner quelques tiers de diaphragme. De même, si l'on veut couper la réflexion de la neige sur un visage afin d'augmenter son contraste lumière, on doit placer un drapeau tout proche ou étendre d'énormes quantités de « borniols » sur la neige, ce qui n'est pas toujours envisageable. La solution la plus souvent adoptée est donc de bien repérer les directions de lumière et d'orienter le personnage en conséquence.

Un dernier élément auquel ont été particulièrement attentifs les opérateurs que j'ai rencontrés est la balance colorée de leurs images. Nous l'avons vu, la neige, bien que blanche, se pare de multiples nuances colorées d'autant plus difficiles à détecter que notre œil fait en permanence un équilibre sur sa référence de blanc. Pour pallier cela, Evgenia Alexandrova a fait le choix de procéder régulièrement à des balances manuelles en se servant de la neige comme référence, jouant tour à tour l'équilibre sur les ombres ou les faces ensoleillées selon son désir de rendu. La prise de vue numérique permet une plus grande latitude sur ces questions-là, notamment à l'étape de l'étalonnage qui permet de rééquilibrer relativement facilement de légères dérives. En tournant en Raw, on s'affranchit en partie de la question de la balance, qui sera gérée au moment de la débayerisation.

Ainsi, à travers ces entretiens, plusieurs problématiques liées à la prise de vues de la neige ont été soulevées, et partiellement résolues, par les différents opérateurs. Il faut garder à l'esprit que chaque film est original et nécessite une stratégie particulière visant à rendre la neige de manière plus ou moins réaliste et à lui donner une part plus ou moins importante au sein du récit. Ces entretiens, effectués pour la plupart avant la réalisation de la

Partie 2 :Appropriation cinématographique : l'image de neige

partie pratique qui accompagne ce mémoire, m'ont permis d'établir une série de tests visant à me confronter moi-même aux contraintes de la neige.

PARTIE 3 :
CONSTRUIRE L'IMAGE DE NEIGE

À ce stade de notre étude, nous avons un aperçu assez clair de notre sujet, dans ses caractéristiques physiques comme dans les potentialités narratives qu'il porte à travers les images qui en ont été faites. Nous l'avons toutefois envisagé uniquement par le prisme de notre perception, sans nous appesantir sur les procédés de fabrication de l'image de neige. Grâce aux compte-rendus des opérateurs, des problématiques spécifiques ont été soulevées et des solutions techniques ont été évoquées, mais sans grande précision sur le fonctionnement même de l'intermédiaire à l'origine de la mise en image de la neige. Penchons-nous à présent sur le processus de fabrication de l'image de neige, de la captation du sujet, avec ses luminances et ses couleurs, à sa restitution sur l'écran de cinéma sous forme d'image. En maîtrisant ainsi la chaîne de production, nous pourrions envisager plus spécifiquement les stratégies à mettre en œuvre pour obtenir le rendu désiré.

Dans ses avancées technologiques, l'homme cherche souvent à imiter la nature ; c'est ainsi que l'analogie peut être faite entre les mécanismes de la vision et la fabrication des images cinématographiques. On retrouve donc dans la chaîne de production un œil qui perçoit et capture l'information, qui correspond à la surface photosensible, et un cerveau qui traite et interprète les données afin d'aboutir à une image cohérente, et qui correspond aux divers procédés de développement et de post-production. Au vu de la prédominance actuelle du numérique et en écho aux doutes de certains opérateurs concernant l'utilisation de cette technologie pour filmer la neige, j'ai décidé de me concentrer spécifiquement sur ce type de production. Néanmoins, c'est par l'argentique que l'image a été pensée en premier lieu, et il convient de conserver les outils d'analyse de la sensitométrie originelle pour bien comprendre les caractéristiques de la prise de vue numérique. Tout comme l'opérateur en argentique choisit une émulsion en fonction de ses caractéristiques et effectue ses choix d'exposition en connaissance de cause, tâchons de comprendre et maîtriser l'outil numérique. Cela nous permettra

ensuite de penser l'image de neige de sa prise de vue à sa restitution sur l'écran sous forme d'une image au rendu maîtrisé.

VI Maîtriser son outil : caractérisation **du capteur numérique :**

Si la caméra peut être assimilée à un œil, il convient d'étudier comment elle perçoit, à travers la réaction de sa surface photosensible, les luminances et couleurs du sujet qu'elle enregistre. L'étude de la rétine a permis de mettre en avant son fonctionnement complexe avec des phénomènes d'adaptation de la sensibilité et de la perception colorée selon la nature et la quantité de lumière reçue. Le capteur ne connaît pas ces variations, il a une réponse liée à sa composition, et qui diffère de celle de l'œil. En argentique, l'invariance de la réponse et la distorsion par rapport à la perception visuelle sont bien connues des opérateurs. C'est ainsi qu'ils prennent grand soin à choisir une émulsion selon ses propriétés physiques : sensibilité, aptitude au contraste ou encore température d'équilibre. Le numérique apporte, grâce aux multiples possibilités d'ajustement, l'illusion d'une réponse variable du capteur, avec par exemple le paramètre de réglage ISO ou le réglage de température de couleur. En fait, la réponse du capteur ne change en rien, et les curseurs règlent uniquement des traitements effectués ensuite. En ayant conscience de cette réponse native du capteur, on peut mieux connaître les limites réelles d'enregistrement, et ainsi maîtriser d'autant plus notre image.

Pour conduire cette étude, je m'appuie sur les travaux réalisés dans le cadre de la majeure Psychophysique de l'Image proposée aux étudiants par Alain Sarlat, et que j'ai suivie au cours du 5ème semestre de ma formation. De plus, je fais également référence aux mémoires de Laurène Le Barh²⁹,

²⁹ LE BARH Laurène, *Les Hautes Lumières en Cinéma Numérique*, Mémoire de fin d'études, ENS

Loeiz Perreux³⁰, Elena Erhel³¹ et Olivier Patron³², qui ont étudié en détails la caractérisation des caméras.

A ÉTUDE DE LA COURBE DE RÉPONSE :

Le capteur numérique est composé de cellules photosensibles, les photosites, organisées en matrice. Son principe de fonctionnement est basé sur les propriétés semi-conductrices du silicium ; chaque photon qui entre en contact avec ce silicium libère un électron, créant ainsi une charge positive, stockée dans le photosite durant le temps d'exposition³³ (Bellaïche p.200-201). Le nombre de charges est directement lié à la quantité de lumière reçue ; le photosite est un compteur de photons, sa réponse est linéaire. Ajoutons à cela que sa capacité n'est pas infinie, on peut l'assimiler à un puit de potentiel qui, une fois rempli, ne pourra pas emmagasiner d'autres photons ; une fois la valeur seuil atteinte, il n'y a plus de modulation, le photosite est saturé. La charge stockée est ensuite transformée en tension électrique, puis convertie en signal numérique. Cette étape est effectuée directement au sein du photosite dans la technologie CMOS, tandis qu'elle se fait en sortie sur les capteurs CCD. La valeur numérique est déterminée par la profondeur de codage, le nombre de bits. À une profondeur x donnée correspondent 2^x valeurs possibles, soit 256 valeurs de 0 à 255 pour du 8 bits, ou encore 4096 valeurs pour un encodage 12 bits.

Louis Lumière, 2014

30 PERREUX Loeiz, *La Pénombre, une histoire de Contrastes et de Couleurs*, Mémoire de fin d'études, ENS Louis Lumière, 2015

31 ERHEL Elena, *Les lumières de la Ville la Nuit*, Mémoire de fin d'études, ENS Louis Lumière, 2016

32 PATRON Olivier, *LaNuit extérieure Rurale, de la scène diurne à l'image nocturne*, Mémoire de fin d'études, ENS Louis Lumière, 2016

33 BELLAÏCHE Philippe, *op.cit.*, pp.200-201

De cette première analyse, nous pouvons établir une courbe de réponse théorique du capteur, qui exprime la valeur numérique obtenue en fonction de la lamination reçue. Rappelons que la lamination H est le produit de l'éclairement image E_i par le temps de pose. Elle dépend de différents paramètres de prise de vue, qui prennent en compte les choix de l'opérateur :

- la luminance L du sujet ;
- le diaphragme, ou nombre d'ouverture A ;
- le temps d'exposition t, dépendant de l'obturation et de la cadence image ; selon la formule :

$$H = \frac{0.64 \times L \times t}{A^2} \quad 34$$

Le but de la courbe de réponse est de comprendre comment réagit notre capteur au stimulus lumineux ; quelles sont les quantités seuil qui marquent le début de la réponse et la fin de la modulation, et comment s'échelonnent les valeurs de cette modulation. En argentique, on exprime la réponse de l'émulsion en densité, logarithme de l'opacité, qui exprime le noircissement des cristaux d'halogénure d'argent. Cette échelle est conforme à la perception humaine qui est elle aussi logarithmique (loi Weber-Fechner). En revanche, la réponse numérique est linéaire, et il faut donc garder à l'esprit cette différence lorsque l'on envisage le comportement du capteur.

La courbe de réponse numérique se caractérise par trois zones remarquables :

34 SARLAT Alain, dans son cours du 30 Août 2016

- la zone de bruit, en bas de courbe : l'information est perdue dans le parasitage du signal
- la partie rectiligne, qui module l'information de lumination
- la zone de saturation : le seuil de remplissage des photosites est atteint, la réponse n'est plus modulée

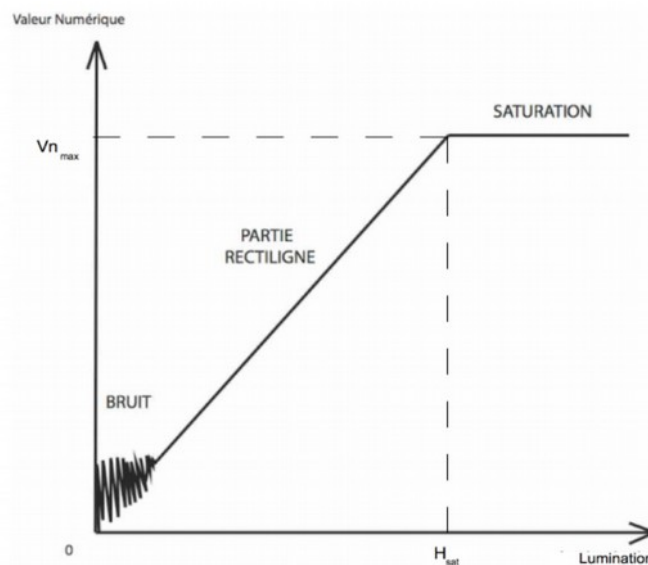


Figure 30: Représentation schématique d'une courbe de réponse numérique

Le photosite est théoriquement capable de réagir à l'absorption d'un photon unique, il n'y a pas de seuil de sensibilité à proprement parler en numérique, au contraire de l'argentique, pour lequel la réaction chimique nécessite une quantité minimale de lumière. En revanche, cette modulation infime du capteur peut se perdre dans le bruit. Le bruit désigne une réaction parasite aléatoire des photosites, qui s'ajoute aux modulations du capteur, créant des informations indésirables, plus sensibles dans le bas du signal.

Pour déterminer le début de réponse du capteur, on parle alors de « rapport signal sur bruit », mais ce n'est pas une valeur absolue ; il peut varier avec, par exemple, la température du capteur.

En revanche, la lamination de saturation, au-delà de laquelle la réponse ne varie plus, est un point remarquable et immuable qui dépend de la quantité de charges que les photosites peuvent stocker. C'est une grande différence avec la courbe de réponse argentique, caractérisée par une épaulement à l'approche de la saturation qui adoucit la pente de la courbe et permet une transition douce. C'est à cause de cette saturation abrupte du capteur numérique que les opérateurs étaient d'abord réticents à utiliser cette technologie pour capter des sujets très lumineux tels que la neige.

Pour définir les caractéristiques d'une émulsion argentique, on l'exposait à une gamme de luminances connues excédant son étendue utile. On pouvait ensuite tracer sa courbe de réponse en fonction des densités obtenues. Nous pouvons procéder à un examen similaire en exposant le capteur à des plages de luminance croissante via une sphère d'intégration sur laquelle on place une gamme carbone qui module la lumière transmise. Grâce à une exploitation logicielle, on peut analyser les valeurs numériques obtenues pour chaque lamination. L'avantage de cette opération est qu'elle prend en compte le couple caméra/optique, incluant donc l'effet du flare présent dans tout système optique et qui génère un éclairage parasite du capteur. On peut choisir d'exprimer la courbe de réponse selon une échelle logarithmique, soit la courbe $\log_2(VN) = f(\log_2(H))$

Dans le cadre de la majeure PHY, nous avons effectué cette caractérisation pour la caméra Arri Alexa Studio. J'ai utilisé pour ma partie pratique une caméra Arri Amira dont le capteur a sensiblement les mêmes

propriétés (le même capteur équipe toutes les caméra de la marque Arri, j'ai donc considéré que les caractéristiques étaient identiques, aux variations de fabrication près).

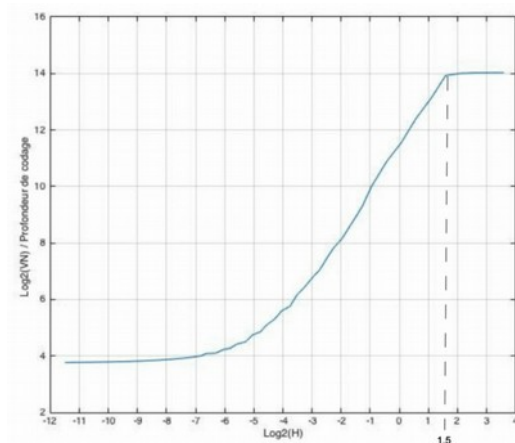


Figure 31: Courbe de réponse de l'Arri Alexa, en logarithme

³⁵L'échelle en logarithme de base 2 permet de se rapprocher de la pratique de l'opérateur. En effet, chaque graduation en abscisse correspond à un diaphragme supplémentaire, soit une quantité de lumière doublée. On peut visualiser facilement l'étendue utile du capteur, limitée par le $\log_2(H)$ de la première réponse non bruitée d'un côté, et par le $\log_2(H_{\text{sat}})$ de l'autre.

Ajoutons ici que l'étendue utile d'un capteur numérique est limitée naturellement par la profondeur de codage. En effet, la réponse étant linéaire, la première moitié des valeurs numériques possibles sera attribuée au premier EV sous la lamination de saturation. Le deuxième EV sera décrit par la moitié des valeurs restantes, et ainsi de suite. L'oeil est capable de distinguer un écart de 0,02 en densité, et $1\text{EV} = 0,3$ en densité. Pour décrire correctement un EV, il faut donc 15 nuances différentes. Prenons l'exemple d'une quantification 8 bits, on a $2^8 = 256$ valeurs possibles.

35 Illustration tirée de PERREUX Loeiz, op.cit., p.85

Or, $256 \div 2^4 = 16$; seuls 4 EV pourront être pleinement exprimés, au-delà il manquera des nuances. Le codage de l'Alexa se fait sur 14 bits ; 10 diaphragmes seront totalement décrits, c'est notre étendue utile théorique ($2^{14} = 16\,384$ valeurs, et $16\,384 \div 2^{10} = 16$).

Avec la courbe de réponse de l'Alexa (Figure 28), on peut graphiquement déterminer la valeur de la lamination de saturation :

on observe que $\log_2(H_{sat}) \approx 1.5$ ce qui équivaut à $H_{sat} \approx 2.8 \text{ lux.s}^{-1}$

Cette lamination de saturation permet ensuite d'évaluer la sensibilité de notre capteur. Dans son sens large, la sensibilité désigne l'aptitude à réagir à une faible stimulation, plus un capteur est sensible, moins il a besoin de lumière pour fournir une réponse ; à l'inverse, un capteur peu sensible nécessitera une grande excitation pour réagir. Nous l'avons dit, il n'existe en théorie pas de seuil minimum de lamination pour la réaction d'un capteur numérique, hormis le seuil de bruit.

On confond souvent la sensibilité sensitométrique, décrite à travers l'ensemble de la courbe de réponse, avec l'indice d'exposition, EI, exprimé selon une échelle en cohérence avec les diaphragmes de l'opérateur (une sensibilité EI doublée équivaut au gain d'un diaphragme). Cet indice d'exposition est apparu avec la photographie argentique, et ne correspond à aucune norme précise ; c'est une indication donnée par les constructeurs afin d'inciter l'opérateur à poser correctement son sujet, c'est-à-dire à placer le contraste dans la zone du capteur où l'information sera modulée correctement. En effet, les outils de mesure de l'opérateur proposent, pour un EI donné, un couple vitesse / diaphragme permettant de placer idéalement le gris à 18 %, référence moyenne de l'oeil, sur la courbe.

Comment détermine-t-on cet indice d'exposition à partir de la courbe sensitométrique ? Traditionnellement, on considère que le contraste moyen d'une image est de 40:1, entre une référence de blanc diffus réfléchissant 80 % de la lumière incidente et une référence de noir en reflétant 2 %. Cela équivaut à 5 EV 1/3, avec le gris à 18 % placé 2 EV en-dessous du blanc et 3 EV 1/3 au-dessus du noir. En argentique, l'écueil est celui de la sous-exposition, et l'on cherche donc à éviter à tout prix de perdre l'information dans les basses lumières. Il s'agit de bien placer le gris à 18 % à la bonne hauteur sur la courbe de réponse de l'émulsion pour laisser la place aux 3 EV 1/3 nécessaires à la restitution des basses lumières. Comme il peut y avoir des imprécisions de mesure entre les différents instruments, on cherche un facteur de sécurité permettant d'éviter les mauvaises surprises tout en ne réduisant pas trop la marge de manœuvre de l'opérateur.

Ce facteur de sécurité a évolué au fur et à mesure des avancées technologiques. Pour les pellicules cinéma, c'est la méthode de détermination élaborée par Kodak qui a fini par s'imposer partout, et sur laquelle sont étalonnés les instruments de mesure³⁶. Elle prend comme référence du début de réaction bien modulée de l'émulsion la densité de 0,20 au-dessus de la D_{\min} . Un tableau de correspondance permet ensuite de déterminer l'EI en fonction de la valeur de lamination nécessaire pour obtenir cette densité. En pellicule, on soigne ainsi les basses lumières, sans trop se préoccuper des hautes du fait de la grande étendue utile des émulsions et de la douceur de la transition vers la surexposition donnée par l'épaule de la courbe.

36 FOURNIER Jean-Louis, *La Sensitométrie, les sciences de l'image appliquées à la prise de vues cinématographiques*, Editions Dujarric, Paris, 2006, pp.71-73

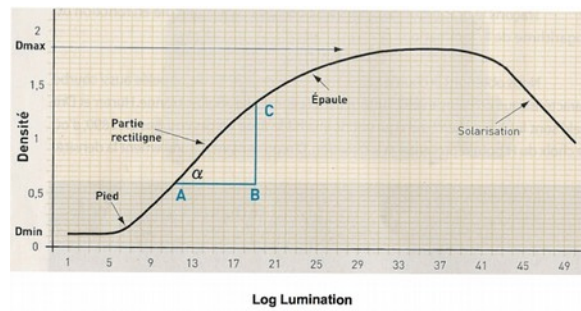


Figure 32: Courbe de réponse d'une pellicule négative argentique

En numérique, la méthode de détermination de la sensibilité nominale fournie par les constructeurs n'est pas connue. Néanmoins, il est clair que la zone critique est celle des hautes lumières ; l'EI exprimé doit inciter l'opérateur à poser son sujet relativement bas pour se prémunir de la saturation. Or, si l'on considère la sensibilité comme la relation entre une réponse donnée et la luminance nécessaire pour l'obtenir, on comprend qu'en numérique, une haute sensibilité induit forcément une réduction de l'étendue utile.

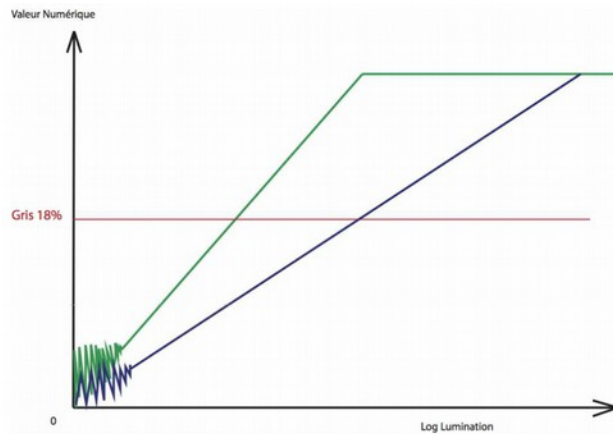


Figure 33: Représentation schématique d'une différence de sensibilité sensitométrique entre deux capteurs

Sur ce schéma, la courbe verte traduit une plus grande sensibilité, il faut une excitation lumineuse plus faible pour parvenir à la valeur du gris à 18 %, au prix d'une étendue utile réduite. Il est impossible de changer la sensibilité réelle d'un capteur, contrairement à ce que peut laisser penser le réglage ISO. Ce sont les traitements appliqués au signal qui vont être modifiés, et pas la réponse réelle du capteur. Lorsque l'opérateur change la sensibilité sur sa cellule et pose suivant ses indications, il déplace son sujet sur la courbe de réponse. Plus la sensibilité est haute, plus on s'éloigne de la saturation mais plus on se rapproche du bruit ; on n'utilise pas toute l'étendue à notre disposition.

Il y a sur-échantillonnage des hautes lumières par rapport aux basses. Pour notre sujet nous avons tout intérêt à placer la neige en haut de la courbe afin d'avoir le maximum d'informations possibles. Comment s'y retrouver alors, comment parvenir à obtenir une cohérence entre les mesures effectuées avec les outils classiques, réglés selon les EI argentiques ?

Nous proposons pour le numérique une méthode de détermination de l'EI fondée sur la valeur de lamination de saturation qui est une donnée irréductible du capteur. En considérant la méthode Kodak, on peut effectuer le même raisonnement à partir de la valeur haute, la référence de blanc et plus de noir. La lamination de saturation, obtenue grâce à la courbe de réponse du capteur, nous donne la valeur haute limitante. Pour le cas de l'Alexa, nous l'avons déterminée à 2,8 lux.s-1, ce qui équivaut en logH à 0,45.

On cherche à retrouver le blanc diffus à 80 % de notre sujet standard, pour retomber sur la classification Kodak. La plus haute luminance d'un sujet sera fournie par le reflet spéculaire, s'il y en a un, qui est n fois supérieur au blanc diffus à 100 %. En logH, une division par n équivaut environ à -0,50, soit -1 EV 2/3. On obtient notre valeur de blanc diffus à 100 %. On retranche alors -0,10 logH pour obtenir le blanc diffus à 80 %. Pour trouver la valeur logH du noir à 2 %, il ne reste plus qu'à retrancher le contraste du sujet standard, soit 5 EV 1/3, ou -1,6 logH.

Dans cette hypothèse, un reflet spéculaire serait placé exactement à la lamination de saturation, ce qui peut entraîner des aberrations chromatiques (cf. Partie III, I. b.). Pour éviter cela, on peut retrancher encore -1/3 EV, ce qui correspond à notre facteur de sécurité choisi arbitrairement. Une fois établie la valeur logH du noir à 2 %, on se réfère aux tableaux de correspondance argentique, et l'on trouve pour l'Alexa une sensibilité ISO 160.

La valeur EI nominale annoncée par le fabricant est de ISO 800, le facteur de sécurité est alors de 2 EV 1/3 supérieur à celui que nous avons arbitré dans notre raisonnement. En posant pour EI 800, on ne risque pas

de saturer, mais l'on se coupe d'une bonne partie de la réponse de notre courbe.

Avec cette nouvelle référence EI160, la pose annoncée par les outils de mesure correspond réellement aux capacités du capteur. Ainsi, l'opérateur peut choisir en connaissance de cause où placer les éléments de son sujet sur la courbe, en veillant à ce que le contraste n'excède pas l'étendue utile du capteur. En réglant ses outils de mesure sur EI 160, il sait que le gris à 18 % sera placé 4 EV 1/3 en dessous de la saturation ; fort de cette connaissance, on peut ensuite choisir la pose en fonction du contraste du sujet filmé.

B LA COULEUR :

Nous n'avons jusqu'ici raisonné qu'en termes de quantité de lumière, sans penser à sa qualité. Nativement, le silicium du capteur n'a pas la même sensibilité spectrale que l'oeil humain. Il est par exemple très sensible aux longueurs d'onde supérieures à 700 nm, soit les rayons InfraRouges, que nous ne percevons pas. C'est pourquoi un filtre IR est placé devant le capteur afin de le couper d'éventuels rayonnements non perceptibles qui pourraient le faire réagir. De plus, afin de reproduire le principe de trivariance de l'information nécessaire à la synthèse colorée, les cônes S, M et L de la rétine, une mosaïque de Bayer est placée devant le capteur. Il s'agit d'une mosaïque qui fait correspondre à chaque photosite un filtre rouge, vert ou bleu.

L'information de lumière est donc répartie sous la forme de trois canaux retranscrivant chacun une quantité de rouge, de vert ou de bleu. En analysant la réponse de chaque canal soumis à chacune des longueurs

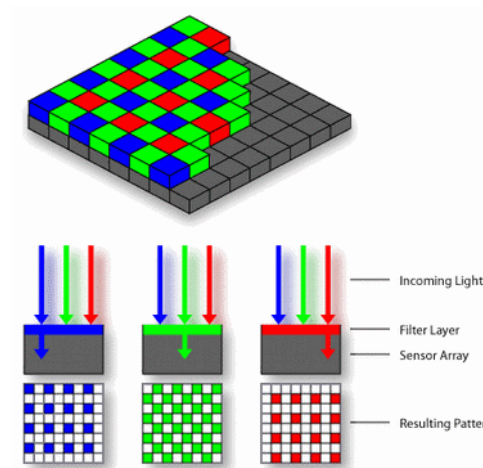


Figure 34: Modélisation de la matrice de Bayer et de son principe de fonctionnement¹
 Traduction par nos soins: Lumière incidente, Couche de filtre, Surface photosensible, Matrice résultante

d'onde du spectre visible, on peut en déduire la courbe de sensibilité spectrale de la caméra, et mieux comprendre comment elle analyse la couleur. Par ce biais, on a accès à l'espace couleur dans lequel seront codées les informations colorées.

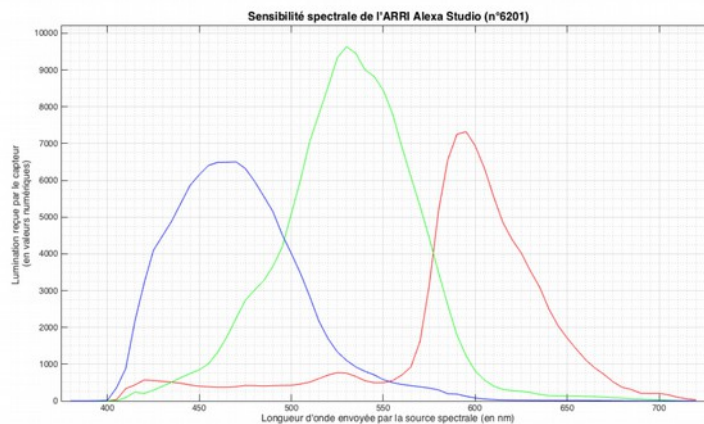


Figure 35: Courbe de sensibilité spectrale de l'Arri Alexa

³⁷La connaissance de cette courbe permet de comprendre certaines aberrations chromatiques liées à la différence entre la réponse spectrale de la caméra et celle de l'oeil. Ces aberrations sont particulièrement liées à des sources au spectre très caractéristique, avec des pics d'émission précis ; ce

³⁷ Illustration tirée de ERHEL Elena, *op.cit.*, p.90

n'est pas le cas pour la neige, soumise au spectre solaire large et homogène. Nous ne développerons pas davantage l'étude de cette courbe.

En revanche, une implication importante pour nous de cette séparation trichromatique de la lumière est la différence de sensibilité entre les trois canaux. Si nous avons précédemment étudié la courbe de réponse globale du capteur, dans le détail on peut réaliser cette analyse par canal. On observe alors que la lamination de saturation n'est pas la même pour chacun des canaux.

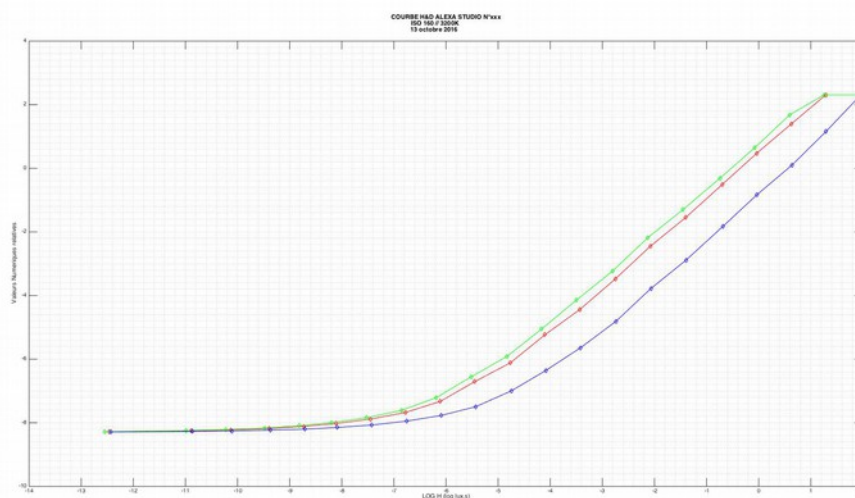


Figure 36: Courbe de réponse par canal, Arri Alexa

On voit bien ici la différence entre les trois canaux. Notons que cette courbe n'est pas utilisable pour une réelle analyse, la courbe du canal bleu n'ayant pas vraiment atteint le seuil de saturation. Retenons simplement que si l'on choisit de poser un élément de notre sujet, par exemple un reflet spéculaire, au niveau de saturation, on s'expose à des dérives colorées. Cela explique notre choix de se donner un facteur de sécurité de 1/3 EV dans la détermination de l'EI effectuée précédemment.

Autre caractéristique importante du capteur : sa température d'équilibre. Elle s'exprime généralement en Kelvin ; plus la température est élevée, plus

la composante bleue sera importante, et plus la teinte sera froide ; à l'inverse, plus la température est basse, plus la teinte sera chaude, avec une composante rouge dominante. C'est une notion à laquelle nous sommes habitués en argentique, avec entre autres la classique distinction entre les pellicules « lumière du jour », équilibrées autour de 5600K, et « tungstène », équilibrée pour 3200K. Comme pour la sensibilité, le curseur de balance des blancs des caméras numériques nous laisse penser que cette température d'équilibre peut varier sans conséquence sur la qualité de l'image. Il n'en est rien, et chaque caméra a une température d'équilibre propre ; le réglage de la balance est un traitement effectué par la suite.

Nous avons évoqué dans notre première partie le phénomène d'adaptation de l'oeil à des sources perçues comme étant blanches. Il y a un équilibrage automatique des signaux colorés fournis par les trois types de cônes. Pour un capteur, la réponse sera équilibrée lorsqu'elle sera la même pour le canal rouge et le canal bleu. En exposant le capteur à des lumières blanches de température de couleur variées, et en relevant la réponse de chaque canal, on obtient une courbe de réponse en fonction de la température de couleur.

Par cette méthode, la température d'équilibre du capteur Arri a été déterminée à 4880 K. La caméra est donc plutôt équilibrée pour les lumières naturelles.

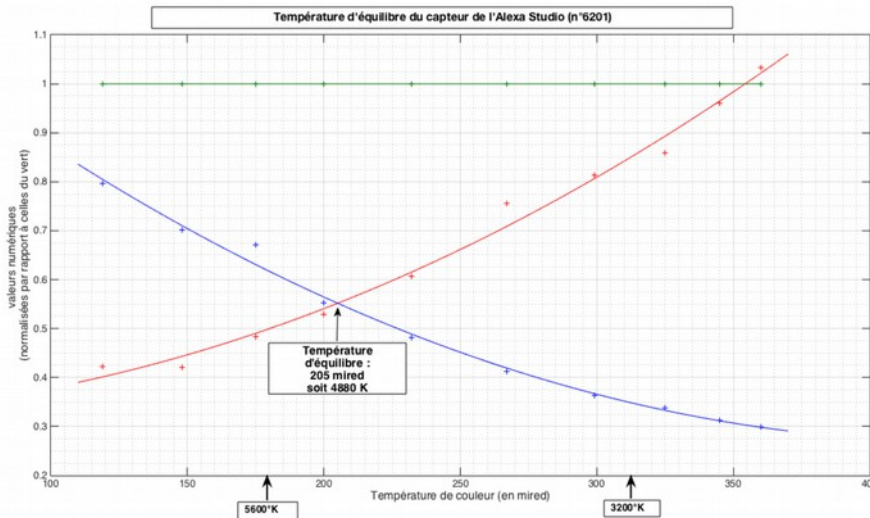


Figure 37: Courbe des canaux Rouge, Vert, Bleu de l'Alexa en fonction de la TC

³⁸La connaissance de cette température d'équilibre ne changera pas notre pratique en soi, mais peut aider à privilégier une caméra plutôt qu'une autre en fonction des conditions de tournage. Plus la température de la source sera éloignée de la température d'équilibre de la caméra, plus le gain à appliquer dans le canal bleu ou rouge sera important, au risque d'apporter du bruit et donc de détériorer la qualité de l'image. On peut également imaginer réhabiliter les procédés de filtration utilisés parfois en pellicule pour corriger la lumière, avec l'exemple du filtre 85 permettant de pallier la dérive bleue d'une pellicule tungstène exposée à la lumière du jour. Le problème de dégradation dépendrait alors de la qualité du filtre. Il pourrait être intéressant d'effectuer des tests pour savoir quelle stratégie est la plus qualitative.

C TRAITEMENTS DES INFORMATIONS ET APPARITION DE L'IMAGE :

Une fois que le capteur numérique a réagi aux luminations auxquelles il a été exposé, il en résulte une matrice de valeurs numériques qui ne

³⁸ Illustration tirée de ERHEL Elena, *op.cit.*, p.85

forment en rien une image. Tout comme en argentique l'image latente devait être développée puis tirée sur un positif afin d'obtenir le rendu final, les informations issues du capteur vont devoir subir un certain nombre de traitements pour faire advenir l'image. Ces traitements varient en fonction du workflow choisi par l'opérateur. Sans rentrer trop profondément dans les détails de ces étapes, considérons les plus importantes :

- La débayerisation : elle consiste à séparer les informations issues de chaque canal, afin de former trois matrices distinctes (Bleu, Vert, Rouge) ; chaque matrice comporte des trous, correspondant aux matrices des autres canaux. Une seconde étape consiste à remplir ces trous par interpolation des valeurs numériques voisines, afin d'obtenir trois matrices pleines.
- La correction de balance : en fonction de la métadonnée fournie par le réglage de température de couleur de l'opérateur, les gains nécessaires sont appliqués à chaque matrice.
- Le changement d'espace couleur : la caméra a ses propres primaires, et donc son espace couleur particulier, cette étape permet de passer dans un espace couleur normé plus universel.
- Le changement de gradation : elle est souvent appliquée dans le but de correspondre à un espace de travail normé, comme la gradation gamma ; elle peut aussi permettre de mieux répartir l'information afin de limiter le poids de stockage, c'est l'encodage logarithmique.
- La compression : on limite le poids des données par des algorithmes qui sacrifient plus ou moins d'informations. Un exemple classique est celui du sous-échantillonnage des valeurs de chrominance issues des canaux bleu et rouge.

En fonction des options choisies, on obtient différents flux d'enregistrement. On peut déterminer l'étape à laquelle on récupère ce flux. Par exemple, on peut laisser la caméra effectuer tous ces traitements, ou au contraire vouloir les contrôler plus en amont. Le flux Raw est censé fournir la réponse du capteur la plus brute possible, et également la plus riche, étant donné que les traitements peuvent occasionner une dégradation de l'information native. En réalité, il y a toujours quelques traitements effectués sur les fichiers Raw, mais la caractéristique la plus remarquable est que la débayerisation n'a pas eu lieu, on a une image en valeurs de gris dans laquelle la matrice de photosites est encore visible si on l'agrandit. On maîtrise alors toutes les étapes suivantes.

Dans tout autre type de flux, les traitements de débayerisation, de balance, d'orientation vers un espace couleur et de gradation logarithmique sont effectués par la caméra. Notons que la stratégie d'Arri concernant la gradation logarithmique est originale : à chaque valeur EI correspond une courbe de gradation particulière³⁹, qui vise à optimiser les traitements selon l'endroit de la courbe où l'opérateur est censé avoir posé son sujet s'il a suivi l'EI affiché.

Les caméras numériques proposent également des flux de type vidéo, comme le Rec 709, et qui sont déjà normés selon un espace couleur et un gamma de visualisation ; ces flux permettent un accès direct à une image « regardable », mais entraînent une réduction drastique des informations par rapport à la richesse du flux initial du capteur. En fonction des besoins, des capacités de stockage et du temps accordé à la post-production, le chef opérateur choisit d'enregistrer tel ou tel flux.

³⁹ ARRI, *Alexa Log C Curve - Usage in VFX*, référence manuel, 2012

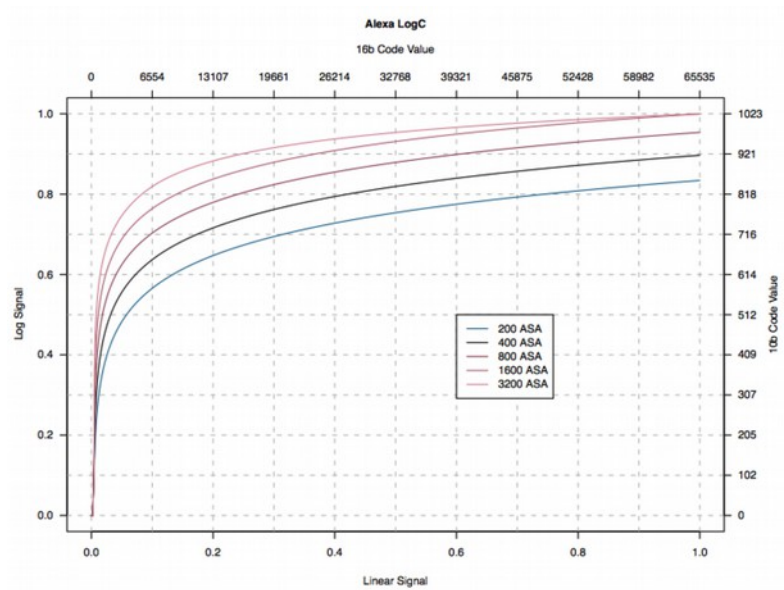


Figure 38: Courbes d'encodage logarithmique de l'Alexa en fonction de la sensibilité ISO

VII Application : filmer la neige, retour d'expérience de la partie pratique du mémoire :

A PRÉAMBULE :

Effectuée après la plupart de mes entretiens avec les opérateurs, le but de la partie pratique était d'expérimenter les problématiques évoquées par ces professionnels concernant la prise de vues de neige. De plus, je souhaitais confronter certaines de mes hypothèses de départ, à l'origine de mon choix de sujet, à la réalité des images. Je suis partie en tournage relativement tôt par rapport aux avancées de ma recherche, je n'avais pas alors d'idées très précises de ce que j'allais trouver ni de comment

procéder. Je n'ai pu tourner que 4 jours, ce qui ne m'a pas permis de tester tout ce que je souhaitais idéalement. Les contraintes matérielles auxquelles j'ai été confrontée m'ont permis de me construire une expérience intéressante quant aux questions de préparation d'un tournage de neige. Cette année a été particulièrement pauvre en neige, et le lieu de tournage a évolué en fonction de cette donnée. Prévoyant initialement de tourner dans des lieux plutôt sauvages afin d'avoir de la neige vierge, j'ai fini par me tourner vers les infrastructures d'une station de sports d'hiver, garantissant une relative pérennité du manteau neigeux et un accès assez aisé. J'aurais souhaité comparer le rendu des textures de différents types de neige, je n'ai pas eu cette opportunité ; la neige filmée est essentiellement de la vieille neige humide, travaillée, très probablement composée de grains ronds.

Le choix du matériel a été déterminé par plusieurs facteurs. En m'appuyant sur les retours que j'avais eus de la part des opérateurs, je souhaitais avoir à ma disposition une caméra robuste, capable de supporter les faibles températures. De plus, l'équipe n'étant composée que d'un assistant et moi-même, la configuration devait être légère et ergonomique, tout en ne sacrifiant pas trop la qualité de l'image car une grande partie de mes tests visait à déterminer l'influence de paramètres d'enregistrement tels que la résolution ou l'échantillonnage. Mon choix s'est donc dirigé vers l'Amira, déjà utilisée pour *Svalbard* et *Le Voyage au Groenland*, tournés tous deux dans des conditions extrêmes avec une équipe réduite. De plus, ayant manipulé et étudié tout au long de mon cursus à l'ENS Louis Lumière l'Alexa, j'étais familière du fonctionnement des caméras Arri et des caractéristiques de leur capteur.

Pour les optiques, j'ai fait le choix de privilégier l'ergonomie en utilisant deux zooms Angénieux, un Optimo 15-40 et un Optimo 45-120, me permettant de couvrir une large plage de focales tout en gardant une configuration légère. Les opérateurs m'en avaient également vanté les qualités. J'aurais aimé comparer leur rendu avec celui d'une focale fixe, notamment pour voir l'influence du flare, forcément présent lorsque l'on filme un sujet aussi lumineux que la neige, et qui est lié entre autres au nombre de lentilles de l'objectif ; c'est un test que je n'ai pas pu effectuer dans le temps imparti à cette recherche.

En ce qui concerne le format d'enregistrement, je souhaitais avoir, à part pour les tests spécifiques sur ces questions, le signal le plus riche à ma disposition. L'Amira ne pouvant enregistrer en Raw, j'ai enregistré l'essentiel de mes plans en LogC sous le format Apple ProRes 4.4.4.4 XQ, censément réputé très performant pour les hautes lumières⁴⁰. La résolution est un paramètre qui me semblait primordial dans le rendu de texture, j'ai donc tourné principalement à la pleine résolution du capteur, soit 3,2 K. Encore une fois, il aurait fallu pouvoir comparer le rendu de différentes caméras aux résolutions plus grandes ; en effet, la plage de test entre le 4K artificiel issu de l'interpolation et le HD 1920 x 1080 n'est pas suffisamment importante pour réellement mettre en avant des différences marquantes.

B STRATÉGIE D'EXPOSITION :

Ayant supposé les caractéristiques de l'Amira relativement semblables à celles de l'Alexa Studio testée au cours de ma formation, j'ai adapté en conséquence ma stratégie d'exposition. La démarche première consiste à mesurer précisément le contraste du sujet à l'aide d'un spotmètre, afin de

⁴⁰ APPLE, *Apple ProRes White Paper*, Juin 2014

déterminer quelle est la luminance la plus haute et la façon dont s'échelonne le contraste qui lie entre eux les éléments du cadre. Le contraste sujet n'excédait jamais 8 EV $1/3$, nous laissant une latitude d'exposition de 1 EV $2/3$ si l'on considère une étendue utile de 10 EV. Dans les plans sans figure humaine, le but est de poser pour la neige. Au vu du principe de réaction du capteur numérique, qui encode l'information sur beaucoup plus de valeurs en haut de la courbe, il paraît judicieux de placer la neige juste en dessous de la limite de saturation, afin d'avoir l'information la plus riche possible.

J'ai donc choisi de la poser comme un blanc diffus à 100 %, soit 2 EV $1/3$ au-dessus de la valeur du gris à 18 % fournie par le spotmètre réglé sur ISO 160, ce qui laisse également une marge pour une éventuelle spéculaire. En ouvrant donc de 2 Ø $+1/3$, on « surexpose » la neige par rapport au couple vitesse/diaphragme du spotmètre ; on comprend ici qu'il s'agit d'une forme d'abus de langage, si l'on avait effectivement posé la neige selon la mesure de notre outil, elle serait apparue comme un gris à 18 %.

Néanmoins, cette stratégie de poser au plus haut de la courbe nous impose d'être très vigilant aux variations lumineuses. En effet, nous avons pris un facteur de sécurité de $1/3$ EV au-dessus du reflet spéculaire dans notre détermination de l'EI. Les jours où le soleil était légèrement voilé, nous nous sommes parfois fait surprendre par une brusque percée qui mettait les spéculaires dans la zone critique. Il fallait donc veiller à faire régulièrement des mesures de notre point de plus haute luminance. De même, sur les plans en panoramique, il nous a fallu anticiper l'importante composante spéculaire de la neige humide, et penser à bien considérer tous les axes couverts afin de ne pas risquer la saturation au cours du plan.

Pour vérifier d'éventuels changements lumineux, et comme mon assistant ne pouvait avoir l'oeil à tout, j'ai parfois opté pour l'utilisation des *false color* dans le viseur, qui me permettaient de visualiser mieux le phénomène.

Le dernier jour, nous avons été confrontés à la problématique du jour blanc, avec un temps très nuageux et même des chutes de neige. En effectuant des tests visant à déterminer l'influence des paramètres d'enregistrement sur le rendu des flocons en train de tomber, j'ai pu expérimenter les problèmes de raccord posés par une telle météo. D'une prise à l'autre, la quantité de flocons variait, et les chutes ont même cessé au cours du test, m'obligeant à patienter presque une heure pour avoir un semblant de cohérence entre les prises. Dans le cadre d'un film de fiction dont une séquence se tournerait pendant une chute de neige, cela pourrait devenir vraiment problématique et occasionner de gros retards. Il est donc important de bien considérer ce paramètre au cours de la préparation.

En ce qui concerne l'exposition, le contraste sujet n'excédant pas les 2 ou 3 EV du fait de la diffusion généralisée de la lumière par la neige et le brouillard, la latitude était énorme. Pour exacerber la perte des repères et l'aspect grisâtre, j'ai choisi de placer la neige un peu plus bas sur la courbe. *A posteriori*, il aurait été intéressant de poursuivre notre stratégie d'exposer au plus haut de la courbe afin de voir jusqu'où on pouvait récupérer des détails, non perçus par l'oeil mais peut-être plus finement analysés par le capteur.

C ESSAIS DE *KEYLIGHT*, STRUCTURER LA LUMIÈRE D'UN VISAGE SUR FOND DE NEIGE

L'autre grande question qui me préoccupait avant de partir en tournage était celle de l'éclairage d'un personnage sur fond de neige.

Doit-on poser pour la neige ou pour le personnage ?

Comment peut-on structurer la lumière sur le visage ?

Y a-t-il des axes à privilégier ?

Pour répondre à toutes ces interrogations, nous avons effectué des essais de *keylight* un jour de grand soleil, sur une vaste étendue enneigée, sans ombre. Le premier constat a été celui d'une bonne exposition originelle du visage, éclairé latéralement par le soleil. Les rapports de contraste entre nos hautes lumières, ici la neige en arrière-plan, et le visage sont classiques : la neige, notre référence de blanc, se trouve 2 EV au-dessus de la face éclairée du visage ; la face à l'ombre est à -1 EV et les ombres de notre image sont à

-3 EV 1/3 ; on retrouve le sujet standard dans sa plus complète définition, avec un écart de 40 : 1 entre la référence sombre et la référence claire. La neige est ici un blanc à 80 %.

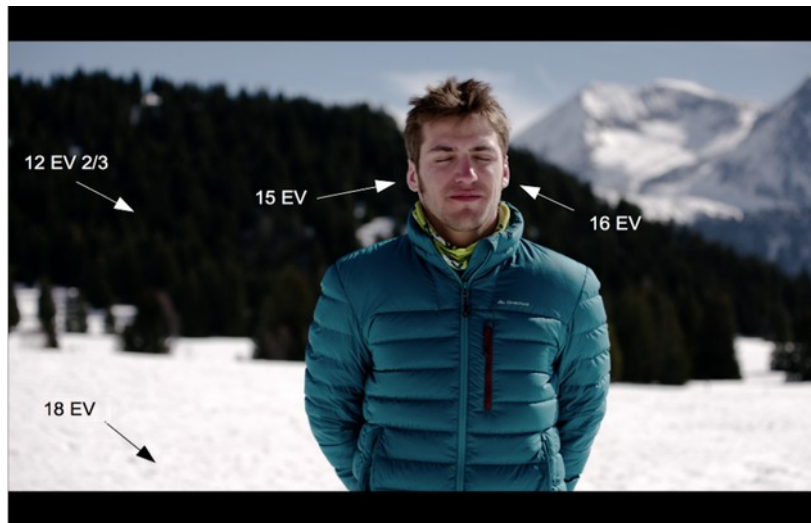


Figure 39: Essai de keylight, contraste $-1/0$, partie pratique Neige, étalonnage sous MIST pour un espace Rec 709

En cherchant ensuite à structurer davantage cette lumière, nous nous sommes heurtés à la difficulté d'apporter du contraste sur le visage. En effet, notre valeur de cadre en plan rapproché taille ne nous permettait pas d'approcher suffisamment les drapeaux et sources du visage pour perdre ou gagner plus d'un EV. Précisons que le matériel à disposition était limité, constitué d'un grand borniol, de deux drapeaux, de réflecteurs souples et de deux projecteurs HMI de 400 W et 800 W. Le plus gros contraste éclairage que nous avons réussi à créer donnait la face sombre à 14 EV et la face éclairée à 17 EV, soit un contraste de $-2 / +1$ par rapport au keylight à 16 EV.

La marge de manœuvre étant limitée, la question de l'exposition du visage sur un champ de neige par temps clair semble donc plus se déplacer du côté de l'orientation par rapport au soleil.



Figure 40: Essai de keylight, contraste -2/+1, partie pratique Neige, étalonnage sous MIST pour un espace Rec 709

Le cas du contre-jour a souvent été évoqué par les opérateurs, selon lesquels il était plus facile de structurer la lumière sur le visage. Peut-être est-ce lié à notre matériel, mais nous ne sommes pas parvenus à obtenir de résultats beaucoup plus contrastés dans cette configuration-là. Il était toutefois effectivement plus facile d'avoir une face sombre, le visage étant naturellement 4 EV en-dessous du niveau de la neige. On peut alors rattraper à loisir sans se préoccuper de couper la lumière réfléchi.

Pour voir le rendu des autres orientations possibles, le suivi circulaire du personnage autour de la caméra a été effectué.

J'ai également cherché à créer différentes sensations de profondeur en variant l'ouverture. À \emptyset 2,8, la profondeur est faible, la neige apparaît floue en arrière-plan, néanmoins, comme c'est de la neige vieille et travaillée, sillonnée de traces de pas, la texture reste en quelque sorte perceptible ; on n'a pas l'à-plat blanc redouté par Rémy Chevrin. *A contrario*, les plans tournés à \emptyset 16 donnent une sensation de profondeur étrange. Le personnage se découpe parfaitement sur la neige de teinte uniforme, et cela apporte un effet un peu artificiel à mon sens. L'un des

avantages de la neige est que sa luminance est telle que l'on a toute la latitude possible pour filtrer, permettant de jouer à loisir sur l'ouverture et la profondeur de champ.



Figure 41: Variations d'angle d'incidence de la lumière solaire, $\text{Ø}2.8$, PPM Neige



Figure 42: Variations d'angle d'incidence de la lumière solaire, $\text{Ø}16$, PPM Neige

VIII Étalonner l'image de neige :

A STRATÉGIE GÉNÉRALE :

Choisir d'enregistrer l'image en LogC implique une étape nécessaire de traitement pour faire advenir une image correcte. En effet, l'encodage logarithmique d'Arri donne accès à un flux d'informations assez brutes, que l'on peut assimiler grossièrement à un Raw débayerisé et équilibré selon le réglage de balance des blancs. L'image n'est donc que partiellement « développée », pour reprendre l'analogie avec le processus de fabrication des images argentiques.

Dans le but de conserver toute l'étendue utile du capteur, la gradation est faible, l'image ainsi visualisée paraît grise et sans relief. Le but de l'étalonnage est dans un premier temps de faire correspondre notre image au système de visualisation par lequel elle sera donnée à voir. C'est tout l'enjeu du *workflow*, qui permet de déterminer les grandes étapes du post-traitement de l'image, en fonction du flux d'origine et de sa destination.

Viennent ensuite les traitements plus formels, le but étant d'harmoniser les images entre elles et de donner au film son « look », son identité propre en respectant les choix de contrastes et de couleurs réalisés à la prise de vue par l'opérateur.

J'ai choisi de procéder à mon étalonnage sous le logiciel MIST, qui équipe la station d'étalonnage de l'école. J'ai ainsi privilégié la qualité de la visualisation, dans un espace à la lumière maîtrisée et équipé d'un moniteur bien calibré, plutôt que l'ergonomie de l'interface logicielle: le MIST n'est

pas à proprement parler un logiciel d'étalonnage, et ne possède pas certains outils facilitant le travail.

Globalement, et dès que cela a été possible, ne recherchant pas d'effets particuliers mais de l'efficacité, j'ai choisi d'étalonner à partir de Luts (Look Up Table) me permettant d'approcher directement un rendu d'image correct, avec une gradation et des couleurs correspondant à mon espace de destination, à savoir le Rec 709. Le choix de cet espace vidéo a été motivé essentiellement par des questions d'ergonomie, certains outils de visualisation tels que les oscilloscopes de l'interface d'étalonnage n'étant pas disponibles dans une chaîne de l'espace cinéma DCI P3.

Dans le cadre de cette partie pratique, j'ai effectué différents tests, afin de mettre en avant certains aspects caractéristiques de la prise de vues de neige. Il n'y a donc pas de continuité narrative ou de recherche sémantique à proprement parler, donc pas de matérialisation formelle particulière.

Les fichiers ne sont pas tous identiques car certains tests nécessitaient des variations de réglages. J'ai choisi de classer mes images selon les tests effectués, en différentes *timelines* qui m'ont permis d'avoir pour chacune, si besoin, une stratégie d'étalonnage particulière, en rapport avec ce que je cherchais à montrer. Je comptais sur l'étalonnage pour mettre en avant l'influence de certains paramètres de prise de vue sur la qualité finale. Les résultats ont été plus ou moins probants selon les essais.

J'ai néanmoins pu dégager de cette expérience certains enjeux propres à l'étalonnage de l'image de neige.

B AUGMENTATION DU CONTRASTE DES HAUTES LUMIÈRES :

L'idée qui a présidé à l'étalonnage des images de neige a été de faire ressortir cet élément, pour en rendre les brillances et les détails, lui apporter de la texture. Je voulais voir jusqu'où l'on pouvait rendre la sensation de lumière donnée par la neige, sachant que la luminance du système de restitution ne serait jamais la même que la luminance réelle de la neige. Pour la majorité des plans, j'ai placé en sortie la Lut Arri KOS0, dont les réglages de *Knee* et de *Slope* sont censés être minimales. Ces réglages visent à donner à la courbe de gradation des valeurs l'aspect d'une sigmoïde, soit une courbe à la pente renforcée dans les valeurs moyennes et adoucie aux extrémités.

Ce principe de la sigmoïde rejoint les analyses effectuées par Jones pour le développement de la pellicule argentique. En soumettant au jugement d'un public test des images aux courbes de rendu différentes, il est apparu que la sigmoïde était la condition du rendu le plus satisfaisant.

En numérique, on cherche à tendre vers ce type de courbe via les réglages de *Knee* et *Slope*. Dans les Luts Arri, on peut gérer en partie la compression des hautes et basses lumières ; j'ai fait le choix d'utiliser les réglages les plus faibles afin de minimiser la compression des hautes, pour gérer ensuite via les outils d'étalonnage le contraste du haut de la courbe.

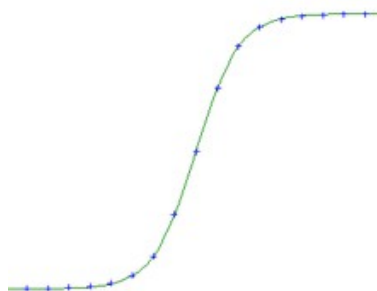


Figure 43: Profil type d'une courbe sigmoïde

Ma stratégie a donc consisté à accroître localement le contraste dans le haut du signal, afin d'impacter uniquement le rendu de la neige, tout en conservant la gradation des moyennes valeurs donnée par la Lut de visualisation. J'ai pour ce faire utilisé l'outil Curves du MIST, me permettant de choisir avec précision le lieu de la courbe que je voulais toucher. Avec cette méthode de la Lut en sortie, le signal sur lequel nous jouons via les curseurs du logiciel reste le LogC du fichier originel, ce qui permet d'en conserver toute la richesse.

J'ai ainsi pu redonner du volume à la neige, et faire ressortir la richesse de sa texture en exacerbant les brillances et sa clarté générale. J'ai aussi cherché à rapprocher la neige du niveau maximum du moniteur, afin de renforcer la sensation de blanc et d'éblouissement.

Pour les tests de réglage ISO, l'idée était de confirmer notre analyse de la réponse du capteur concernant sa sensibilité. J'ai appliqué en entrée la Lut correspondant à chaque fichier. La stratégie Arri consistant à avoir un LogC par EI, il nous fallait appliquer à chaque prise la Lut correspondante, ici la Lut LogC to Rec709. Le problème de mettre ainsi la Lut en entrée est que le signal est irrémédiablement modifié ; les réglages se font ensuite à partir du nouveau signal issu de la Lut.

Deux séries de tests ont été effectuées : la première avec une pose constante, suivant notre stratégie originelle considérant la sensibilité à EI 160 ; la seconde en déplaçant le signal sur la courbe selon l'EI affiché.

L'analyse de cette deuxième série est assez probante : plus on monte en EI, plus on pose bas dans la courbe, et plus le niveau de bruit est élevé. En revanche, pour ce qui est de la première série, l'idée était de montrer que les informations sont présentes dans tous les fichiers, et de déterminer quel

encodage est le plus qualitatif pour nos hautes lumières. Néanmoins, avec la Lut placée en entrée, le signal est déjà compressé, et certaines informations se perdent. Il aurait fallu pouvoir travailler le signal avant la Lut pour en garder toute la richesse, or dans le MIST il n'est pas possible de placer des Lut différentes en sortie. Malgré tout, je suis parvenue à récupérer énormément d'informations, même dans la prise à EI 3200, qui paraissait pourtant complètement saturée à la simple application de la Lut, ce qui montre bien que la sensibilité du capteur n'a pas changé réellement.

Un autre exemple intéressant pour les questions de contraste est celui du jour blanc. Le contraste sujet étant très réduit, il s'agissait de voir jusqu'où l'on pouvait étirer le signal pour retrouver des détails. Est-ce que la caméra avait mieux vu les nuances dans la clarté uniforme ?

Il s'avère qu'avec l'outil Curves, on peut aller très loin dans l'étirement du signal, mais cela entraîne énormément d'aberrations et de bruit. En revanche, en utilisant les outils Lift, Gamma et Gain, qui permettent de toucher l'ensemble de la courbe en partant respectivement des basses, moyennes ou hautes lumières, on garde de la cohérence et on peut arriver à récupérer plus de détails que ce qui était perceptible à l'oeil. L'effet paraît cependant vite artificiel et il faut être très vigilant si l'on souhaite ainsi distordre le signal.

À l'issue de l'étalonnage, je regrette d'autant plus de ne pas avoir pu filmer des types de neige variés, car certains paramètres testés, comme l'encodage ou la résolution, auraient peut-être eu plus d'influence sur la qualité de rendu des textures. Les grains étant gros, la différence de rendu entre le 4K et la HD n'est pas très importante ; peut-être se serait-elle

davantage sentie avec de la neige fraîche aux cristaux plus petits et moins homogènes ?

De même avec l'encodage, je pensais voir apparaître des aberrations colorées avec les codecs de compression qui sous-échantillonnent la couleur, mais rien de vraiment flagrant n'a pu être observé. En revanche, une différence entre les niveaux des hautes lumières s'est révélée entre les codecs 4.4.4.4 et 4.2.2. Je ne sais pas trop comment expliquer cela, et il faudrait analyser plus profondément l'action de chaque codec pour mieux comprendre le phénomène.

C GESTION DES COULEURS :

Selon les étalonneurs avec lesquels j'ai pu échanger⁴¹ sur mon sujet, la principale difficulté liée à la neige est la question des fausses teintes, et du rendu du blanc. Comme nous l'avons vu, la neige est un matériau très sensible aux variations lumineuses. De plus, selon son axe d'exposition à la lumière, si elle est à l'ombre ou au soleil, elle n'aura pas exactement la même teinte. Ces variations, peu perceptibles à l'oeil, sont en revanche enregistrées par la caméra, et cela crée bien souvent des problèmes de raccord, par exemple dans des champs / contrechamps. Ainsi, la stratégie souvent adoptée par les étalonneurs est d'abord de se concentrer sur le raccord de la neige, avant de s'occuper des personnages, contrairement à ce qui se fait généralement.

Mes images tournées ne comportant aucune continuité narrative, je ne me suis pas heurtée directement à ces problèmes. Toutefois, pour me mettre face à la situation d'un éventuel défaut de balance, j'ai fait une série de prises en variant les réglages d'équilibre, jouant tantôt sur la

⁴¹ Il s'agit d'Alexandra Pocquet, Matthieu Leclerc, Karim El Katari et Florine Bel.

température de couleur, tantôt sur les curseurs de correction de couleur, censés gérer la proportion de vert et de magenta dans l'image. J'ai ensuite tenté de faire raccorder ces plans aux dominantes colorées différentes avec la référence choisie, le plan à 5600 K, en utilisant comme outil la roue chromatique des Lift, Gamma et Gain.



Figure 44: Roues chromatiques Lift, Gamma, Gain sur l'interface d'étalonnage

Mon plan test comporte des zones où la neige est au soleil et des zones où elle est à l'ombre. Pour commencer, j'ai fait raccorder la neige au soleil. Je n'ai pas eu trop de problèmes à y parvenir, les luminances sont telles qu'il est facile de toucher seulement la partie de courbe correspondante. En touchant le gain, on parvient vite à un résultat acceptable.

Le problème survient ensuite lorsque l'on souhaite faire raccorder la neige à l'ombre. Elle se situe à peu près au milieu du signal, et les réglages de gain influent aussi dessus. Or il y a un contraste coloré entre la neige au soleil, légèrement orangée, chaude, et la neige à l'ombre, dans des teintes bleues légèrement magenta. J'ai donc procédé à des aller-retours permanents entre les réglages de Gamma, impactant plutôt les moyennes valeurs, et les réglages de Gain.

Plus on s'éloignait de la température de référence, plus il était difficile de faire raccorder correctement les deux types de neige. Ainsi, le plan réglé initialement à 2600 K a été vraiment compliqué à raccorder avec la référence réglée à 5600 K, et je n'y suis d'ailleurs pas parvenue parfaitement. Les mêmes difficultés ont été rencontrées avec les réglages de correction de couleur (CC), et j'ai là aussi procédé à des aller-retours entre Gamma et Gain. Les ombres sont les plus difficiles à raccorder, et il reste toujours une légère différence à l'issue de mon étalonnage.



Figure 45: Plan test pour la variation d'équilibre coloré, contraste coloré entre ombre et lumière, PPM Neige

Je souhaitais aussi voir à partir de quand, lorsqu'on s'éloigne de la température d'équilibre, le gain à appliquer dans un canal ou l'autre rapporte du bruit de manière perceptible. Je n'ai pas spécialement observé le phénomène, néanmoins je suppose que la difficulté à raccorder les plans aux réglages les plus extrêmes vient aussi de cette différence de niveau initial entre les canaux.

J'ai conscience des limites de ce test, qui simule un défaut de balance sans être forcément conforme à la réalité d'une fausse teinte prise par la neige, qui pourrait n'impacter que celle au soleil par exemple. La différence de couleur entre deux plans ne serait plus un défaut d'équilibre global de

l'image mais bien un rapport de contraste coloré modifié entre les différentes zones de l'image.

Toutefois on peut conclure que, à part dans le cas d'une variation extrême d'équilibre coloré, il est relativement facile de faire raccorder la neige grâce aux outils numériques. Cette question des fausses teintes de la neige, très présente en argentique, semble donc moins importante en numérique, bien qu'elle mérite tout de même une grande vigilance de la part de l'opérateur.

Pour montrer les teintes que peut revêtir la neige en fonction de la lumière reçue, j'ai tourné une série de plans durant un coucher de soleil, en faisant varier l'exposition afin de voir si cela influait sur les couleurs. Pour l'étalonnage, j'avais d'abord adopté ma stratégie générale, en plaçant la Lut K0S0 en sortie et en étalonnant le signal Log. Les couleurs résultantes sur la neige au soleil étaient dans les tons roses, pourpres, ce qui lui donnait un aspect un peu irréaliste, et une esthétique « vidéo ».⁴² Pour pallier cet effet, et retrouver les couleurs originelles du signal Log, j'ai donc adopté une autre stratégie, celle d'étalonner directement le signal, sans Lut, avec les outils Lift, Gamma et Gain.

Grâce à la référence du rendu donné par la Lut, j'ai tenté de donner à mon image une gradation identique. Parvenue ainsi à un contraste satisfaisant, il ne restait qu'à augmenter légèrement la saturation des couleurs pour voir les teintes réelles du signal.

Il s'avère effectivement qu'il y a une différence notable entre cet étalonnage et celui fourni par la Lut, la neige apparaît non plus rose mais plutôt orangée, avec des nuances moins artificielles. Il faut donc être

⁴² Alexandra Pocquet, Entretien du 11 Avril 2017

particulièrement vigilant lorsque l'on utilise des Luts avec la neige, les nuances étant telles que l'on peut facilement voir s'opérer des bascules colorées indésirables.

CONCLUSION

La première partie de cette étude nous a permis de comprendre la neige en tant que phénomène physique. De sa formation à sa fonte, elle ne cesse de subir des métamorphoses qui font varier ses caractéristiques, façonnant un objet hautement hétérogène et relativement imprévisible. Composée d'une multitude de cristaux transparents de formes diverses, elle se présente, dans son interaction avec la lumière, comme un objet mixte au facteur de réflexion important.

Ses couleurs et ses contrastes dépendent en grande partie du rayonnement qui l'éclaire, son aspect est directement lié aux conditions météorologiques. Ainsi, elle se présente aux yeux de l'opérateur comme un sujet très changeant, pouvant présenter tantôt des très hauts contrastes, tantôt des à-plats uniformes. C'est en outre un sujet très lumineux, qui peut provoquer l'éblouissement.

L'étude des mécanismes de la vision nous permet de comprendre comment ce sujet si particulier est analysé puis interprété par notre cerveau. L'adaptation spontanée à une référence de blanc est un des processus que doit particulièrement garder à l'esprit l'opérateur. Il devra rester vigilant aux éventuels changements de qualité de lumière qu'il ne percevra pas mais auxquels la caméra sera sensible.

La deuxième étape de notre réflexion nous a permis d'appréhender l'appropriation cinématographique de la neige. L'analyse d'images significatives a montré une diversité de rendus possibles, chacun dans une esthétique et une sémantique propres. Les sensations ainsi fournies au spectateur peuvent aller de l'immersion à la distance ironique, en passant par la représentation plus onirique et la volonté de donner à voir la « belle » neige.

Le retour d'expérience des opérateurs fournit en outre un éclairage précieux sur les difficultés rencontrées, et les partis-pris techniques qui ont présidé à la réalisation des images. Il permet également de connaître les caractéristiques essentielles qui guident le choix du couple caméra/optique pendant la préparation, et met en avant l'importance des repérages et de l'anticipation dans ce genre de tournage.

Forts de tous ces enseignements, nous avons pu nous pencher en dernier lieu sur les détails du processus de fabrication de l'image de neige. Il s'agissait d'en comprendre les différentes étapes, de la captation du sujet à sa restitution sous forme d'image. En appliquant la rigueur de l'analyse sensimétrique issue de l'argentique à la caractérisation du capteur numérique, nous sommes parvenus à connaître son fonctionnement spécifique, et les distorsions qu'il peut induire par rapport à la perception visuelle.

Cette maîtrise est la condition d'un bon enregistrement des luminances et des couleurs du sujet. Nous avons choisi de poser la neige sur le haut de la courbe de réponse, afin d'avoir un maximum d'informations. L'étape de l'étalonnage nous a permis ensuite de renforcer encore la prégnance de

notre sujet, en lui redonnant sa texture et sa brillance via le travail ciblé de son contraste.

S'il reste encore beaucoup de questions en suspend, ce mémoire nous a permis de réaffirmer l'importance du travail de l'opérateur. Par son analyse des contrastes et des couleurs du sujet, par sa connaissance des images et par sa maîtrise de l'outil numérique, il est à même d'envisager toute la chaîne de fabrication de l'image, ayant alors tout le loisir de choisir un rendu approprié à la sensation qu'il souhaite procurer au spectateur.

La neige, dans sa complexité et sa multiplicité, apparaît comme un sujet difficile, mais à la richesse fabuleuse, porteur de grandes potentialités esthétiques et sémantiques. Grâce à notre étude, nous pouvons désormais la considérer non plus comme un décor gênant, voire un adversaire, mais bien comme une couleur supplémentaire à la palette de l'opérateur.

Gardons toutefois à l'esprit que, dans l'économie générale d'un film, le rendu de la neige sera aussi lié aux autres signifiants du récit. On pense particulièrement au son, qui peut rendre d'autant plus sensible sa texture et sa présence.

Conclusion

BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES TECHNIQUES:

- BARTEN Peter G. J., *Contrast Sensitivity of the Human Eye and Its Effects on Image Quality*, SPIE Optical Engineering Press, 1999
- BELLAÏCHE Philippe, *Les Secrets de l'Image Vidéo, 10^{ème} édition*, Eyrolles, Paris, 2015
- FOURNIER Jean-Louis, *La Sensitométrie, les sciences de l'image appliquées à la prise de vues cinématographiques*, Editions Dujarric, Paris, 2006
- SÈVE Robert, *Physique de la Couleur, de l'apparence colorée à la technique colorimétrique*, Masson, Paris, 1996
- ZUPPIROLI Libero, BUSSAC Marie-Noëlle – *Traité des couleurs*, presses polytechniques et universitaires romandes, 2011

OUVRAGES THÉMATIQUES :

- FERMINE Maxence, *Neige*, Editions Arléa, Janvier 1999
- LAMBERT Richard, *Lumières de Neige*, Editions Guérin, Chamonix, 2005
- LAVIN Matthias, *L'attrait de la Neige*, Yellow Now, 2015

DOCUMENTATION TECHNIQUE:

- ARRI, *Alexa Log C Curve - Usage in VFX*, référence manuel, 2012
- ARRI, *Arri Color Tool 1.4.0.1*, release notes, Septembre 2016
- APPLE, *Apple ProRes White Paper*, Juin 2014

THÈSES ET MÉMOIRES :

- ALEXANDROVA Evgenia, *Filmer l'Arctique, enjeux esthétiques et techniques*, Mémoire de fin d'études, La Fémis, 2016
- BRANTHOMME Aurélien, *Les Hautes Lumières et le Blanc*, Mémoire de fin d'études, ENS Louis Lumière, 2007
- BEL Florine, *Penser et Parler de la Couleur au Cinéma*, Mémoire de fin d'études, ENS Louis Lumière, 2016
- ERHEL Elena, *Les lumières de la Ville la Nuit*, Mémoire de fin d'études, ENS Louis Lumière, 2016
- LE BARH Laurène, *Les Hautes Lumières en Cinéma Numérique*, Mémoire de fin d'études, ENS Louis Lumière, 2014
- PATRON Olivier, *LaNuit extérieure Rurale, de la scène diurne à l'image nocturne*, Mémoire de fin d'études, ENS Louis Lumière, 2016
- PERREUX Loeiz, *La Pénombre, une histoire de Contrastes et de Couleurs*, Mémoire de fin d'études, ENS Louis Lumière, 2015

ARTICLES :

- GOLDMAN, M. « Left for Dead : Emmanuel Lubezki goes to the extrem », *American Cinematographer*, Janvier 2016, vol. 97, n°1, pp.36-53
- LIBBRECHT Kenneth, « La formation des cristaux de neige », *Pour la Science*, Février 2007, n°352, pp.32-39

ARTICLES ISSUS D'INTERNET :

- Dossiers de l'Association Nationale pour l'Etude de la Neige et des Avalanches :
 - *Les métamorphoses de la neige* ;
<http://www.anena.org/7158-les-metamorphoses-de-la-neige.htm>
 - *Observation pratique du manteau neigeux* ;
<http://www.anena.org/5938-nivologie-et-meteo.htm#par57022>
 - *Aide à la reconnaissance des grains de neige* ;

<http://www.arena.org/7022-aide-a-la-reconnaissance-des-grains-de-neige.htm>

- *Nivologie : connaissances de base ;*

<http://www.arena.org/5292-nivologie-connaissances-de-base.htm>

FILMOGRAPHIE

OEUVRES ÉTUDIÉES :

- ALEXANDROVA, Evgenia, *Svalbard*, France, 2016
- BETDEDER, Sébastien, *Le Voyage au Groenland*, France, 2016, 1h38 (98 minutes), Couleur, ratio 1.85:1
- COHEN, Joel & Ethan, *Fargo*, Etats-Unis, 1996, 1h38 (98 minutes), 35 mm, Couleur, ratio 1.85:1
- INARITU, Alejandro Gonzalez, *The Revenant*, Etats-Unis, 2015, 2h36 (156 minutes), Couleur, ratio 2.35:1

OEUVRES CITÉES :

- BETBEDER Sébastien, *Deux Automnes, Trois Hivers*, France, 2013, 1h33 (93 minutes), Couleur
- HAZANAVICIUS, Serge, *Tout Là-Haut*, France, sortie prévue en Décembre 2017, Long-métrage, Couleur
- JACQUET, Luc, *La Marche de l'Empereur*, France, 2005, 1h20 (80 minutes), 16mm (gonflé en 35mm), Couleur, ratio 1.85:1
- LONERGAN, Kenneth, *Manchester by the Sea*, Etats-Unis, 2016, 2h18 (138 minutes), Couleur
- PILOTE, Sébastien, *Le Vendeur*, Canada, 2011, 1h47 (107 minutes), Couleur

Tables des figures

Figure 1: Etoile de neige fraîche.....	25
Figure 2: Cristal en plaquette.....	25
Figure 3: Givre de surface.....	27
Figure 4: Schéma explicatif du phénomène de cohésion de frittage.....	31
Figure 5: Coupe d'un manteau neigeux.....	36
Figure 6: Neige vitrifiée.....	39
Figure 7: Les différents types d'objet.....	41
Figure 8: Schéma de l'Oeil Humain.....	49
Figure 9: Schéma de répartition des photorécepteurs rétiniens.....	51
Figure 10: Réseau de détermination de sensibilité au contraste. En abscisse la fréquence spatiale augmente, en ordonnée le contraste diminue.....	54
Figure 11: Courbes de sensibilité au contraste pour différents éclairagements rétiniens, en Td de 0,0009 à 900 en fonction de la fréquence spatiale (abscisse en cycles/deg et ordonnée 1/contraste minimum perceptible).....	55
Figure 12: Courbe d'efficacité visuelle relative humaine.....	59
Figure 13: Courbes de sensibilité spectrale des photorécepteurs humains.....	60
Figure 14: Photogrammes de The Revenant, séquence finale.....	69
Figure 15: Neige fraîche au soleil matinal, détails de texture, The Revenant.....	70
Figure 16: Texture et épaisseur de la neige par temps gris, The Revenant.....	71
Figure 17: Contraste coloré entre le sang et le reste de l'image, tout en nuances de gris, The Revenant.....	71
Figure 18: Motifs redondants à l'ouverture et à la résolution de Fargo.....	73
Figure 19: Neige terne, à la texture granuleuse un peu jaune, Fargo.....	73
Figure 20: composition géométrique, carrés noirs sur fond blanc, Fargo.....	74
Figure 21: eux d'ombre et lumière sur la neige sous un soleil rasant, Fargo.....	74
Figure 22: Jeux sur les formes et les échelles au crépuscule, Svalbard.....	77
Figure 23: eux de lumières et effets atmosphériques, Svalbard.....	77
Figure 24: Réflections colorées de la neige la nuit, Svalbard.....	78

Figure 25: Variations colorées sur le village de Kullorsuaq, Le Voyage au Groenland.....	80
Figure 26: Variation colorée au coucher de soleil, Le Voyage au Groenland.....	80
Figure 27: Partie de chasse, Le Voyage au Groenland.....	81
Figure 28: Index des false color Arri, Arri Pocket Guide.....	91
Figure 29: Gestion du flou d'arrière-plan dans un cadre serré, Svalbard.....	93
Figure 30: Représentation schématique d'une courbe de réponse numérique. .	104
Figure 31: Courbe de réponse de l'Arri Alexa, en logarithme.....	106
Figure 32: Courbe de réponse d'une pellicule négative argentique.....	109
Figure 33: Représentation schématique d'une différence de sensibilité sensitométrique entre deux capteurs.....	109
Figure 34: Modélisation de la matrice de Bayer et de son principe de fonctionnement ¹ Traduction par nos soins: Lumière incidente, Couche de filtre, Surface photosensible, Matrice résultante.....	112
Figure 35: Courbe de sensibilité spectrale de l'Arri Alexa	113
Figure 36: Courbe de réponse par canal, Arri Alexa.....	114
Figure 37: Courbe des canaux Rouge, Vert, Bleu de l'Alexa en fonction de la TC	115
Figure 38: Courbes d'encodage logarithmique de l'Alexa en fonction de la sensibilité ISO	118
Figure 39: Essai de keylight, contraste -1/0, partie pratique Neige, étalonnage sous MIST pour un espace Rec 709.....	124
Figure 40: Essai de keylight, contraste -2/+1, partie pratique Neige, étalonnage sous MIST pour un espace Rec 709.....	125
Figure 41: Variations d'angle d'incidence de la lumière solaire, Ø2.8, PPM Neige	126
FFigure 42: Variations d'angle d'incidence de la lumière solaire, Ø16, PPM Neige	126
Figure 43: Profil type d'une courbe sigmoïde.....	129
Figure 44: Roues chromatiques Lift, Gamma, Gain sur l'interface d'étalonnage. .	133
Figure 45: Plan test pour la variation d'équilibre coloré, contraste coloré entre ombre et lumière, PPM Neige.....	134

ANNEXE

ENS Louis-Lumière

La Cité du Cinéma – 20, rue Ampère BP 12 – 93213 La Plaine Saint-Denis

Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

Partie Pratique de Mémoire de master
Spécialité Cinéma, promotion 2014-2017
Soutenance de Juin 2017

Note d'intention préalable
Ariane LUÇON

Cette PPM fera partie du mémoire intitulé : **Le Rendu de la Neige Naturelle au Cinéma**

Directrice de mémoire : Sylvie CARCEDO
Président du jury cinéma et coordinateur des mémoires : David FAROULT

Sommaire

Note d'Intention.....	P2
Listes de Matériel.....	P6
Logistique.....	P8
Plan de Travail Indicatif.....	P9
Liste Technique.....	P10
Etude Economique.....	P11

Note d'intention

Le but de cette PPM est de produire une série d'images à même de mettre en avant les principales caractéristiques de la neige du point de vue de l'image animée. Qu'est ce qui fonctionne ? Quels sont les pièges à éviter ? Quelles sont les caractéristiques physiques de la neige dans son rapport à la lumière ? Comment éclairer sur fond enneigé ? Quelles sont les stratégies à adopter pour obtenir le rendu désiré ?

La neige est souvent représentée comme un élément froid, hostile et dangereux contre lequel les personnages sont en lutte, pour survivre (*The Revenant*), se déplacer (*Fargo*) ; un élément qui confine à l'isolement en précipitant l'action (*The Hateful Eight*), ou encore apparaît comme l'écran blanc, froid et immuable sur lequel les drames se jouent (*Le Vendeur*, *Manchester by the Sea*).

Or, dans mon expérience personnelle, la neige est plutôt vectrice de beauté et d'apaisement. Le silence ouaté et le froid qui l'accompagnent induisent une forme de repli intérieur, de calme, tandis que la pureté et la blancheur éclatante de la neige fraîche, alliées à la perspective sans fin procurée par l'absence de brume rendent des paysages familiers magiques et envoûtants.

À travers mes images, je souhaite donc aussi mettre en avant ces différentes possibilités de rendu, voir comment on peut filmer la neige de manière à la rendre dans toute sa beauté ou alors dans toute son hostilité, selon les besoins.

Pour mettre en lumière tous ces aspects, je compte réaliser plusieurs types de plans avec chacun un but bien précis. Ainsi, pour aborder la

question de la perspective, des couleurs et des contrastes de la neige, je compte réaliser des plans d'un même paysage ouvert avec des détails en arrière-plan (arbres, montagnes) dans des conditions de lumière différentes ; soit à des heures différentes de la journée (matin, midi, fin de journée, nuit) et sous des conditions météorologiques variées (soleil, nuages, jour blanc...).

Il conviendra de plus, pour explorer la question de l'influence de l'échantillonnage sur le rendu du blanc ainsi que pour tester le workflow, d'enregistrer un même plan avec des codecs différents (4.4.4.4, 4.2.2, 4.2.0).

De même, la résolution est un élément primordial, semble-t'il, dans la restitution de la neige, et bien que la caméra que j'emprunte (une Arri Amira) ne soit pas l'outil idéal pour bien marquer cela, je compte enregistrer des plans identiques à des résolutions différentes (3.2K, 2K et HD).

Le rendu de la neige selon sa texture est un autre élément important. Je compte donc faire des plans de différentes sortes de neige (fraîche, humide, soufflée, travaillée...) en m'efforçant d'avoir une lumière équivalente à chaque fois afin de n'avoir comme variable que la qualité de neige.

Constituée de cristaux, la neige ne réagit pas de la même manière selon l'angle de prise de vue et l'angle d'incidence de la lumière. Pour mettre cet élément en évidence je compte effectuer des plans en mouvement sur un paysage ensoleillé (panoramiques horizontaux et verticaux, travelling effectué à l'épaule).

Pour répondre à la question de l'exposition d'un personnage sur le fond blanc et réfléchissant qu'est la neige, je compte effectuer des essais de keylight avec des variations (orientation par rapport à la lumière solaire, rattrapage avec des réflecteurs ou avec un projecteur, etc...). De plus, la question du flare et de son influence est primordiale ici, et je compte faire un comparatif de son influence avec les deux optiques à ma disposition et à ouverture variée. Jusqu'où le flare diminue-t'il la définition de l'avant-plan?

Enfin, je souhaiterais effectuer quelques essais de composition de cadre, liés à la surface blanche uniforme que peut fournir la neige, en testant notamment les effets de perte des repères que l'absence de contraste peut induire, notamment en effectuant des plans avec une forte angulation (plongée et débullage) dans lesquels viendra évoluer un élément mobile (personnage ou panoramique qui dévoile un arbre par exemple).

En parallèle des images tournées, et dans un souci de mieux connaître les caractéristiques de la neige dans son rapport à la lumière, aux contrastes, aux couleurs, je relèverai avec soin les différentes mesures effectuées avec les appareils (spotmètre, cellule, thermocolorimètre) afin d'avoir une idée des niveaux de luminance et des couleurs de la neige selon les conditions de prise de vue. Ces mesures ne seront pas à proprement parler scientifiques et exhaustives, mais rendront compte de notre expérience à travers les outils de l'opérateur.

Toutes ces mesures ainsi que les plans tournés nécessiteront un travail d'analyse et de postproduction que je compte effectuer ensuite, en fonction également de l'avancée de mes recherches théoriques qui me permettront sans doute d'aller plus loin dans mes exigences. Ainsi, je n'exclus pas la

possibilité d'avoir à tourner d'autres plans que ceux évoqués ci-dessus, au fur et à mesure de ma réflexion.

Listes de Matériel

- **Matériel Emprunté:**

-Caméra Arri Amira SN 16220 + accessoires empruntée auprès de la société

ImageWorks

-Zoom 15-40 SN 2011725 prêté par la société Thalès Angénieux

-Zoom 45-120 SN 2065758 M prêté par la société Thalès Angénieux

-Support de Zoom en 15 mm prêté par la société Thalès Angénieux

- **Matériel de l'école:**

Accessoires Caméra	
1	Pare-Soleil 4x5,6 avec bague arrière diamètre 114 mm + portes-filtres 4x5,6 + pont 15 mm et 19 mm
1	Série de filtres ND 4x5,6 : ND3, ND6, ND9 et IRND9
1	Filtre polarisant rond
1	Tiges de 19 mm, 55 cm
1	Plaque de décentrement longue
1	Moteur de zoom diamètre 15 mm
1	Follow Focus diamètre 15 mm et 19 mm
1	Starlite Transvidéo + BNC
8	Batteries 12V V-Lock + Chargeur
Valise Assistant et Opérateur	
1	Thermocolorimètre
1	Spotmètre
1	Cellule
1	Verre de contraste
1	Charte de gris
1	Charte de couleurs
1	Ardoise d'identification

Machinerie et Electricité	
1	Pied Miller
1	Tête fluide Miller
1	Joker 400 HMI
1	Joker 800 HMI
4	Pieds de mille
6	Lignes mono 16 A
	Réflecteurs Divers
2	Borniol moyen modèle
2	Drapeau moyen modèle
	Gélatines de correction de couleur (no color straw, minus & magnus green)
	Diffusions (1/8, 1/4, 1/2, full)
Bijouterie et Consommables	
4	Rotule simple
2	Bras magique
4	Clamp
4	Gueuse
4	Sangle à cliquet
	Pinces à linge
	Cales diverses
1	Gaffer blanc (ou clair) 25 mm
1	Gaffer Noir 50 mm
Back-up	
1	Disque dur Navette compatible Mac + câble USB 3

Logistique

Parmi les différentes possibilités qui m'étaient offertes, et au vu du manque de neige dans le massif central, j'ai finalement décidé d'aller effectuer ce tournage dans les Alpes, dans les massifs qui entourent Grenoble. L'hébergement aura lieu chez mon frère, dans son appartement de 65 m carrés au 21, place de l'Ecluse, 38340, Voreppe. Nous rayonnerons tout autour en fonction de la météo et des paysages souhaités.

Concernant le transport du matériel, n'ayant pas encore deux ans de permis, je me suis heurtée à la difficulté de louer un petit utilitaire pour une période d'une semaine et une grande distance avec le budget qui m'est alloué. J'ai donc trouvé une solution alternative en utilisant le camion de la société de ma mère. Il s'agit d'un utilitaire Peugeot Boxer dont les caractéristiques précises et le certificat d'assurance me seront fournis d'ici jeudi. C'est un véhicule en tout point semblable à ceux que nous avons déjà utilisés lors des tournages en extérieurs de l'école, et que nous avons déjà eu l'occasion de conduire sans soucis.

Plan de Travail indicatif⁴³

Le matériel m'est prêté du jeudi 23 février au mercredi 1er mars, le tournage aura donc lieu à ces dates. Comme il y a beaucoup de trajet jusqu'au lieu de tournage, deux ou trois jours (selon les horaires de récupération et de rendu du matériel) seront consacrés au trajet. L'idée est de récupérer la caméra à Paris, de faire quelques tests de configuration avec les accessoires de l'école et de partir chercher les zooms au siège de Thalès Angénieux à St Héand, avant de se rendre au lieu d'hébergement.

-Jour 1: Prise en main du matériel, tests de configuration + tests de résolution et d'encodage

=> plans d'un paysage enneigé avec différents réglages d'enregistrement (codecs et résolution)

=> de même, tests d'enregistrement avec différents réglages ISO

-Jour 2: - Essais de Keylight: éclairer un visage en avant-plan sur fond enneigé avec différentes méthodes (rattrapage avec des réflecteurs, des projecteurs) et contrastes sujet (sculpter la lumière réfléchie à l'aide de drapeaux et borniols) + tests d'influence du flare à différentes ouvertures de diaphragme.

- Essais d'exposition: poser le sujet à différents points de la courbe de réponse de la caméra

=> Sujet haut contraste (plus de 14 EV) et sujet bas contraste (2 à 4 EV)

-Jour 3: Plans de neige en mouvements : panoramiques, travellings + prise de vues avec des angles différents + tests de déformation optique en faisant des cadres équivalents avec toutes les longueurs focales à ma disposition.

⁴³ Ce plan de travail n'est qu'indicatif, il est flexible et peut être modifié en fonction de la météo, des conditions de tournage rencontrées et d'éventuels désirs de plans supplémentaires qui pourraient venir de la pratique.

-Jour 4: Essais de composition de cadre avec jeu sur la perte des repères induite par la blancheur de la neige.

-Jour 5: jour qui dépendra du trajet, et que je me réserve pour des expérimentations supplémentaire en fonction des conclusions tirées au cours du tournage.

Liste Technique

Mon équipe est très réduite, composée de Quentin Bourdin comme premier assistant et de moi-même. J'aurais souhaité avoir un second assistant avec nous mais personne n'était disponible durant la période choisie.

Mon frère est la doublure lumière de mes essais de keylight.

Etude Economique

N'ayant ni frais de location de matériel ou de véhicule, mes seuls frais seront le coût du trajet et le défraiement de l'équipe.

Transport:

=> estimation à 300€ aller-retour pour le trajet Paris Voreppe via Saint-Héand

=> 100€ supplémentaire pour nos déplacements sur place et éventuelle location de chaînes si l'enneigement le nécessite.

Défraiement:

=> estimation à 140€ pour les 7 jours en comptant 10€ par jour et par personne

Total: 540€