

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

Mémoire de master

Spécialité cinéma, promotion 2012-2015

Soutenance de juin 2015

La pénombre, une histoire de contraste et de couleur

Loeiz PERREUX

Ce mémoire est accompagné de la partie pratique intitulée :

Le sujet pénombrial et son exposition

Directeur de mémoire : Alain SARLAT

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy PISANO

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier ici Alain Sarlat d'avoir accompagné ce travail de recherche, et cela jusqu'à la toute dernière minute. Merci à lui aussi pour son sens du partage de ses connaissances.

Merci à Giusy Pisano, Michel Coteret et Françoise Baranger, Didier Nové et Pierre Vormeringer.

Merci à Natacha Vlatkovic et Didier Grezes pour le prêt du Codex ayant servi à ma partie pratique de mémoire.

Je souhaite remercier aussi Raphael Auger, mon camarade de mémoire. Merci à Olivier Patron de s'être levé tôt deux samedis de suite pour m'aider à réaliser ma PPM. Merci à Pierrick Roland de m'avoir fait confiance pour éclairer son film.

Merci à Hervé Rabet, Amandine Schiltz, Marie Henry et Alexandra Picheta pour leurs soutiens durant cette longue période.

Merci à mes parents et mes sœurs pour leurs encouragements, relectures et nombreuses aides.

Merci à Elisa Nosal, la belle personne.

RÉSUMÉ

La pénombre n'est ni le jour, ni la nuit. Elle s'en distingue par les sensations singulières qu'elle nous procure de la couleur et du contraste. En empruntant à ces sensations, les images de cinéma deviennent un lieu de renouvellement de notre ressenti du sombre pour raconter des histoires. Comment les images de pénombre au cinéma métamorphosent-elles nos sensations du sombre par le travail de la couleur et du contraste ?

Pour y répondre, notre démarche nous mènera d'abord à étudier les caractéristiques quantitatives et qualitatives de la lumière de pénombre. Pour comprendre au mieux les sensations que cette lumière provoque, nous chercherons à comprendre les mécanismes qui nous font voir en situation de pénombre et en particulier les mécanismes de la vision en couleur.

Notre étude nous conduira alors à analyser les moyens mis en œuvre par les images de cinéma lorsqu'elles s'inspirent des sensations de pénombre. Cela nous amènera aussi à voir en quoi le contraste est un outil narratif à disposition du chef opérateur.

Finalement, nous chercherons à définir une stratégie d'exposition du sujet de pénombre au capteur numérique à partir de ses caractéristiques natives et des enseignements précédents. Ce sera alors l'occasion d'exposer les conclusions des tests menés pour la partie pratique de ce mémoire.

Mots clefs

Pénombre, Couleurs, Contraste, Vision, Exposition, Lumière, Numérique, Sensibilité

ABSTRACT

Twilight is neither day or night. Its singularity comes from the unique sensations it gives us toward colour and contrast. Borrowing from these sensations, cinematic images become a place of renewal for our experience of darkness, in order to narrate tales. How do images of twilight in films transform our sensations of darkness? through a work on colour and contrast?

In order to answer, we will first study quantitative and qualitative characteristics of twilight light. Aiming to analyse at best the sensations aroused by this particular light, we will seek to understand through which mechanisms we see in dim-light situations, and particularly those of vision in colour.

Our approach will then confront us to the analysis of the means implemented by cinematic images when they are inspired by twilight sensations. This will help us observe to which extend, contrast can be a narrative tool at the chief cameraman's disposal.

Finally, we shall try to design a strategy of exposure to the digital sensor for the dim-light subject, combining its inherent characteristics and the results of our researches, thus displaying the conclusions of the tests conducted in the practical section of this thesis.

Keywords

Twilight, Colour, Contrast, Vision, Exposure, Light, Digital, Sensibility

TABLE DES MATIÈRES

<i>Remerciements</i>	3
<i>Résumé</i>	4
<i>Abstract</i>	5
<i>Table des matières</i>	6
Introduction	9
<u>PARTIE 1 : SE REPÉRER DANS LA PÉNOMBRE</u>	13
CHAPITRE 1 : Les pénombres...	15
A. Le sujet pénombral	15
B. Vision pénombrale	16
CHAPITRE 2 : ... et ses couleurs	26
A. Le sujet coloré	26
B. Vision des couleurs	30
C. Sensation de couleur en pénombre	36
ENCADRÉ 1 : Caractéristiques qualitatives et quantitatives d'une lumière pénombrale et sensations pénombrales	41
<u>PARTIE 2 : LE SPECTATEUR ET LES IMAGES DE PÉNOMBRE</u>	42
CHAPITRE 1 : Le spectateur, la salle de cinéma, le contraste	44
A. L'environnement de vision des images : la salle de cinéma	44
B. Phénomène d'adaptation	46
C. Phénomène de contraste simultané et successif	50
D. Raconter des histoires de contraste	53

CHAPITRE 2 . EXT. PENOMBRE	55
A. Caractéristiques d'une image de pénombre d'extérieur	55
B. Une opération minimaliste	58
C. Le bleu et le sombre	62
D. La pénombre urbaine	64
CHAPITRE 3 : INT. PENOMBRE	68
A. Les caractéristiques de l'image pénombrale en décors intérieur	68
B. Rapport de masse	70
C. Sensation de couleurs	72
D. Aptitude au contraste	74
ENCADRÉ 2 : Caractéristiques de deux images types	76
<u>PARTIE 3 : FAIRE L'IMAGE DE PÉNOMBRE</u>	77
CHAPITRE 1 : L'oeil argentique et numérique	80
A. Courbe H&D	81
B. Sensibilité et Indice d'exposition	91
C. Sensibilité spectrale	94
D. Température d'équilibre	98
E. Devenir une image	99
CHAPITRE 2 : L'exposition du sujet pénombral	103
A. Stratégie d'exposition	103
B. Conséquences au tournage	106
C. Test sur l'image de pénombre extérieure	108
D. Test sur l'image de pénombre intérieure	112

Conclusion	116
Bibliographie	120
Filmographie	122
Tables des figures	123
Annexes	126
Dossier PPM	133

INTRODUCTION

La lumière, avant de s'incarner dans les images, prend vie dès l'écriture du scénario à travers une définition de l'effet lumineux de chacune des séquences : « jour », « nuit », rarement « pénombre ».

La pénombre est un état lumineux qui se définit par la négative. Elle est ce qui n'est ni le jour ni la nuit. C'est un état de flottement, un passage entre deux mondes. La pénombre, selon son étymologie latine *paene* et *umbra*, est ce qui est presque l'ombre, qui ne l'est pas encore ou qui ne l'est déjà plus.

La pénombre aurait pu être la nuit mais elle s'en distingue par la sensation de couleur qu'elle nous procure. Si la nuit est grise, la pénombre est une obscurité où la couleur prend une place toute particulière. La pénombre est le temps d'apparition et de disparition de la couleur à nos yeux.

La pénombre aurait pu être le jour mais elle s'en différencie par la sensation de contraste qu'elle produit. Le jour organise le monde par la lumière et son absence. Il oppose l'éclairé et le sombre. Il magnifie l'éclairé par l'ombre. Il produit du contraste. La pénombre nous offre du répit, avant et après le jour. La pénombre est un temps qui laisse le contraste s'exprimer autrement.

La pénombre est une histoire de couleur et de contraste. Seulement, cette histoire conté à nos yeux est éphémère. A peine est-elle arrivée, que voilà le jour ou la nuit qui prend sa place. Les images de cinéma deviennent alors un lieu d'expression de la pénombre. Elles se sont souvent inspirées des sensations pénombrales pour raconter des histoires, des histoires de couleurs et de contrastes. Les images pénombrales invitent le spectateur à vivre de nouvelles sensations du sombre. Comment les images de pénombre au cinéma métamorphosent nos sensations du sombre par le travail de la couleur et du contraste ?

Nous répondrons à cette question à travers ce mémoire en suivant une démarche de chef opérateur que nous voulons nous imposer comme méthode de travail.

Tout d'abord, nous observerons la pénombre réelle pour mieux s'y repérer. Après avoir posé quelques notions de photométrie, nous étudierons les caractéristiques quantitatives et qualitatives de la lumière pénombrale. Ce sera l'occasion de comprendre ce qu'est le contraste et pourquoi il est intéressant de l'étudier dans le cas d'une pénombre. Nous définirons alors ensuite ce qu'est la couleur et la place qu'elle prend lors d'une pénombre. Au fil de l'étude, nous élargirons notre définition de la pénombre en étudiant les autres formes qu'elle peut prendre en dehors la lumière pénombrale en extérieur. Cette première partie de notre démarche d'analyse de la pénombre par ses effets de lumière, de contraste et de couleur, ne saurait être complète sans une analyse de ce qui nous fait voir. Nous détournerons alors notre regard de la pénombre pour étudier les mécanismes physiologiques et neuronaux de notre vision pénombrale ainsi que de notre vision en couleur. Une première chaîne sera alors étudiée depuis le sujet de pénombre jusqu'à ce qui nous le donne à voir. L'ensemble nous aidera alors à comprendre les sensations singulières du sombre que nous procure la pénombre. En ayant vu, et en étant conscient de ce qui nous fait voir, nous pourrons appréhender plus librement l'acte de faire pour ensuite montrer.

Le temps sera venu ensuite de quitter le monde réel pour entrer dans une salle de cinéma. En reprenant les enseignements de notre étude physiologique, nous étudierons la manière de voir du spectateur dans l'environnement de vision de nos images. Nous nous pencherons en particulier sur trois phénomènes de notre vision : l'adaptation, le contraste simultané et le contraste successif. Ces traitements neuronaux de l'information participeront à notre compréhension des sensations visuelles. Ils seront surtout des arguments supplémentaire à l'idée que « raconter des histoires, c'est raconter des histoires de contraste »¹. Nous analyserons ensuite deux types de représentation cinématographiques de la pénombre : les images de pénombre extérieure et les images

1 ROUSSELOT, Philippe, *La sagesse du chef opérateur*,

de pénombre intérieure. L'idée est de voir ce que ces images empruntent et abandonnent des sensations pénombrales pour renouveler nos sensations du sombre au cinéma. Nous terminerons cette partie en établissant les caractéristiques de deux types d'images pénombrales, points de départ de nos tests et base de notre réflexion lors de la dernière partie.

Pour finir, nous prendrons le chemin des plateaux de cinéma. Après avoir analysé le sujet de pénombre et son utilisation dans les images de cinéma, posons nous la question de la conception de ces images de pénombre. Cette partie prendra appuie sur différents tests menés dans le cadre de la partie pratique de ce mémoire. Notre recherche se basera essentiellement sur la prise de vue numérique, majoritaire aujourd'hui dans la production cinématographique. Nous garderons en référence la prise de vue argentique pour conserver la rigueur d'analyse et comprendre les différences de méthodes de travail. Nous commencerons par étudier les caractéristiques natives de l'oeil argentique et numérique, l'émulsion et le capteur. Pour cela, nous interrogerons la courbe de réponse, la sensibilité, la sensibilité spectrale et la température d'équilibre du capteur. Après avoir tiré des résultats de la manière de voir du capteur, nous établirons une stratégie d'exposition de nos sujets de pénombre en cohérence avec la réponse du capteur. Nous appliquerons cette stratégie et les résultats précédents à deux tests de prise de vue. Pour cela nous reprendrons les caractéristiques des deux images types précédentes.

PARTIE 1

SE REPÉRER DANS LA PÉNOMBRE

L'objectif de cette première partie est de s'approprier les enjeux du sujet, de définir ce qu'est la pénombre, la couleur et de quelles manières nous y sommes sensibles.

Pour éclairer une scène au sein d'un film, le chef-opérateur se doit d'avoir exercé son regard en observant les effets de lumières naturelles et artificielles du monde qui l'entoure. C'est en passant par une étape d'analyse des caractéristiques photométriques et colorimétriques d'une scène réelle qu'il pourra déterminer une stratégie d'exposition et de reproduction de ces effets dans une scène à enregistrer par le capteur argentique ou numérique. Avec une bonne compréhension des mécanismes objectifs et subjectifs de notre vision, le chef-opérateur pourra aussi mieux interpréter nos sensations face à ces effets, nos sensations du sombre pour le cas qui nous intéresse. L'idée est de pouvoir éclaircir les zones d'ombres de notre compréhension des phénomènes liés à notre vision de la pénombre. Le but est de se repérer dans la pénombre pour être libre ensuite de la restituer au sein des images de cinéma, en la reproduisant ou la détournant, et de se servir de nos sensations vécues pour s'exprimer au sein des images de cinéma et partager des sensations aux spectateurs.

CHAPITRE 1 : Les pénombres...

La pénombre est un état lumineux qui se définit par la négative. Elle est ce qui n'est ni le jour ni la nuit. C'est un état de flottement, un passage entre deux mondes. La pénombre, selon son étymologie latine *paene* et *umbra*, est ce qui est presque l'ombre, qui ne l'est pas encore ou qui ne l'est déjà plus.

A. Le sujet pénombrial

Nous pouvons donc définir deux temps de pénombre dans une journée. Le premier est celui qui organise le passage du monde nocturne au monde diurne, c'est l'Aube ou crépuscule du matin. Elle commence avec les toutes premières lueurs de jour et se termine par le lever du soleil. Le deuxième temps organise le passage inverse, celui qui tend vers la nuit, c'est le Crépuscule qui commence au coucher du soleil et finit lorsque nous sommes plongés dans la nuit noire. La pénombre est un temps d'évolutions importantes et rapides. En moins de deux heures en moyenne, nous passons d'un état lumineux où le soleil est la source principale à un état où il a totalement disparu sous l'horizon (ou l'inverse). Les rayons du soleil sont déjà diffusés par les molécules de l'atmosphère. L'unique source lumineuse est alors le ciel qui s'éclaire avant le lever du soleil ou qui est encore éclairé après son coucher, avant de ne plus être du tout une source de lumière (ciel noir). La lumière de la pénombre est changeante et éphémère.

Les astronomes ont défini différents temps au sein des crépuscules et des aubes selon l'angle d'abaissement du soleil sous l'horizon, axe idéal déterminé comme étant la perpendiculaire à l'axe du zénith.

	Hauteur du centre du Soleil par rapport à l'horizon
Crépuscule civil Aube civile	de 0° à -6°
Crépuscule nautique Aube nautique	de -6° à -12°
Crépuscule astronomique Aube astronomique	de -12° à -18°

À la fin du crépuscule astronomique, le ciel s'est totalement obscurci et les étoiles les moins brillantes deviennent visibles : le temps de la nuit pleine commence.

La pénombre peut alors être caractérisée par la quantité et la qualité de sa lumière. Nous y sommes seulement éclairés par les rayonnements du ciel et leurs réflexions sur notre environnement. Les éclairagements E (lux) produits par ces sources sont très faibles. À l'aide d'une cellule photo-électrique en mesure incidente, un luxmètre en l'occurrence, on peut mesurer l'éclairement produit par le ciel au cours d'un crépuscule. Notons ici que lorsque nous parlons de crépuscule, la chose sera vraie dans l'ordre chronologique inverse pour l'aube. On estime alors que depuis le coucher du Soleil (abaissement de 0° par rapport à l'horizon) jusqu'à la nuit noire (abaissement de -18°), les ordres de grandeurs de l'éclairement varient de 10^2 lux à 10^{-4} lux.² Pour se donner un ordre d'idée pour la comparaison : une journée ensoleillée à midi se caractérise par un éclairement de l'ordre de 10^5 lux.

Dans la suite de notre étude, nous travaillerons surtout avec une autre donnée photométrique : la luminance L exprimée en cd.m^{-2} . On peut la définir comme l'éclairement de la source modulée par le facteur de réflexion R des objets.

² AREND, S, *Ciel et Terre, Décroissance de la lumière naturelle au cours du crépuscule*, 1937

$$\text{SOURCE (E) X OBJET (R) = SUJET (L)}$$

Les formules photométriques qui lient éclairage et luminance sont :

- pour un objet spéculaire : $L = E \times R$
- pour un objet lambertien : $L = \frac{E \times R}{\pi}$

On peut alors déterminer des luminances limites pour un état de pénombre. Plaçons nous dans le cas maximal où les objets sont des diffuseurs parfaits, avec un facteur de réflexion de 100%. On utilise donc :

$$L = \frac{E \times 1}{\pi}$$

Les ordres de grandeurs des luminances perçues pendant un crépuscule varient alors de 10^1 cd.m^{-2} jusqu'à $10^{-5} \text{ cd.m}^{-2}$.

Les rayonnements produits par le ciel, principale source de lumière d'une pénombre, sont le résultat d'une diffusion des rayonnements incidents du Soleil par les molécules de l'atmosphère. Cette diffusion a pour conséquence de disperser les rayonnements dans plusieurs directions. Le ciel de pénombre est donc une source étendue éclairant l'objet dans une pluralité de direction. On qualifiera alors la qualité de cette lumière de diffuse. Toute la surface de l'objet reçoit sensiblement le même éclairage. Cet éclairage diffus, large, et dominant la scène produit de fait de nombreuses réflexions sur l'environnement qui viennent à leur tour amplifier l'aspect homogénéisant de la lumière de pénombre. La géométrie de la lumière de pénombre peut assez bien s'apparenter alors à celle d'une lumière de jour brumeux. Elles se différencient surtout en terme de quantité. Cette parenté nous sera par la suite utile pour représenter une pénombre dans les images de cinéma.

Le premier effet de cette lumière diffuse est d'impacter la qualité des ombres. Le contraste éclairage C_E , rapport entre l'éclairage maximal et l'éclairage minimal reçu, tend donc vers 1 au cours d'un crépuscule. Les ombres y sont douces et disparaissent au fil de l'assombrissement du ciel. Le contraste sujet C_S , rapport entre la luminance maximale et la luminance minimal du sujet, équivaut alors au contraste objet C_O , rapport entre la réflexion maximale et la réflexion minimale de l'objet.

$$C_S = C_E \times C_O$$

$$\text{Ici,} \quad C_E \rightarrow 1$$

$$\frac{L_{max}}{L_{min}} = \frac{E_{max}}{E_{min}} \times \frac{R_{max}}{R_{min}}$$

$$C_S \rightarrow C_O$$

Le contraste objet maximale est le rapport entre le plus grand et le plus petit facteur de réflexion qui puisse être rencontré dans la nature. D'un côté, nous avons la neige avec un facteur de réflexion $R = 90\%$ et de l'autre, le velours noir avec un facteur de réflexion $R = 2\%$. Le contraste objet maximale est alors de 1 à 45. Le contraste sujet, qui tend ici à lui être égale, est alors assez faible en comparaison avec le contraste d'un sujet éclairé en partie par le Soleil, laissant une partie dans l'ombre, c'est-à-dire un sujet où le contraste éclairage est important.

La lumière de pénombre, du sombre sans ombre, tend à assimiler, à confondre à l'inverse de la lumière directive du jour qui contraste, oppose, sépare les éléments donnés à voir. Ici, seul le contraste constitutif des objets, dernier rempart avant l'homogénéité absolue du sujet, permet encore la distinction nécessaire à notre analyse visuelle.

Il convient mieux de parler de pénombres au pluriel. Tout d'abord, parce que c'est un état en mouvement et puis parce qu'il est tributaire du temps, du lieu, de l'époque... Un ciel couvert ne diffusera pas la lumière de la même manière qu'un ciel dégagé. L'éclairement reçu sera bien plus faible puisque la lumière émise par le Soleil sera plus réfracté par un ciel chargé de gouttes d'eau. La pollution modifie la composition de l'atmosphère et avec sa capacité à réfléchir la lumière. Nous sommes conscients aussi que selon notre position géographique sur la Terre, nous ne verrons pas les mêmes couchers et levers de soleil : les pénombres en seront donc physiquement différentes. Les temps des différents crépuscules ne seront pas les mêmes selon la latitude de notre position entre les pôles et l'équateur et selon le jour de l'année, période de révolution de la Terre, puisque la Terre est inclinée par rapport à l'orbite.

Enfin, puisqu'il s'agit ici d'observer la pénombre pour la comprendre, il me semble important de questionner la place laissée à la pénombre dans les espaces urbains où nous vivons. Le législateur s'est servi du découpage astronomique du crépuscule : l'éclairage public s'allume à la fin du crépuscule civil. Il vient contrer la lumière naturelle pour rehausser le niveau lumineux. Il a fallu du temps avant que Paris, par exemple, ne devienne la ville lumière qu'elle est aujourd'hui. L'éclairage public parisien a été en constante évolution depuis les trois chandelles au XIV^e siècle jusqu'au 90 000 sources lumineuses d'aujourd'hui. Cette chasse au sombre organisée par les pouvoirs publics, motivée par un besoin de sécurité et souvent par un objectif de baisse de la criminalité, a une influence importante sur la pénombre urbaine. À Los Angeles, les lampadaires au sodium qui éclairaient de petites zones d'une lumière faible et orangée tout en ménageant de grandes zones d'ombres sont en train d'être totalement remplacés par un éclairage à LED, une lumière étale, blanche et puissante qui supprime les ombres. Les artistes et cinéphiles ont tenté de faire classer au patrimoine cet éclairage public qui a participé à l'esthétique de nombreux films : « Ça foutait les jetons mais c'était beau. »³.

3 ARMATI, Lucas, *A Los Angeles, les films ne seront plus jamais noirs*, Télérama n°3369-3370, août 2014

Les pénombres urbaines pourront alors être variées en fonction du placement des sources, de leurs puissances, de leurs qualités et donc des réflexions qu'elles engendrent sur le sujet.

On pourra aussi parler de pénombre en intérieur dans certains. Nous y reviendrons plus longuement dans la seconde partie en nous appuyant sur l'analyse de images de cinéma. La sensation de pénombre alors n'est plus motivée par les mêmes caractéristiques qualitatives et quantitatives, du moins en partie. La partie sombre de l'intérieure répond aux caractéristiques pénombrable mais elle n'est perçue sombre que par rapport à une entrée de lumière puissante et directive. Cette source est alors une fenêtre, une porte qui ne produit un effet que sur une partie minime de la scène. La majeure partie du sujet (celle qui nous intéresse) n'est éclairée que par les réflexions sur l'environnement découlant de cette entrée de lumière. C'est alors par contraste que la partie sombre de la scène observée est perçue sombre et parce qu'elle n'est éclairée que par des réflexions que ce sujet retrouve les caractéristiques pénombrable (luminance faibles, lumière diffuse, absence de contraste éclairément, seule influence du contraste objet, ombres douces).

B. Vision pénombrable

Nous venons de définir la pénombre par des phénomènes externes à nous, un éclairément et un objet qui constituent un sujet dont nous percevons les luminances. Justement, cet état des lieux photométrique de la pénombre n'a pas de sens s'il n'est pas intimement conscient des mécanismes physiologiques et neuronaux de notre système de vision. De plus, nos sensations visuelles sont aussi le résultat de l'influence de codes, normes variant selon les cultures et époques, etc... : « la vision est tributaire de la pensée »⁴. Il semble alors nécessaire d'étudier les mécanismes de la vision ainsi que les phénomènes subjectifs qui influent sur notre perception lors d'une pénombre. Le chef-

4 FLOCON, A., TATON, R., *La Perspective*

opérateur a besoin d'avoir intégré, dans son analyse des lumières qui l'entourent, ces mécanismes objectifs et subjectifs de la perception autant pour comprendre les causes de nos sensations visuelles que pour les prendre en compte dans la conception des images qu'il va donner à voir aux spectateurs. Il faudra par contre s'en détacher au moment des choix d'exposition pour l'enregistrement. Il n'y a aucune raison pour que les capteurs et traitements argentiques et numériques *perçoivent* de la même manière que notre capteur-œil et les traitements du cerveau.

La face interne du globe oculaire est recouvert d'un tissu cellulaire formé de plusieurs strates qu'on appelle la rétine. Elle est composée de millions de photorécepteurs qui font d'elle l'organe photosensible de notre œil. Ces photorécepteurs, de deux sortes, les cônes et les bâtonnets, sont connectés à 800 000 fibres nerveuses réunies au sein du nerf optique pour transporter l'information jusqu'au cerveau.

Les cônes, 6 millions de cellules nommées ainsi à cause de leurs formes, sont regroupées sur un champs cellulaire très resserré autour de l'axe optique du globe, la zone fovéale. Plus on est proche du centre, plus la densité de cônes présents est importante. Les bâtonnets sont quant à eux entre 120 et 130 millions en périphérie de la rétine.

Ces deux sortes de photorécepteurs se distinguent surtout par leurs sensibilités. Les cônes sont sensibles à des luminances supérieures à un seuil compris entre 1 et 10 cd.m^{-2} jusqu'aux luminances trop puissantes (supérieures à 10^5 cd.m^{-2}) qui provoquent des lésions rétinienne. Les bâtonnets sont sensibles aux luminances très faibles. On a établi que les bâtonnets sont dix fois plus sensibles que les cônes. On a alors défini différents domaines de vision selon l'action des types de récepteurs :

- la vision photopique ou vision diurne où la perception est essentiellement basée sur la réponse des cônes. Cela correspond donc à des luminances perçues supérieures à 10 cd.m^{-2} .

- la vision scotopique ou vision nocturne où la perception est basée sur la sensibilité des bâtonnets uniquement. Nous serons dans ce cas lorsque les luminances perçues seront inférieures à 10^{-3} cd.m⁻².
- la vision mésopique ou vision crépusculaire. Ce domaine se définit donc pour des luminances perçues comprises entre 10 cd.m⁻² et 10^{-3} cd.m⁻². Ces niveaux de luminances stimulent à la fois les cônes et les bâtonnets. Le mésopique est donc un temps de transition où les deux mécanismes de la vision attachés aux deux types de photorécepteurs se mêlent.

La pénombre, telle que nous l'avons définie par ses valeurs caractéristiques d'éclaircissements et de luminances, fait appel en grande partie, aux cours de la diminution du niveau lumineux, à notre vision mésopique (*Figure 1*). Cette transition entre le monde diurne et le monde nocturne correspond donc aussi à une phase intermédiaire de notre vision, une étape de passage de relais entre l'action des cônes et celle des bâtonnets.

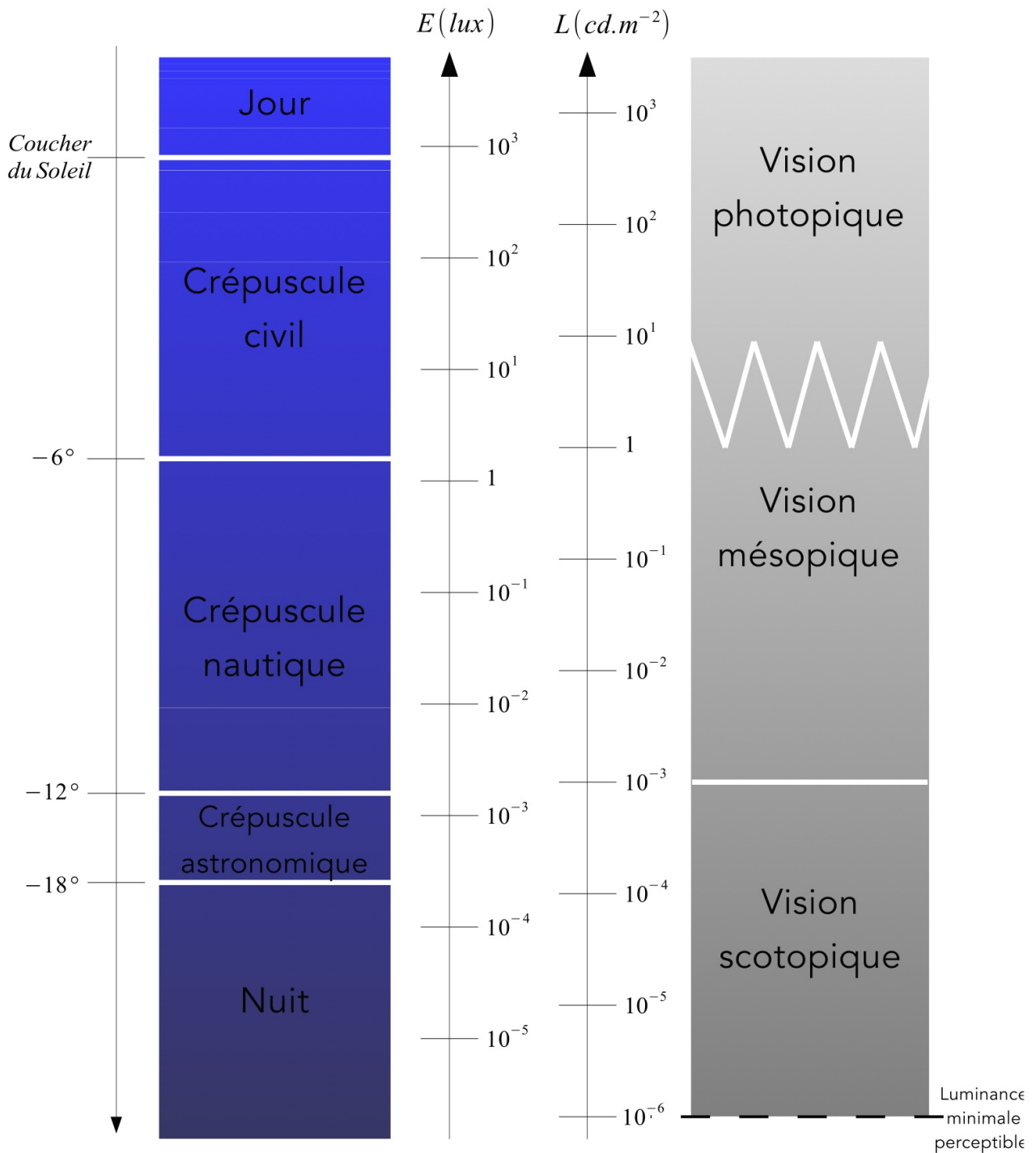


Figure 1 : Crépuscules et domaines de visions
 Valeurs d'éclairement pour un ciel dégagé.
 Correspondance avec l'échelle de luminance pour un diffuseur parfait ($R=1$).

Enfin, pour compléter ce que nous avons amorcé précédemment sur le contraste caractéristique d'une pénombre, arrêtons nous sur l'évolution de notre sensibilité au contraste au cours de ces différents domaines de la vision.

Une courbe de sensibilité au contraste exprime un seuil de contraste perceptible en fonction d'une fréquence spatiale (nombre de cycles par millimètre). Cette courbe délimite alors deux zones : celle du visible, des sujets pouvant être distingué et celle de l'invisible, ce qui n'est plus vu séparé. Ces courbes mesurent alors notre acuité visuelle. Cette sensibilité au contraste n'est pas constante, elle est déterminée par les champs récepteurs de notre rétine et donc par les deux types de photorécepteurs. Elle évolue au cours de la diminution des luminances perçues (*Figure 2*).

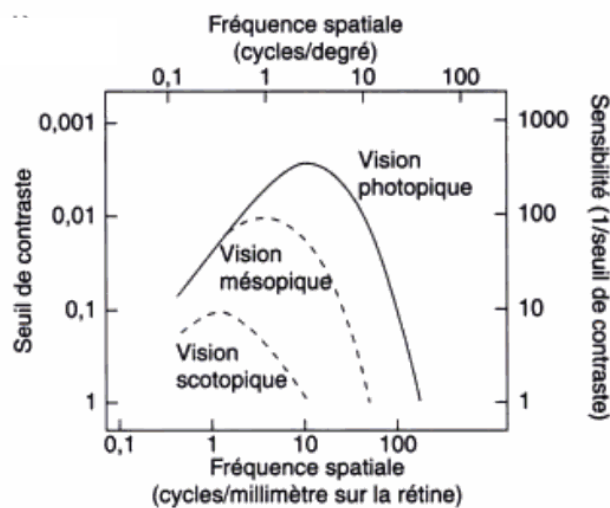


Figure 2 : Courbes de sensibilité au contraste en vision photopique, mésopique et scotopique

Notre sensibilité au contraste est la plus importante dans les conditions diurnes et cela en particulier dans un champ réduit autour de l'axe visuel. En vision scotopique, seul des éléments de taille importante et de contraste élevé pourront être distingué. Nous sommes alors peu sensibles aux détails. La sensibilité au contraste en vision mésopique se place naturellement à mi chemin entre les deux courbes précédentes.

En situation de pénombre, le contraste entre l'ombre et l'éclairé est bien trop faible et se place en dessous de notre seuil de perception du contraste en vision mésopique. Notre

sensibilité au contraste en pénombre accompagne la disparition des ombres et l'homogénéisation du sujet.

Nos deux types de photorécepteurs se différencient par leurs seuils de sensibilité aux luminances, leurs sensibilités au contraste, mais aussi de manière très significative sur leurs implications dans notre vision des couleurs.

CHAPITRE 2 : ... et ses couleurs

Comme pour notre définition de la pénombre, la couleur se définit par ce qu'elle n'est pas. Selon la définition du Vocabulaire International établi par la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), la couleur est un « caractère de l'apparence visuelle qui peut se distinguer du mouvement, de la forme ou des aspects de surface et dont on a appris à nommer les caractères distinctifs par un vocabulaire spécifique ».

La couleur est une sensation visuelle liée à des mécanismes de notre vision qui s'appuie sur des réalités physiques du sujet (éclairage modulé par la réflexion spectrale d'un objet). La colorimétrie entreprend donc de définir des modèles et des moyens d'études de la couleur prenant en compte des données physiques et objectives ainsi que des données psychophysiques et subjectives de notre système de perception (physiologie de l'oeil et mécanismes neuronaux). A cela, on peut rajouter les faits psychiques et sociaux qui influent sur notre vision des couleurs et que l'analyse colorimétrique n'a pas intégré.

Nous pouvons donc distinguer les différents acteurs de notre perception des couleurs : la couleur-source, la couleur-objet, la couleur-oeil/cerveau et la couleur-pensée. Cette décomposition est nécessaire pour analyser et comprendre notre perception de la couleur, et cela dans le but de se donner des repères dans notre tentative de connaissance des sensations visuelles de la couleur en situation de pénombre.

A. Le sujet coloré

Etudions tout d'abord la couleur du sujet externe à nos systèmes de vision. Elle est le résultat du phénomène lumineux de la source modulée par la matière de l'objet qui

réfléchit de manière sélective. La sensation de couleur est procurée de la même manière que la sensation de lumière expliquée précédemment.

La lumière, selon le modèle ondulatoire, peut s'étudier sous forme d'ondes électromagnétiques caractérisées par leurs longueurs d'onde, distance parcourue par l'onde pendant une période T . On se sert alors de la formule suivante pour classer les différentes ondes électromagnétiques dont fait partie la lumière dite « lumière visible » puisque correspondant aux longueurs d'ondes auxquelles l'oeil humain est sensible.

ν : fréquence (Hz)

λ : longueur d'onde (m)

c : vitesse de la lumière ($m.s^{-2}$)

$$\frac{1}{T} = \nu = \frac{c}{\lambda}$$

La lumière visible se définit alors par ses longueurs d'ondes limites : de 380 nm à 770 nm.

Les rayonnements de la source sont composés de différentes radiations monochromatiques, c'est-à-dire de plusieurs ondes de longueurs d'ondes différentes. Une lumière blanche par exemple est composée d'un mélange de différentes radiations monochromatique qui se donne alors à voir comme blanche. C'est le résultat de l'expérience de Newton qui en décomposant par un prisme une lumière blanche, obtint un étalement de rayonnements colorés et qu'il nomma spectre. Cette expérience démontra aussi la propriété inverse, la capacité par ce même spectre à recomposer une lumière blanche à partir d'un étalement de rayonnements colorés.

On peut donc connaître le spectre d'un rayonnement, c'est-à-dire la répartition des longueurs d'onde qui le composent. En mesurant la puissance d'un rayonnement en fonction des longueurs d'ondes de son spectre, on obtient la répartition spectrale d'une source. Cette courbe est celle que nous retiendrons dans notre analyse spectrale de la source du sujet (*Figure 3*)

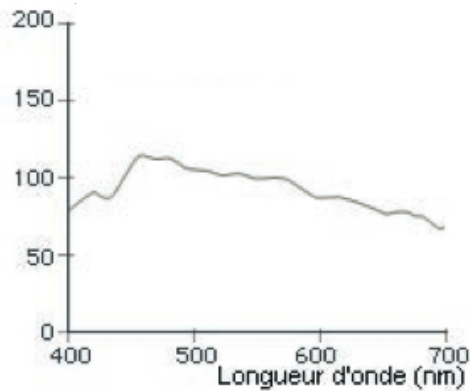


Figure 3 : Répartition spectrale d'une source particulière : illuminant D65

La matière de l'objet du sujet, sa capacité à réfléchir ou transmettre de manière sélective, va modifier les rayonnements de la source. L'objet va *soustraire* certaines radiations en totalité ou en partie du rayonnement initial de la source. La couleur perçue du sujet sera donc le résultat de cette division.

L'objet selon sa composition moléculaire, selon les pigments qui composent sa surface réfléchissante ou transparente, va plus moins réfléchir/transmettre certaines radiations de longueurs d'onde précises. On peut alors, pour terminer de définir les composantes spectrales du sujet, analyser et étudier les coefficients de transmission spectrique ou de réflexions spectriques de l'objet. Le coefficient de transmission spectrique est la représentation du facteur de transmission (rapport du flux de rayonnement transmis sur celui du rayonnement incident) pour chaque longueur d'onde du spectre. Le facteur de réflexion spectrique est la représentation du facteur de réflexion (rapport du flux de rayonnement réfléchi sur celui du rayonnement incident) pour chaque longueur d'onde du spectre (*Figure 4*).

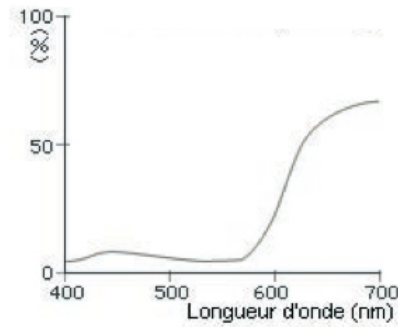


Figure 4 : Coefficient de réflexion spectrique $R(\lambda)$ d'un objet particulier, ici une pomme rouge

Avec les informations de distribution spectrale de la source et du coefficient de réflexion/transmission spectrique de l'objet, nous sommes alors en capacité de déterminer la composition spectrale des rayonnements du sujet reçue par l'oeil. On peut alors représenter la courbe de luminance spectrique du sujet, la luminance pour chaque longueur d'onde du spectre du rayonnement du sujet. En utilisant les courbes de la source particulière (Figure 3) et la courbe du de l'objet particulier (Figure 4), on obtient donc la courbe de luminance spectrique de ce sujet particulier (Figure 5).

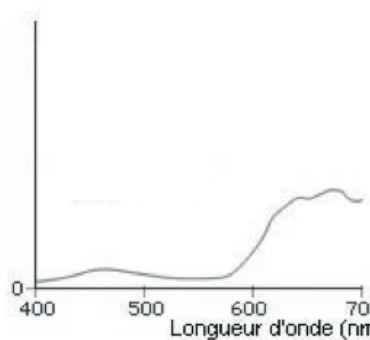


Figure 5 : Luminance spectrique du sujet exemple

La luminance spectrique du sujet, ce que nous appelions au départ couleur-sujet (couleur-source et couleur-objet), nous renseigne donc sur la couleur perçue du sujet étudié. Poursuivons maintenant notre cheminement, par ce qui est interne à nous : comment l'oeil et le cerveau voient la couleur d'un sujet.

B. Vision de la couleur

Au cours du 19^e siècle, deux théories de la vision de la couleur se sont affrontées et ont été en partie prouvées au siècle suivant par différents physiologistes et physiciens. La théorie contemporaine est celle du compromis des hypothèses et des résultats des deux précédentes.

La première théorie de la vision de couleur, appelée théorie trichromatique, s'appuie sur la thèse, émise par le physicien Thomas Young, d'une nécessaire trivariance chromatique de notre mécanisme de perception pour pouvoir voir en couleur. L'idée reprise et développée par le physiologiste Hermann von Helmholtz est donc que nous possédons forcément trois types de photorécepteurs sensibles à trois zones différentes du spectre et dont les pics d'efficacité lumineuse sont atteints pour des longueurs d'onde associées aux rouge, au vert et au bleu. Toute couleur perçue est alors fonction de ces trois réponses spectrales. La microspectrophotométrie a finalement apporté les preuves à cette théorie en mesurant l'absorption spectrale⁵ de chacun des pigments présents dans les cônes. Trois types de cônes ont alors été différenciés selon leurs photopigments : l'érythrolabe absorbe principalement les rouges avec un pic à 575nm, le chlorolabe absorbe les verts avec un pic à 540nm et le cyanolabe qui absorbe les bleus avec un pic à 440nm.

La seconde théorie est celle des processus antagonistes. Elle se base sur l'idée que la couleur perçue est fonction de quatre couleurs primaires agissant par paires : Rouge –

⁵ L'absorption spectrale est la capacité à absorber des luminances émises en fonction de la longueur d'onde du rayonnement

Vert d'une part et Jaune – Bleu d'autre part. Il n'existe pas de couleurs intermédiaire au Rouge et Vert ou au Bleu et Jaune : un bleu jaunâtre ou vert rougeâtre ne signifie rien. Chacune de ces primaires annule sa couleur antagoniste.

En 1957, les physiologistes Hurvich et Jameson étudièrent chez l'être humain la réponse à différents stimuli chromatique. La quantité de bleu dans un rayonnement est mesurée par la quantité de jaune à ajouter pour retirer toute teinte bleue par exemple. Ils ont alors exposé que notre vision des couleurs est dû à quatre cellules fonctionnant sur l'antagonisme entre deux couleurs primaires :

Rouge + / Vert -

Vert + / Rouge -

Jaune + / Bleu -

Bleu + / Jaune -

et deux cellules non-antagonistes agissant sur toutes les longueurs d'onde pour augmenter ou diminuer la réponse.

La théorie du compromis, admise aujourd'hui, reprend les résultats précédents en les affilant à deux temps de la perception des couleurs. Lors de la tranduction, les photons sont absorbés selon leurs longueurs d'onde par trois types de cônes : L, M et C. Les cônes C sont sensibles aux faibles longueurs d'ondes, les cônes M sont sensibles aux moyennes longueurs d'ondes, les cônes L sont sensibles aux grandes longueurs d'ondes (Figure 6).

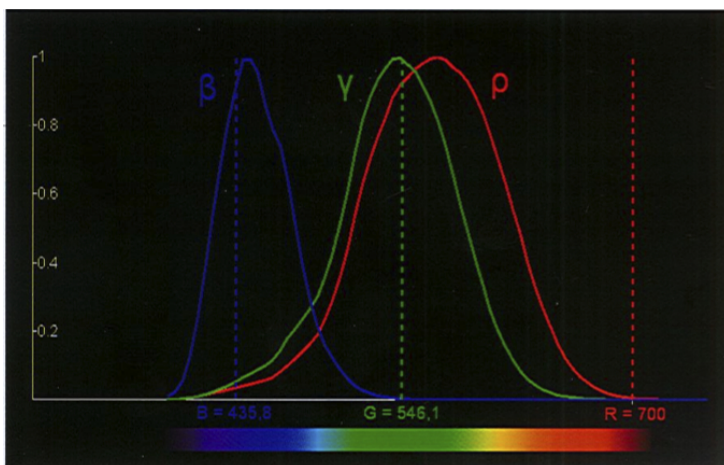


Figure 6 : Réponse spectrale des trois types de photopigments des cônes L, M et C

Ces trois photorécepteurs photopiques transmettent l'information aux cellules ganglionnaires par influx nerveux. Lors de la deuxième étape, l'information va activer ou inhiber six types de cellules. Quatre d'entre eux sont antagonistes : R+ V-, V+ R-, J+ B-, B+ J-, deux ne le sont pas : Blanc + Noir -, Noir + Blanc -. Prenons un exemple extrême, celui d'une excitation lumineuse par une raie monochromatique rouge. Seuls les cônes de type L y seront sensibles. La réponse activera les cellules R+ V- et inhibera les cellules V+ R-.

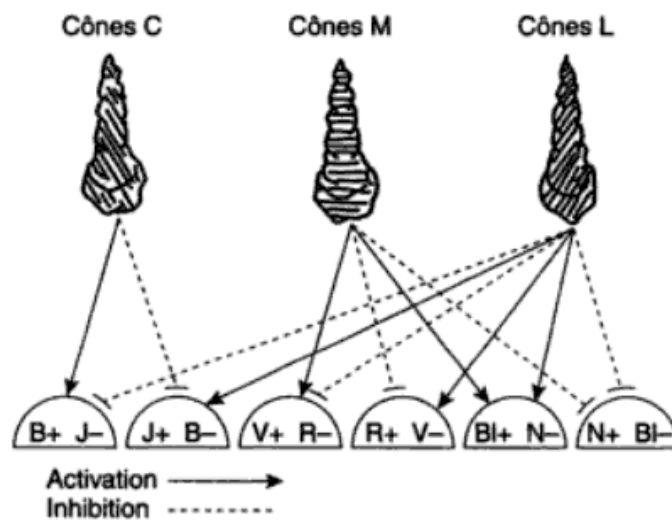


Figure 7 : Schéma du mécanisme de vision des couleurs

Les photorécepteurs de la vision scotopique, les bâtonnets, sont totalement absents de ces théories. Ils ne participent pas à la perception des couleurs. Une personne achromate par exemple est atteinte d'une pathologie qui rend les cônes inactifs. Le principal symptôme est de ne plus voir en couleurs : leurs mécanismes de la vision reposent uniquement sur la réponse des bâtonnets. En vision scotopique, le pigment photosensible des bâtonnets, la rhodopsine, est seul pour capter l'information. L'absence d'un autre type de pigment dans l'analyse de l'information empêche la transmission d'une information colorée. Sans une trivariance d'informations, sans une captation différenciée, les mécanismes de synthèses de l'information ne peuvent conduire à une information de couleur.

Il reste donc à déterminer une sorte de sensibilité spectrale de notre système de vision (transduction et cellules antagonistes), c'est-à-dire les variations de réponse selon les longueurs d'onde composantes du rayonnement du sujet . Pour cela, la colorimétrie a voulu se doter de modèles objectifs et universels pour inclure dans l'étude physique des couleurs les réponses spectrales des trois cônes ainsi que les processus antagonistes des traitements de notre cerveau.

Aux moyens d'expériences d'égalisation visuelle sur un champ réduit, des modèles ont été déterminé : la courbe d'efficacité lumineuse de l'oeil ainsi que trois fonctions de mélanges caractérisant l'Observateur Standard. La CIE utilise ces modèles issus de l'expérience pour déterminer trois données colorimétrique d'analyse et de définition de la couleur.

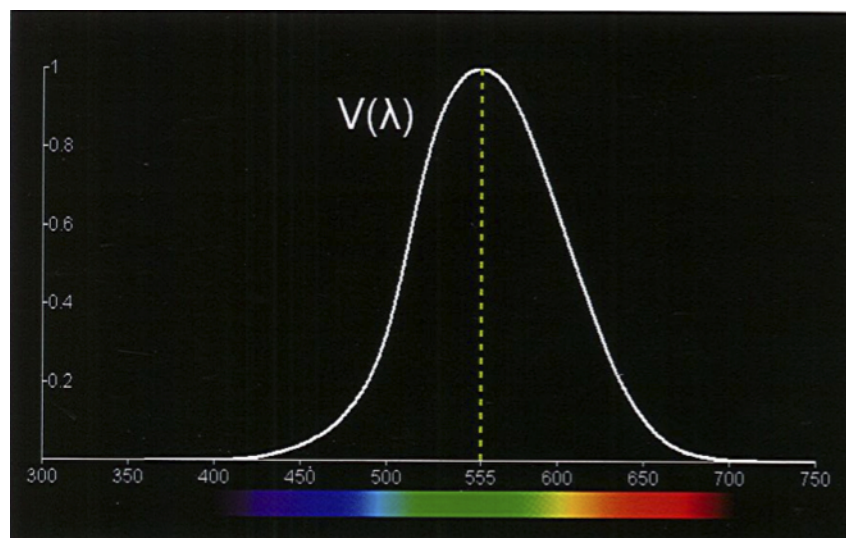


Figure 8 : Courbe d'efficacité lumineuse spectrale de l'oeil

La courbe d'efficacité lumineuse spectrale de l'oeil (*Figure 8*), $v(\lambda)$, a l'allure d'une gaussienne qui atteint son pic maximal pour une longueur d'onde $\lambda = 555$ nm. Notre système visuel pondère l'information spectrale qu'il reçoit par sa réponse spectrale. Cette courbe montre que notre système visuel est plus sensible aux moyennes longueurs d'ondes.

La colorimétrie a alors déterminé trois valeurs X, Y et Z pour définir une couleur.

Ces trois courbes prennent donc en compte la sensibilité spectrale de notre mécanisme de vision. Elles ré-affirment l'idée d'une tri-variance de l'analyse et de la synthèse des couleurs. Il n'y a besoin que de trois primaires pour capturer, reproduire et définir toute la multitude des couleurs. Ce ne sera pas Rouge, Vert et Bleu mais trois données de chromaticité : une information de luminance Y et deux informations de chrominance X (portant essentiellement sur les grandes longueurs d'onde) et Z (portant essentiellement les informations de courte longueur d'onde).

Ces trois primaires de chromaticité sont donc définies par trois intégrales mathématiques prenant en compte la composition spectrale de la source, la réflectance/transmittance spectrale de l'objet, et la réponse spectrale des photorécepteurs et des traitements neuronaux (à travers les fonctions de mélange de l'Observateur Standard).

$$X = K \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot d(\lambda)$$

$$Y = K \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot d(\lambda)$$

$$Z = K \int S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot d(\lambda)$$

Ces trois composantes de chromaticité constitue la base de la colorimétrie, ce sur quoi s'appuient les différents modèles de représentation.

Le modèle de l'Observateur Standard ainsi que la courbe d'efficacité lumineuse spectrale ont été déterminé pour un angle de champ inférieur à 4°. Ils sont donc valable pour une vision photopique seulement, cela ne prend pas en compte la sensibilité spectrale des bâtonnets.

Pour remédier à ce manque, un Observateur supplémentaire a été déterminé et cela pour un angle de champ de 10°. Pour ce qui est de l'efficacité lumineuse spectrale, nous allons voir un peu plus loin, ce qui se passe en dehors de la vision photopique.

Enfin, nous avons établi trois attributs de perception pour définir une sensation de couleur :

- la clarté : une échelle de luminance relative par rapport à un diffuseur parfait éclairé dans les mêmes conditions. Cette échelle est logarithmique et bornée des deux côtés, ce qui fait d'elle une échelle psychométrique (fidèle à notre perception). Selon la loi psychophysique de Weber et Fechner, nous ne sommes pas sensible à une excitation mais à son logarithme. Cette échelle s'exprime donc de 0 à 100 et variera du foncé au pâle.
- la chroma : le degré de pureté d'une couleur. Son échelle de variation ira donc de l'achromatisme au chromatisme, du gris neutre à la couleur pure.
- la teinte : les différences de tonalité des couleurs selon leurs longueurs d'onde

Ces trois dimensions de la couleur peuvent trouver une représentation visuelle dans un solide en forme de fuseau (*Figure 10*)

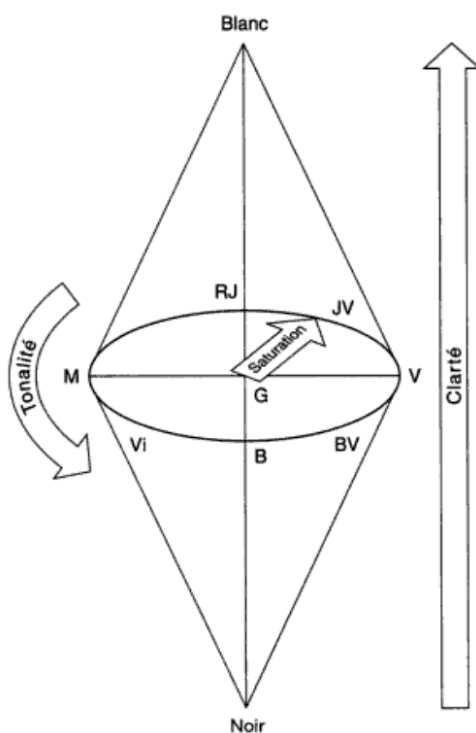


Figure 10 : Représentation des trois dimensions de définition d'une couleur :

- la clarté : échelle perpendiculaire à la surface du cercle
- la teinte : angle du cercle
- la chroma : variation du centre du cercle à son bord

On comprend bien alors qu'une variation importante de clarté appliqué à une couleur de chroma importante aura forcément pour conséquence d'influer sur sa pureté de départ.

Nous venons de faire un tour de certaines des bases de la colorimétrie et de plusieurs outils et vocabulaires qui vont nous être utiles au cours de notre étude. Venons en maintenant à la vision de la couleur dans le cas particulier d'un crépuscule ou d'une aube.

C. Sensation de couleur en pénombre

Un crépuscule, nous l'avons dit, se caractérise par l'angle d'abaissement du Soleil sous l'horizon. Le rayonnement large et diffus du ciel provient de la diffraction du rayonnement du Soleil par les molécules de l'atmosphère. Cette diffraction est sélective, elle est beaucoup plus importante pour les courtes longueurs d'onde. C'est alors ce qui explique que l'on voit le ciel bleu en journée. Ce phénomène est appelé diffusion de Rayleigh du nom du physicien qui l'a découvert. Lorsque le Soleil est proche de l'horizon, son rayonnement traverse une plus grande partie de l'atmosphère, il rencontre donc plus de molécules de l'air et cette diffraction est alors plus forte. Après le coucher du Soleil, nous ne sommes plus qu'éclairé par le ciel. Une pénombre peut alors se caractériser par la distribution spectrale de son éclairage bien différent de la répartition spectrale du rayonnement diurne. Pour connaître ce spectre et surtout son évolution lors de la pénombre, nous avons réalisé une série de mesure à l'aube et au crépuscule dans le cadre de la partie pratique de ce mémoire. Nous reportons ici une partie de résultats, la représentation de l'évolution de la distribution spectrale du rayonnement du ciel lors de l'aube testée. Le principe du test, son protocole et une analyse plus poussée des résultats se trouve en Annexe 1, page 126.

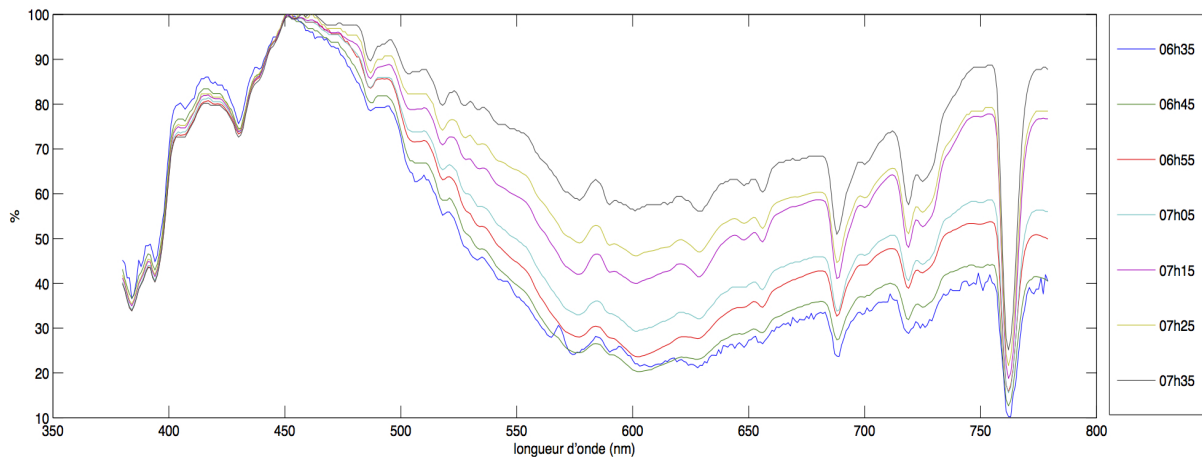


Figure 11 : Evolution de la distribution spectrale des rayonnements du ciel au cours d'une aube. Chaque courbe est espacé de 10 minutes entre 06h35 et 07h35. Les résultats ont été normalisés et sont alors exprimés en pourcentage en fonction de la longueur d'onde (de 380nm à 780nm).

L'effet de diffusion de Rayleigh au cours de la pénombre produit donc des spectres déséquilibrés en faveur des courtes longueurs d'onde. Ici, entre 06h35 et 07h35, le spectre de départ extrêmement creusé dans les moyennes et longues longueurs d'ondes se ré-enrichit pour retrouver finalement l'équilibre de la composition spectrale diurne. On note aussi que cette évolution spectrale se fait très rapidement. Cette composition spectrale particulière explique alors en partie la couleur bleue associée à la pénombre dans nos sensations visuelles communes. En effet, quelque soit la réflectance spectrale d'un objet, la luminance spectrale du sujet sera elle aussi faible pour des longueurs d'ondes moyennes (responsables des teintes vertes du sujet) et longues (responsables des teintes rouges). Ici, c'est bien la source et sa distribution spectrale qui contraignent. Un sujet en situation de pénombre peut alors aussi se caractériser par tendance à la monochromie bleutée. C'est en cela que la question de la couleur semble pertinente pour étudier la pénombre.

La pénombre urbaine et la pénombre d'intérieure sont plus complexes à étudier d'un point de vue des couleurs qu'elle donne à voir. Les distributions spectrales des sources éclairant le sujet pénombrial peuvent être diverses. Dans le cas des pénombres

urbaines, ces sources peuvent ne pas être équilibrées ou être composées de quelques raies seulement (radiations monochromatiques). Les ombres sont aussi éclairées et donc teintées par les réflexions de sources colorées de l'espace urbain : les tubes fluorescents des enseignes lumineuses, les feux de signalisations, les phares de voitures, etc.. L'éclairage urbain au sodium par exemple possède un spectre de raie qui est dû à la physique de l'émission de ces radiations qui sont alors monochromatique (orange). Les luminances spectrales du sujet en crépuscule urbain sont alors très variées selon les spectres des sources qui participent à l'éclairage et le sujet est alors souvent très coloré de diverses teintes. Dans le cas de la pénombre d'intérieure, la problématique est la même. Une multitude de possibilités existent selon la distribution spectrale de la source qui se trouve derrière l'entrée de lumière.

Nous l'avons vu, les luminances propre à la pénombre nous place dans le domaine de la vision mésopique, transition physiologique entre deux mécanismes de notre vision. Notre système de vision passent alors lentement d'une vision de la couleur permise par une tri-variance de l'information à une vision scotopique où la vision de la couleur n'est plus permise. Notre vision mésopique profite des deux types de photorécepteurs. Les cônes répondent encore et le temps de la pénombre, nous percevons encore la couleur. Seulement les bâtonnets participent à notre vision et vont pouvoir influencer sur cette vision en couleur. La pénombre est alors notre dernier temps de vision en couleur avant la vision achromate de la nuit.

Enfin, nous avons évoqué le fait que la courbe d'efficacité de l'oeil prise en compte dans les calculs colorimétriques était vraie dans des conditions de vision diurne. En effet ce pic maximal d'efficacité pour une longueur d'onde moyenne correspond bien à la combinaison des absorptions des trois types de cônes. Le phénomène de Purkinje découvert en 1825 énonce que la courbe d'efficacité de l'oeil se déplace en fonction de l'action des différents photorécepteurs. La sensibilité spectrale des cônes et des

bâtonnets n'est pas la même.

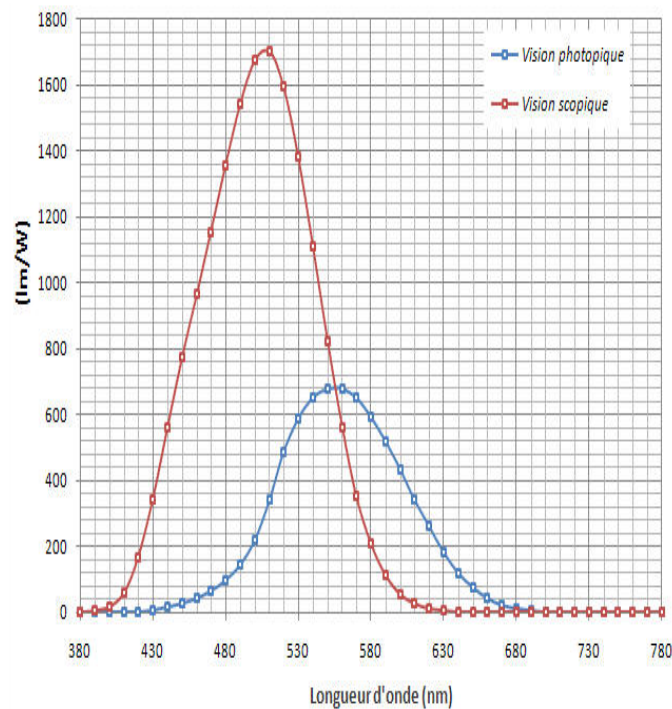


Figure 12 : Déplacement de la courbe d'efficacité de l'oeil

La courbe d'efficacité de l'oeil en vision scotopique atteint son pic maximal pour une longueur d'onde $\lambda = 507$ nm.

Au cours d'une pénombre, nous sommes donc de plus en plus sensibles aux luminances spectrales de faibles longueurs d'onde. Un sujet rouge nous paraîtra plus dense qu'un sujet bleu alors que les niveaux de luminances perçues seront identiques. On peut aussi noter que ce déplacement de courbe d'efficacité de l'oeil correspond avec la composition spectrale de l'éclairage diffus du ciel lors d'un crépuscule. La conclusion pourrait être que le hasard fait décidément bien les choses. Les théories de l'évolution nous conduisent plutôt à penser que notre mécanisme de la vision s'est adapté aux réalités physiques et spectrales des luminances d'une pénombre pour nous permettre de continuer à voir, à nous déplacer en sécurité dans notre environnement.

La vision crépusculaire est donc le temps de passage d'une vision de la couleur à une vision achromatique. Les luminances caractéristiques d'une pénombre nous placent

donc dans un entre-deux où les cônes sont encore sensibles, où la vision des couleurs est toujours permise, bien que s'amenuisant petit à petit. C'est alors bien sur des questions de perceptions des couleurs que la pénombre se distingue de la nuit et de son achromatisme (« la nuit, tous les chats sont gris »).

La pénombre, en plus d'être liée d'une manière particulière à la couleur par les sujets qu'elle donne à voir, fait aussi appel à une perception des couleurs qui lui est propre. Nos sensations visuelles du sombre sont donc étroitement liées à des sensations de couleurs.

ENCADRÉ 1 : Caractéristiques qualitatives et quantitatives d'une lumière pénombrale et sensations pénombrales

Source

Le ciel, source large, diffuseur des rayonnements du Soleil passé sous l'horizon

Quantité

Eclairement : de 10^2 lux à 10^{-4} lux

Luminance : de 10^1 cd.m⁻² à 10^{-5} cd.m⁻²

$$C_E = 1$$

$$C_s = C_o \rightarrow \text{contraste faible}$$

Qualité

Lumière diffuse

Ombres douces

Spectre lumineux déséquilibré en faveur des courtes longueurs d'onde

Dominante bleue

Domaine de vision et sensations

Mésopique

Transition entre la réponse des cônes et des bâtonnets, entre une vision chromatique et achromatique

Diminution de la sensibilité au contraste

Baisse de l'acuité visuelle

Déplacement de l'efficacité lumineuse vers les courtes longueurs d'onde

PARTIE 2

LE SPECTATEUR

ET LES IMAGES DE PÉNOMBRE

Après cette première partie d'étude des sensations visuelles de la lumière et de la couleur lors d'une pénombre, il nous faut éloigner notre regard de la pénombre du monde réel pour le tourner vers les écrans et les images de cinéma. Les mises en scènes cinématographiques ont su se saisir de l'esthétique de la pénombre, s'inspirer des sensations qu'elle procure pour les mettre au service de la narration. De *Days of Heaven* à *Grand Budapest Hotel*, les réalisateurs et chef-opérateurs ont travaillé une esthétique du sombre pour susciter des émotions et servir une narration. En repartant de notre définition quantitative et qualitative de la lumière de pénombre, ainsi que des sensations visuelles produites par des sujets pénombraux, étudions les représentations cinématographiques du sombre. Etudions ce qu'elles empruntent et abandonnent de ces sensations pour les renouveler et composer de nouvelles formes de l'obscurité au cinéma. A travers cette étude, nous nous demanderons comment et dans quel but les images de cinéma métamorphosent nos sensations du sombre. Pour cela, nous classerons les images selon deux catégories : les images pénombrales d'extérieur et les images de pénombre d'intérieur. Les films étudiés ici sont en grande majorité ceux qui ont motivés le choix du sujet de ce mémoire. Sans être représentatifs de toute la production cinématographique, ils tentent d'exprimer une diversité d'époque, de réalisateur, de chef-opérateur, de support d'enregistrement. Ces films sont :

The Grand Budapest Hotel, réalisé par Wes Anderson en 2014 et éclairé par Robert D. Yeoman. Prise de vue argentique.

Holy Motors, réalisé par Léos Carax en 2012 et éclairé par Caroline Champetier. Prise de vue numérique.

Days of Heaven (Les Moissons du ciel), réalisé par Terrence Malick en 1978 et éclairé par Néstor Almendros. Prise de vue argentique.

Taxi Driver, réalisé par Martin Scorsese en 1976 et éclairé par Michael Chapman. Prise de vue argentique.

Melancholia, réalisé par Lars Von Trier et éclairé par Manuel Alberto Claro. Numérique.

CHAPITRE 1 : Le spectateur, la salle de cinéma, le contraste

Mais avant de commencer cette analyse, prenons la place du spectateur dans la salle de cinéma. La première partie de ce mémoire nous en a convaincu, les mécanismes de la vision sont complexes et sujets à de multiples paramètres. Etudions alors, en préambule de l'analyse cinématographique, certains phénomènes de la perception comme l'adaptation à l'obscurité, le contraste simultané et le contraste successifs, ainsi que l'environnement de vision de ces images, la salle de cinéma. Ce sera surtout l'occasion de comprendre l'importance de la question du contraste pour analyser ensuite les images pénombrales.

A. L'environnement de vision des images : la salle de cinéma

Se mettre à la place du spectateur, c'est d'abord se mettre réellement à la place qu'il occupera dans la salle de cinéma pour voir les images de pénombre. Nous l'avons vu précédemment, notre vision est tributaire de notre environnement lumineux (les différents domaines de vision, les différents types de photorécepteurs). Des façons de « bien » voir un film ont alors été établies, des normes de projections ont vu le jour. Pour être homologuées, les salles de cinéma se doivent de respecter la norme AFNOR NF S27-100 établie par la CST, Commission Supérieure Technique de l'image et du son. Cette norme « Salle de projection électronique de type Cinéma Numérique » reprend les recommandations techniques définies par le DCI, Digital Cinema Initiatives⁶, en y ajoutant des tolérances. Elle énonce un certain nombre de spécifications techniques, des valeurs normalisées ainsi que des seuils de tolérance sur la luminance, le contraste, la résolution, la colorimétrie, la cadence, etc pour une projection de cinéma numérique. Le tableau ci-dessous reprend les valeurs qui nous intéressent ici pour comprendre dans quel domaine

⁶ Le DCI est une réunion de producteurs et distributeurs de cinéma américain visant à l'uniformisation des projections de cinéma numérique en énonçant des spécifications techniques à respecter

de notre vision une projection nous fait travailler.

La luminance du blanc 100% d'une image projetée est alors normalisé à la valeur de 48 cd.m². Le contraste séquentiel, c'est-à-dire le rapport de luminance entre le blanc émis par l'image projetée et issu de la valeur maximale du code numérique du système et le noir répondant aux mêmes conditions, et cela en considérant les valeurs de toutes les images, est normalisé à 1:1200.

On peut alors définir les valeurs limites des luminances perçues face aux images d'un film projetées dans une salle de cinéma.

$$L_{min} = \frac{L_{max}}{Contraste} = \frac{48}{1200} = 0,04 \text{ cd.m}^{-2}$$

Si on se reporte à la *Figure 1*⁷, ces luminances limites perçues par le spectateur le placent dans un domaine de vision comprenant le bas du photopique et le haut mésopique. L'image projeté au centre de notre champ de vision va donc pouvoir stimuler les cônes de la zone fovéale de la rétine. La vision des couleurs est évidemment permise par ces luminances, le contraire aurait été problématique.

L'environnement lumineux autour de l'écran est très faible et tend à faire disparaître tout le hors écran dans le noir complet pour concentrer notre attention sur l'image. Les salles s'équipent de telle manière que les réflexions des rayonnements de l'écran dans la salle soient minimales. La capacité de réflexion des matériaux utilisés pour recouvrir les murs ou les sièges est quasi nulle. Le choix presque systématique de la couleur rouge s'explique par le phénomène de Purkinje expliqué précédemment. Les éléments du mobilier de la salle nous paraîtront alors encore plus sombre.

Tout ce qui est dans notre champ de vision en dehors de l'écran nous paraît aussi plus sombre par contraste avec le niveau lumineux de l'écran. Les fortes luminances de l'image qui conduisent à une réponse des cônes, empêche en même temps une réponse des bâtonnets qui pourrait nous permettre de mieux voir dans les zones sombre de la

⁷ Figure 1, p.24

salle. Nous l'avons vu, les bâtonnets ont une sensibilité bien plus importante que les cônes. Ils vont donc être stimulés par l'éclairement du projecteur modulé par la réflexion importante de l'écran. Seulement, ces fortes luminances produisent en quelque sorte un éblouissement des bâtonnets. Leur réponse est saturée. Le cerveau reçoit une information qui ne module pas et il ne la prend pas en compte. Les cônes eux ne sont pas assez sensibles pour être stimulés par les faibles luminances des zones sombres.

Notons alors que lorsque une image sombre sans aucune valeur élevée est projetée, le risque est alors que la réponse des bâtonnets ne soit plus saturée, qu'elle soit prise en compte. Le hors-écran devient alors plus visible, le spectateur peut à nouveau discerner les éléments de la salle et son regard n'est plus autant attiré par l'écran.

B. Phénomène d'adaptation

Depuis la rétine jusqu'au cortex, nos sensations visuelles sont le résultat de divers mécanismes d'accommodation et de correction multiples. Les capacités de captation et de traitement de l'information sont loin d'être immuables, nous l'avons vu déjà à travers les différentes sensibilités des photorécepteurs. Analysons maintenant quelques phénomènes importants de la perception du spectateur face aux images de pénombre.

Notre vision a la capacité de s'adapter aux luminances perçues, c'est-à-dire se déplacer d'un domaine de vision à l'autre (photopique – mésopique – scotopique) et d'adopter alors les caractéristiques qui lui sont liées (sensibilité au contraste, vision des couleurs, efficacité lumineuse, etc...). Ce déplacement est déterminé par la valeur la plus haute de luminance de l'image perçue par nos yeux.

Elle va d'abord influencer sur l'iris qui va nous permettre de contrôler la quantité de lumière arrivant sur la rétine en laissant plus ou moins ouvert notre pupille. C'est en quelque sorte un diaphragme dont l'ouverture va pouvoir varier de 2 à 8mm et ainsi réduire la quantité

lumineuse dans un rapport de 1 à 16 pour l'optimiser à la sensibilité des photorécepteurs. Ce premier facteur de l'adaptation est donc antérieur à la captation et n'a pas d'autre effets sur notre vision que de permettre l'accommodation, les autres caractéristiques en restent donc inchangées.

Une fois révisée (ou non) par l'iris, la valeur la plus haute de luminance va stimuler les photorécepteurs et engendrer ou non une réponse de leur part selon leurs sensibilités. Nous le savons, trois cas existent : le domaine photopique où les cônes répondent et où la réponse saturée des bâtonnets n'est pas prise en compte, le domaine mésopique où le niveau de luminance est tel que la réponse des bâtonnets module déjà alors que les cônes sont encore stimulés, et enfin la vision scotopique où seuls les bâtonnets répondent. On peut se référer à la Partie 1 du mémoire pour se rappeler les valeurs de luminances qui engendre ces différents niveaux de stimulation et de réponse. Ce sera bien la valeur la plus haute de l'image qui définira dans lequel de ces domaines travaillera notre vision. Cela revient à dire que notre vision pose pour les hautes lumières, pour reprendre des termes de stratégie d'exposition. C'est la limite haute de luminance qui sert de référence à l'oeil pour éviter l'éblouissement et accommoder sa vision grâce à l'iris d'abord et aux photorécepteurs ensuite.

La question qu'il reste à poser est celle du temps de cette adaptation, de ce déplacement d'un domaine à l'autre. Une expérience a été menée pour le déterminer et deux courbes en résultent pour chacun des types de photorécepteurs (*Figure 13*).

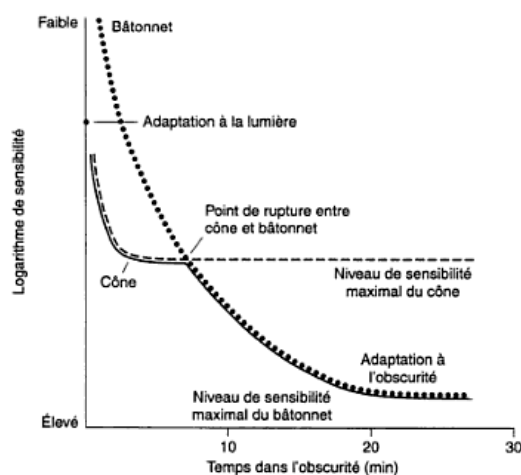


Figure 13 : Courbes d'adaptation de notre système visuel à l'obscurité

Pour cela, les personnes testées ont été plongées dans l'obscurité totale, leurs visions s'est alors adaptées au fur et à mesure.

En moins de 10 minutes, les cônes atteignent la limite de leur adaptation, c'est-à-dire leur seuil maximal de sensibilité avec la pupille la plus ouverte possible. Les bâtonnets, beaucoup plus sensibles, atteignent le niveau de sensibilité maximal en 30 minutes.

A l'opposé de ces temps longs, l'adaptation de la pupille est un réflexe physiologique plus rapide, de l'ordre d'un dixième de seconde.

Nous l'avons vu, les normes de projections permettent de placer le spectateur dans le bas de son domaine photopique. Nous savons l'importance de maintenir le spectateur dans un domaine (photopique ou haut mésopique) où ce sont majoritairement les cônes qui sont stimulés. En effet, permettre la vision par la réponse des trois types de cônes, c'est assurer une vision de bonne qualité : vision des chromaticités, efficacité lumineuse constante, meilleure sensibilité au contraste et donc meilleure acuité visuelle.

Empêcher l'adaptation, c'est aussi un moyen de s'assurer que la sensibilité du système visuel du spectateur soit à peu près stable au long du film. Il semble évident que si la manière de voir du spectateur variait au cours des séquences, une même valeur de luminance ou un même rapport de luminances d'un plan A pourraient être perçus différemment dans un plan B où le système visuel aurait changé considérablement de sensibilité.

Dans le cas qui nous intéresse, cela pourrait en effet être extrêmement problématique. Si les cônes du spectateur s'adaptent à une image sombre de faible contraste sans valeur haute, cette image sera perçue de plus en plus claire. Les sensations procurées au spectateur ne seront plus au fur et à mesure celles choisies par le chef-opérateur et l'étalonneur.

Risquer cette adaptation des cônes du spectateur, cette augmentation de la sensibilité de son système visuel, c'est l'exposer à une meilleure visibilité du bruit argentique ou numérique, fluctuations de luminances d'un point de l'image à l'autre parasitant

l'homogénéité d'une zone de l'image, qui est souvent présent physiquement dans les images sombres du fait de choix d'exposition ou d'étalonnage trop extrêmes. En argentique, on différencie la granularité, bruit photographique physique, de la granulation, sensation psychophysiologique au bruit. Si les cônes s'adaptent aux faibles luminances d'une image sombre bruitée, la granulation augmente puisque les cônes ont une très bonne acuité visuelle. Bien que dépendant de la granularité de l'image, la granulation peut être quasi nulle chez le spectateur. Si le plan est en mouvement, s'il y a des mouvement dans le plan et enfin si les cônes ne s'adaptent pas, la granulation diminue puisque les cônes n'ont pas le temps et la possibilité d'être sensible aux valeurs sombres de l'image où se trouve le bruit.

Plusieurs moyens sont à disposition du chef-operateur pour bloquer l'adaptation du spectateur s'il le souhaite.

Tout d'abord, nous l'avons vu, l'adaptation des photorécepteurs n'est pas instantanée. Si la séquence de pénombre sans luminance élevée dure peut de temps à l'écran, et si les images précédentes en contenaient, l'adaptation n'aura pas le temps d'avoir lieu et l'image restera sombre pour le spectateur.

Dans le cas d'une séquence longue de pénombre, d'autres solutions peuvent s'offrent au chef-opérateur.

La présence d'un point lumineux dans l'image peut suffire à maintenir la pupille du spectateur fermée et donc à bloquer le phénomène d'adaptation des photorécepteurs. Ce point lumineux peut se manifester par des spéculaires dans l'image obtenus par un jeu avec des objets brillants, les phares d'une voiture, un lampadaire, etc...

L'étalonneur peut modifier l'étalonnage de la séquence au cours du temps pour aller à l'encontre de l'adaptation. En assombrissant les images au même rythme que l'augmentation de sensibilité des cônes, la sensation du sombre pourra rester constante chez le spectateur. Cela doit évidemment être assez lent et très doux pour rester invisible au spectateur.

On peut aussi imaginer de laisser le spectateur s'adapter à l'image sombre pour produire d'autres sensations. Nous le verrons après avec les effets du contraste successif.

Cela nous amène aussi à noter que l'étalonneur d'une séquence de pénombre doit être conscient de son propre phénomène d'adaptation lorsqu'il travaille sur des images sombre. En effet, il n'est pas rare, que l'étalonneur, contrairement au spectateur, reste plus longtemps face à des images qu'il travaille. Laisser ses photorécepteurs s'adapter peut avoir un effet pervers et engendrer des modifications d'étalonnage qui ne fonctionnent plus une fois le film visionné dans son temps réel.

C. Phénomène de contraste simultané et contraste successif

Parmi les phénomènes de notre perception lié à notre sensation de la lumière, intéressons nous maintenant à celui du contraste simultané. Notre système visuel ne se contente pas de transmettre les informations de luminances perçues telle qu'elles sont physiquement. Il traite l'information, la corrige pour optimiser notre vision. Une zone de telle luminance sera perçue différemment selon l'environnement lumineux. La *Figure 14* met bien en évidence ce phénomène. La mesure physique énonce que les deux carrés du centre sont identiques. Pourtant, nous le percevons plus clair quand il est entouré d'une zone sombre et plus sombre quand il est entouré d'une claire.



Figure 14 : Les deux carrés du centre identiques physiquement (même densité) sont vus plus ou moins sombre selon leur environnement

Notre système visuelle a donc tendance à amplifier les différences entre différentes zones de luminances perçues. Cela est bien évidemment dépendant d'abord de notre sensibilité au contraste, différente selon le domaine de vision dans lequel on se trouve, mais les traitements neuronaux de l'information vont accentuer les contrastes pour améliorer encore notre acuité visuelle et nous permettre de mieux distinguer les éléments qui nous entourent. Comme tous les phénomènes de notre perception, l'amplification du contraste simultanée répond à un besoin pratique de mieux voir pour appréhender plus efficacement le réel autour de nous. Ce phénomène correspond aussi à ce que nous avons vu plus haut pour la salle de projection où notre système visuel accroît les différences de luminances entre l'écran et les éléments de la salle hors-écran.

Cette accentuation du contraste lors d'une juxtaposition de plages de luminances différentes a aussi été démontré par l'effet des bandes de Mach (*Figure 15*) mis en évidence par le physicien Ernst Mach au 19^e siècle.



Figure 15 : Bandes de Mach

Chacune des six plages est uniforme. Pourtant, à la jonction entre deux plages, des bandes apparaissent et donnent la sensation d'un dégradé au sein de chaque plage. Proche de la frontière, du côté de plage de clarté basse apparaît une bande plus sombre encore et du côté de la plage de clarté plus importante apparaît une bande plus claire encore. Cela a pour conséquence d'accroître le contraste localement entre les deux

plages et cela renforce donc la sensation de dissociation des deux éléments.

Cela s'explique par un phénomène physiologique au moment du traitement de l'information reçue par les photorécepteurs. Lorsque des photorécepteurs sont stimulés par une zone de luminance, il inhibera la réponse des photorécepteurs voisins pour améliorer l'acuité visuelle. Sur les bandes Mach, l'effet devient vraiment visible. Les photorécepteurs stimulés par la zone de clarté plus élevée vont inhiber les photorécepteurs voisins qui sont stimulés par la plage sombre. La réponse inhibée de ces derniers engendrera alors une bande plus sombre à la frontière. Les photorécepteurs stimulés par le milieu des bandes sont en partie inhibés de toute part. La réponse des photorécepteurs stimulée du côté clair ne reçoit une inhibition que d'un côté et cela crée alors une bande plus claire à la frontière. Ainsi, notre système visuel corrige l'information pour accentuer des différences. Notons, en forme d'aparté, que le principe de ce phénomène physiologique a été repris en argentique par les effets de bords ou en vidéo par la correction de contours.

Si le contraste réel entre les éléments est faible ou si les éléments sont trop petits, si en somme la sensibilité au contraste ne nous permet plus de distinguer ces éléments, l'inhibition n'aura pas non plus d'effet. Les deux zones contrastant peu ou de trop petites tailles, notre vision aura tendance à ne plus les distinguer, à homogénéiser les zones. Si on réduit les contrastes entre chaque bande dans la *Figure 15* ou si l'on réduit leur taille, le phénomène des bandes de Mach n'aura plus lieu et nous ne différencierons plus les plages, notre système visuel nous donnera l'information d'un dégradé très lent sans coupe. C'est ce qui peut être le cas dans une image de pénombre avec des éléments peu contrastés. Dans un plan d'ensemble, un arbre sans feuille légèrement éclairé avec derrière lui un ciel assez sombre pourrait se mêler au fond, ne plus être distingué du ciel par l'œil du spectateur. La composition du cadre, les choix d'éclairages de la scène par le chef-opérateur doivent donc toujours prendre en compte ces questions de mise en relation d'éléments selon leurs tailles et leurs contrastes.

Enfin, après avoir intégré les effets de l'adaptation pupillaire et rétinienne et de la recherche du contraste, le chef-opérateur doit aussi être conscient des effets du contraste successif sur le spectateur. Quelle séquence précède la séquence de pénombre et quelle séquence lui succède ? Plus précisément, on doit se demander pour chacun des plans, quel est le précédent et le suivant. Chaque image conditionne en quelque sorte notre sensation face à la suivante. Les choix d'exposition et d'étalonnage doivent donc intégrer pleinement le futur montage prévu par le réalisateur. Nous l'avons dit, une séquence assez claire précède une image de pénombre peut suffire à éviter l'adaptation. Une même séquence de pénombre nous paraîtra forcément plus sombre par contraste si elle est précédée d'une séquence de plein jour que si elle est précédée par une séquence déjà très sombre. Le chef-opérateur peut ainsi jouer encore une fois avec les mécanismes de la perception de son spectateur, en particulier avec son adaptation pupillaire en contraste successif. Il peut par exemple choquer la vision du spectateur en jouant du contraste successif entre une séquence de pénombre et une image très lumineuse qui éblouira un temps le spectateur avant que le réflexe pupillaire n'ait lieu. À l'inverse, il peut prendre en compte ces questions de contrastes successifs et s'assurer de rendre confortable chacune des coupes pour l'amener lentement d'une image très claire à une image très sombre.

D. Raconter des histoires de contrastes

Les phénomènes de contraste simultané et successifs que nous venons d'étudier nous conduisent à considérer le contraste comme le point déterminant de notre vision et donc de celle du spectateur face aux images de cinéma. Le chef-opérateur Philippe Rousselot explique que « raconter une histoire, c'est également raconter des histoires de contrastes »⁸. Penser le contraste comme un des éléments clés de la narration par l'image, c'est effectivement avoir conscience que le contraste est d'abord un élément clé de nos mécanismes de vision. Le contraste stimule notre œil, crée de la profondeur et de la

⁸ ROUSSELOT, Philippe, *La sagesse du chef-opérateur*, p.49

rondeur à la scène. Nous l'avons vu, notre système visuel fait tout pour l'amplifier, pour éviter finalement de se retrouver face à une masse grise où rien ne se détache, où plus rien n'est discernable. Il demande des différences et les accentue par les mécanismes d'inhibition et de fonctionnements antagonistes. Il recherche le contraste, c'est-à-dire des repères qui sont synonymes de confort et de sécurité. On a bien conscience qu'un univers sans contraste, le plus extrême étant un brouillard complet, est inquiétant, nous fait perdre nos repères nécessaires à notre compréhension du monde et à notre déplacement en son sein. Il en est finalement de même dans les images. Le chef-opérateur peut donc aussi jouer avec ce besoin de la vision du spectateur, le satisfaire ou le contrarier pour provoquer des sensations différentes. Travailler le contraste d'une zone particulière, peut permettre d'y attirer l'attention du spectateur pour la détourner d'une autre par exemple. Finalement, le contraste doit être au centre de notre analyse des images de pénombre. Nous le verrons dans la troisième partie, le contraste sera logiquement le paramètre fondamental de nos stratégies d'exposition à la prise de vue.

CHAPITRE 2 : EXT. PÉNOMBRE

Pour commencer notre analyse des images de pénombre au cinéma, reprenons les caractéristiques quantitatives et qualitatives d'une lumière pénombrale. Si nous nous plaçons dans une démarche purement photoréaliste de reproduction au pied de la lettre des effets naturels de cette lumière et des sensations qu'elle procure à son observateur, quelle image de pénombre produirions nous ?

Cette image serait d'une dynamique très faible, sans aucune valeur haute de luminance et sans ombre. Ce devrait être une image très peu contrastée. Elle serait monochrome et peu saturée. De plus, elle serait très peu résolue pour respecter notre faible acuité visuelle. Le risque d'une reproduction de ces sensations au pied de la lettre est alors de produire des images plates, des « images laides » selon Rousselot.

Une représentation cinématographique d'une pénombre, même la plus respectueuse de ses effets de lumières et de nos sensations, s'inscrit dans une démarche d'abandon et d'emprunt. Toute la question est de réussir à mettre en adéquation croyance en l'image de pénombre pour servir la narration et liberté du travail des composantes de l'image pour métamorphoser nos sensations du sombre.

A. Caractéristiques d'une image de pénombre d'extérieure

Prenons pour point de départ une image de pénombre d'extérieure assez respectueuse des effets et des sensations décrites au cours de la première partie. Cette image est issue de *Melancholia* (Figure 16).



Figure 16 : Photographie issue de Melancholia.

Pour ce qui est de l'effet de lumière, nous retrouvons les caractéristiques qualitatives d'une pénombre naturelle. Le personnage et le décors ne sont éclairés que par une seule et même source, large et diffuse, qui peut s'apparenter au ciel de pénombre. Tout l'espace de l'image nous est donné à voir sous la même lumière, de manière uniforme. Le résultat est une image sombre sans ombre. Le visage de Charlotte Gainsbourg ne se détache pas particulièrement du reste de l'image. On retrouve aussi une légère teinte bleue sur toute l'image.

A partir d'un histogramme en clarté de cette image, analysons ensuite ses caractéristiques quantitatives (Figure 17).

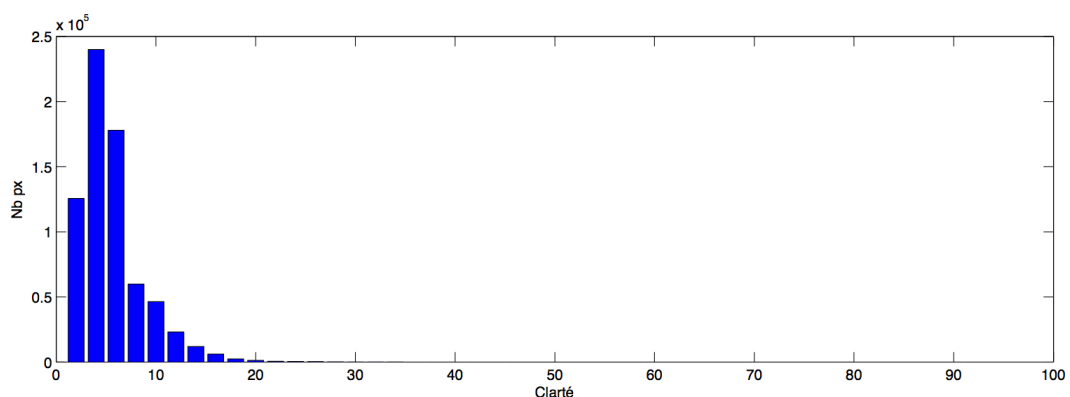


Figure 17 : Histogramme en clarté du photogramme précédent (Figure 16)

L'image de Melancholia est extrêmement sombre : la plus haute valeur de l'image ne

dépasse pas les 25% de l'échelle de clarté. Surtout sa dynamique, le contraste des luminances de l'image, est très faible. Toute l'image est contenue dans un écart de valeur assez maigre (1/5^e de l'échelle de clarté). Cela correspond bien au très faible contraste d'un sujet pénombrial que nous avons expliqué précédemment.

La faible dynamique de l'image, la tendance à la monochromie et l'aspect très sombre de l'image participent à nous procurer une sensation assez proche de celle vécu en situation pénombre. La faiblesse des contrastes locaux, en plus de contribuer à la sensation d'uniformité de l'image, place le spectateur dans une sensation assez proche de la perte d'acuité visuelle. La visibilité des détails est bien évidemment lié à la fréquence spatiale et à la résolution de l'image mais le contraste locale peut avoir un impact déterminant sur la sensation du détail.

Cette image, loin d'être plate ou laide, parvient à nous procurer une sensation particulière du sombre en empruntant les caractéristiques pénombrales. Cette sensation est une douce perturbation. Alors que tout point de l'image nous est donné à voir, les luminances trop basses et le faible contraste nous empêchent de bien voir.

Nous l'avons dit, le contraste et les ombres dans une image sont des outils à disposition du chef opérateur pour créer de la profondeur, tenir le regard du spectateur, lui permettre de bien voir et mieux voir ce qu'il a choisi. Le peu de contraste et l'absence d'ombre dans une image pénombrale vont d'abord nier la profondeur. Cette sensation étrange que peut nous procurer une image de pénombre est lié à tout cela. Ce qui est intéressant ici est le fait que notre regard ne soit pas autant dirigé qu'à l'habitude. Ce type d'image nous laisse croire à une liberté pour nous la reprendre ensuite en contrariant notre bonne vision. Le contraste permet effectivement de raconter des histoires. L'idée est alors de voir dans les images pénombrales, forcément de faible contraste, quels sont les voies disponibles pour continuer à raconter par le contraste.

Pour finir sur ce photogramme de *Melancholia*, point de départ de notre analyse des représentations empruntant largement à nos sensations pénombrales pour en procurer

de nouvelles aux spectateurs, remarquons que la source diégétique dans cette scène n'est pourtant pas un ciel de pénombre. Cette faible lumière diffuse est celle renvoyée par la planète bleue Melancholia qui risque de percuter la Terre. Emprunter aux sensations pénombrales ne vise donc pas forcément à rendre compte d'un crépuscule ou d'une aube. Dans la plupart de nos exemples, la reprise des caractéristiques quantitatives, qualitatives et physiologiques est un choix de sensation à faire ressentir aux spectateurs pour servir la narration. Ici, cette sensation paradoxale de liberté contrariée convient parfaitement à nous déranger juste ce qu'il faut pour commencer à partager les angoisses du personnage face au possible danger.

B. Une opération minimaliste

L'absence de contraste éclairément dans la construction d'une image pénombrable vient forcément limiter et déplacer les possibilités d'agir sur le contraste. Raconter des histoires par le contraste devient une opération délicate. A l'opposé des images de grand contraste qui permettent plus *facilement* d'organiser l'image et diriger l'attention du spectateur, les images pénombrales appellent le minimalisme.

Nous l'avons vu, le contraste sujet est aussi dépendant du contraste objet. L'image de pénombre ne se travaille pas seulement par la lumière mais aussi, et peut-être plus qu'habituellement, par le choix des éléments de la scène, leurs matières et leurs facteurs de réflexions. La gestion du contraste se déplace alors dans le domaine des costumes et des décors. Prenons pour exemple deux photogrammes de *Days of Heaven* (Figure 18 et 19).



Figure 18 : Photogramme issu de Days of heaven : la fugue de l'orphelinat.

Dans la *Figure 18*, il s'agit d'une aube, l'heure où l'on s'échappe d'un orphelinat. Même si le décor et les deux personnages sont éclairés par la même quantité et qualité de lumière, le jeu sur le contraste naturel des objets filmés permet de donner des repères et d'attirer le regard du spectateur sur les éléments narratifs importants. Les costumes noirs des deux jeunes filles et surtout les draps blancs noués à la fenêtre contrastent dans l'image.

L'image de la *Figure 19*, répond aux caractéristiques pénombrales et pourtant les choix de décors, de costumes et de composition du cadre parviennent à créer une sensation de contraste relativement important. La femme habillée entièrement de blanc contraste avec la calèche, les chevaux et l'homme qui forment une large masse noire. Le blé en arrière plan participe à la même entreprise de contraste qui permet la distinction des éléments. Par des moyens détournés et assez fins, le chef opérateur face à une image de pénombre peut trouver des solutions pour ré-introduire du contraste dans l'image.



Figure 19 : Photogramme issu de Days of heaven : la calèche

Nous l'avons compris l'absence de contraste éclaircissement n'empêche pas d'organiser l'image et diriger le regard. Une image qui parvient à créer la sensation de pénombre n'est pas nécessairement laide. Elle n'est pas forcée non plus d'être d'une faible dynamique. Un des moyens supplémentaire d'apporter des éléments moins denses dans l'image pour renforcer sa dynamique sans pour autant aller à l'encontre de la croyance en l'effet de pénombre est de filmer la source de cette faible lumière diffuse, le ciel.



*Figure 20 :
Photogramme issu
de Grand Budapest
Hotel : l'homme en
noir et la neige*

La Figure 20, photogramme de *Grand Budapest Hotel*, est bon exemple final de ce travail presque pictural sur les densités propres aux éléments filmés. Le chef opérateur joue du contraste naturel entre le très important facteur de réflexion de la neige occupant le premier tiers et le faible facteur de réflexion des murs du bâtiment occupant le second tiers. Le dernier tiers est occupé par le ciel qui apporte une densité encore différente à l'image. Le personnage habillé d'un costume sombre vient lui aussi contraster avec la neige et donc s'en distinguer pour y attirer notre regard.

L'histogramme en clarté réalisé pour cette image (Figure 21) nous donne un moyen de comparaison avec la première image étudiée (Figure 20).

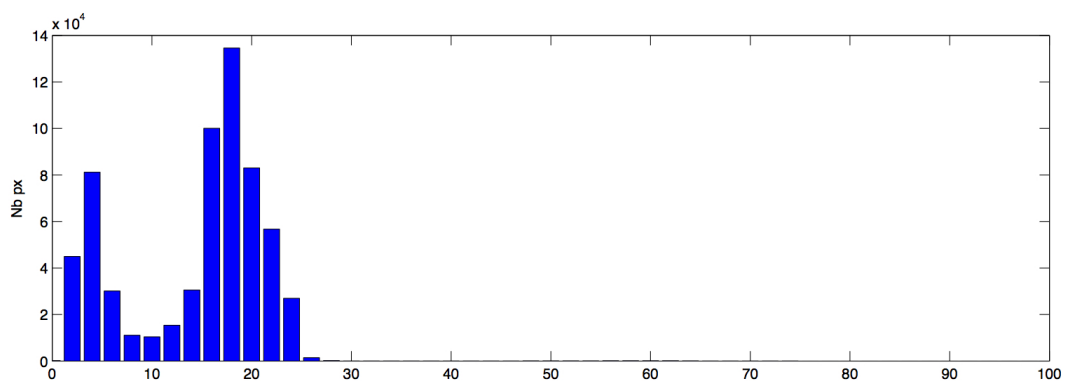


Figure 21 : Histogramme en clarté du photogramme précédent (Figure 20)

Cette image reste sombre : la plus haute valeur de l'image (à l'exception des réverbères) ne dépasse pas les 30% de clarté. Pourtant, la répartition tonale et la dynamique n'est plus la même. Alors que précédemment l'ensemble des valeurs était resserrée autour du 10% de clarté. Ici, deux groupes de valeurs se créent autour de 5% et de 20%. A l'inverse de l'image de *Melancholia* qui flirtait avec l'extrême faible dynamique et l'absence de contraste, cette image, ainsi que celles de *Days of Heaven*, diversifie les densités dans l'image et joue de manière plus importante bien que minimaliste avec le contraste.

Ces images abandonnent la sensation de difficulté à distinguer et de la perte d'acuité visuelle. Elles conservent les caractéristiques quantitatives et qualitatives de la lumière pénombrale. La sensation du sombre et la croyance en l'image de pénombre sont maintenues mais renouvelées pour servir la narration.

C. Le bleu et le sombre

Nous l'avons vu la lumière de pénombre se caractérise aussi par sa composition spectrale déséquilibrée en faveur des courtes longueurs d'onde.

Etudions à nouveau l'image de la fugue de l'orphelinat (*Figure 18*), grâce à un histogramme en teinte cette fois. Nous avons réalisé une bande de teinte pour mieux se représenter à quoi correspond l'échelle de teinte en degré.

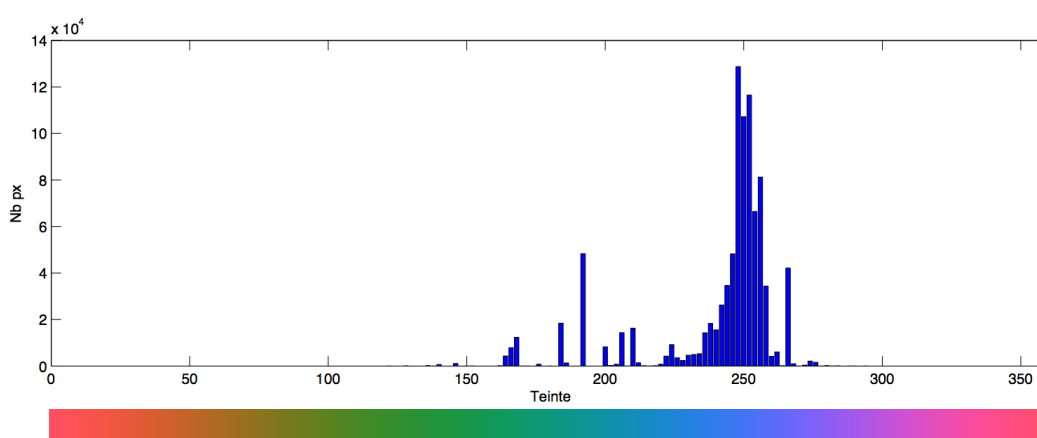


Figure 22 : Histogramme en teinte du photogramme figure 18 et bande de teinte

Cette image, ainsi que toute celles étudiées jusqu'ici, tendent vers le monochromatisme bleu. Il ne s'agit pas seulement d'un déséquilibre ou d'une balance en faveur des teintes bleues comme c'est le cas dans le spectre lumineux en pénombre. L'histogramme le montre bien : les teintes allant du rouge au vert sont totalement absentes de l'image.

La présence uniforme du bleu ainsi que l'absence généralisé des autres teintes dans une image de pénombre contribue à l'homogénéisation dont nous avons déjà parlé. Cela élimine la possibilité de contraste chromatique dans l'image (voir Annexe 2) qui, comme le contraste de lumière, sépare, distingue. L'uniformité bleue adoucit l'image, fond les éléments les uns aux autres.

La lumière pénombrale, par son spectre et les mécanismes physiologiques de notre vision

mésopique, est associée dans notre inconscient sensitif à une teinte bleue impactant l'ensemble de notre environnement extérieure. Quelle sensation procurerait l'image étudiée (*Figure 18*) sans cette teinte bleue ? En dehors de la sensation couleur, la qualité et la quantité de cette lumière pourrait assez bien s'apparenter à un jour brumeux. Nous y reviendrons dans la troisième partie à l'occasion d'un test filmé. La tendance au monochromatisme bleu dans une image participe fortement à la croyance en l'effet d'aube ou de crépuscule et plus généralement à notre sensation du sombre dans les images de cinéma. La technique de prise de vue de nuit américaine souvent utilisé en argentique consistait à procurer cette sensation de l'obscurité par un filtre produisant une image bleue. Le cinéma a largement emprunté cette sensation pénombrale de couleur pour la transformer finalement en code cinématographique de la représentation nocturne.

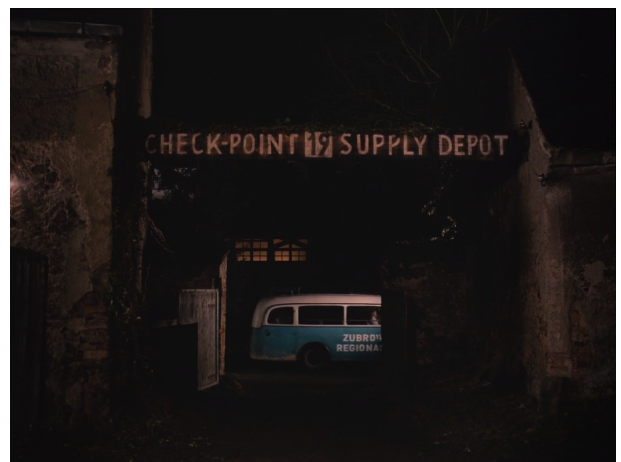
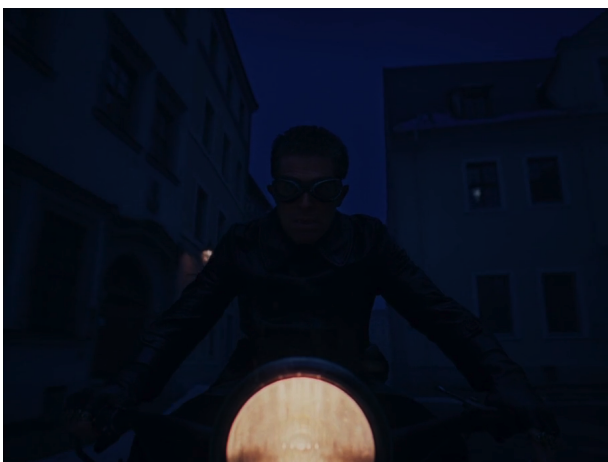


Figure 23 : Quatre photogrammes issus de Grand Budapest Hotel

La teinte bleue d'une image dépasse donc largement la question de la représentation pénombrale et devient alors un outil de métamorphose de nos sensations du sombre. Au sein d'un même film, comme c'est le cas dans *Grand Budapest Hotel* (Figure 23), la représentation chromatique de la nuit évolue. Le chef opérateur Robert D. Yeoman joue au long du film avec la modification de cette teinte jusqu'à la supprimer dans une autre séquence de nuit (l'image de droite en bas).

L'accentuation irréaliste de cette teinte bleue dans ces séquences nocturnes nous font largement quitter le photoréalisme. Robert D. Yeoman transporte le spectateur avec douceur dans l'onirisme de l'univers de Wes Anderson. En empruntant cette sensation pénombrale, l'image vient chercher le spectateur sur une base connue pour l'emmener ensuite au delà et plonger délicatement dans une représentation onirique. Le monochromatisme dans l'image de cinéma est alors un lieu d'expérimentation certain pour se servir de sensations vécues, les transformer et en procurer de nouvelles aux spectateurs. Les images de pénombre urbaine viennent alors prendre la suite de cette recherche.

D. La pénombre urbaine

Intéressons nous maintenant aux pénombres urbaines à travers un exemple, *Taxi Driver*. Le film joue sur le retour régulier à des séquences de déambulations nocturnes de Robert De Niro conduisant son taxi. Ces séquences, par les choix de lumière et de cadre mais aussi par le thème musical de Bernard Herrmann, prennent le chemin de l'expérimentation avec les sensations pénombrales. Elles s'opposent totalement au reste du film dont les options de mise en image suivent une trajectoire plus classique.



Figure 24 : Photogramme issu de *Taxi Driver* : les enseignes lumineuse

Les images de ces séquences de déambulations reprennent des caractéristiques de la lumière pénombrale. Le ciel est remplacé par les enseignes lumineuses (Figure 24), une multitude de *petits ciels*, sources larges, diffuses et à spectre de raies.



Figure 25 : Trois photogramme issus de la séquence d'ouverture de *Taxi Driver*

Le personnage enfermé dans son taxi est éclairé successivement par ces différents *petits ciels*. Il passe alors d'une lumière monochrome à une autre (Figure 25).

L'espace urbain dans lequel ces images nous plongent en devient alors presque irréel. Les sources lumineuses sont nombreuses et accaparent l'espace de certains plans. Pourtant, elles n'éclairent pas la ville et ses personnages. Ces sources ne produisent que faibles lumières colorés et ménagent d'importantes zones d'ombres. Elles ne jouent plus leurs rôles d'organisation de la vie nocturne dans la ville narrative et dans l'image. En empruntant des sensations pénombrales, la faible lumière diffuse et le monochromatisme, ces images métamorphosent notre expérience de l'espace urbain et renouvelle nos sensations du sombre à l'écran.



Figure 26 : Photogramme issu de Taxi Driver

Robert De Niro est éclairé par une lumière qui a presque tout d'une lumière pénombrale. L'image de la *Figure 26* nous place face à un sombre sans ombre, sans contraste éclairement sur le personnage et monochrome. Elle nous procure alors des sensations proches des sensations décrites auparavant : sensation étrange de tout voir sans pour autant avoir les clés pour bien distinguer du fait de l'homogénéité sombre du sujet.

Pour prendre un élément de comparaison, on peut étudier un autre photogramme issu d'une séquence nocturne de *Taxi Driver*, dans un autre quartier cette fois (*Figure 27*). Le ciel est noir mais la lumière des réverbères nous plonge dans une sensation du sombre urbain bien plus confortable. Les personnages et le décors sont en dehors du sombre, la lumière leur donne une existence bien plus réelle et palpable, la lumière projette leurs ombres au sol et le spectre plein de l'éclairage rend possible la perception d'une multitude de couleurs.



Figure 27 : Photogramme issu de Taxi Driver : l'autre quartier

A l'opposé de cette image, les autres séquences nocturnes, en jouant sur nos sensations pénombrales, s'éloignent de la représentation réaliste et des sensations confortables de l'éclairage urbain pour nous procurer une expérience particulière de l'espace urbain. Par ces choix forts de lumière, ces images parviennent à rendre cette vie urbaine autant fascinante qu'inquiétante. Comme lorsque la taxi semble apparaître par magie du nuage de fumée lors du premier du film, ces séquences nous plongent dans un univers mystérieusement beau. Il parvient à maintenir ces sensations vécues de manière éphémère lors d'une pénombre. Cette lumière est captivante, séduisante et pourtant annonciatrice de l'obscurité totale qui ne va pas tarder à s'abattre sur nous.

CHAPITRE 3 : INT. PÉNOMBRE

Nous l'avons évoqué dans la première partie, la pénombre n'est pas le privilège du monde extérieure. Les sensations de pénombre ainsi que les mécanismes physiologiques qui les engendrent, peuvent se retrouver en décors intérieurs.

A. Les caractéristiques de l'image pénombrale en décors intérieur

Cette pénombre reprend les caractéristiques que nous avons jusqu'ici étudiées en y ajoutant un élément déterminant : une présence plus ou moins importante d'une haute lumière dans l'image. Cette haute lumière peut être une fenêtre, une porte, ouverte sur l'extérieure ou seulement la lumière qu'elle produit sur la scène. La majeure partie de la scène n'est éclairée que par les faibles réflexions de cette première lumière sur l'environnement. Cette seconde source, les réflexions, produit alors une lumière dont la qualité et la quantité ressemble à la lumière pénombrale (diffuse, large, moins puissante). L'intérieure n'est évidemment pas ré-éclairé par des sources domestiques. L'image de pénombre d'intérieure procure alors la sensation de venir se cacher dans l'ombre, se protéger ou s'extraire d'un extérieure qui peut être de différentes natures.

Deux éléments diffèrent alors par rapport à la situation de pénombre d'extérieure : le contraste et la sensation de couleur.

La problématique du contraste dans cette configuration n'est plus la même. Avec une source principale directive et une seconde source diffuse moins puissante que la première, le contraste sujet de la scène se retrouve de nouveau dépendant d'un contraste éclairé non nul. La dynamique de cette image pénombrale est alors bien plus importante que précédemment. Cette forte dynamique, la présence de haute valeurs dans l'image ne doivent pourtant pas aller à l'encontre de la sensation d'une image

sombre. Comment maintenir la croyance en l'image sombre avec de telles caractéristiques ?

La première réponse se trouve justement dans le contraste. Nous l'avons vu dans la première partie de ce chapitre, la stimulation de notre système visuelle par une haute lumière, le contraste qu'elle instaure et son accentuation physiologique forment et amplifient chez l'observateur sa sensation du sombre pour tout ce qui ne relève pas de l'espace de la haute lumière. Les zones de luminances élevée dans l'image empêchent l'augmentation de la sensibilité des cônes qui de fait vont continuer à transmettre une information constante et cohérente pour les importantes zones d'ombre de l'image.



Figure 28 : Photogramme issu de Days of Heaven

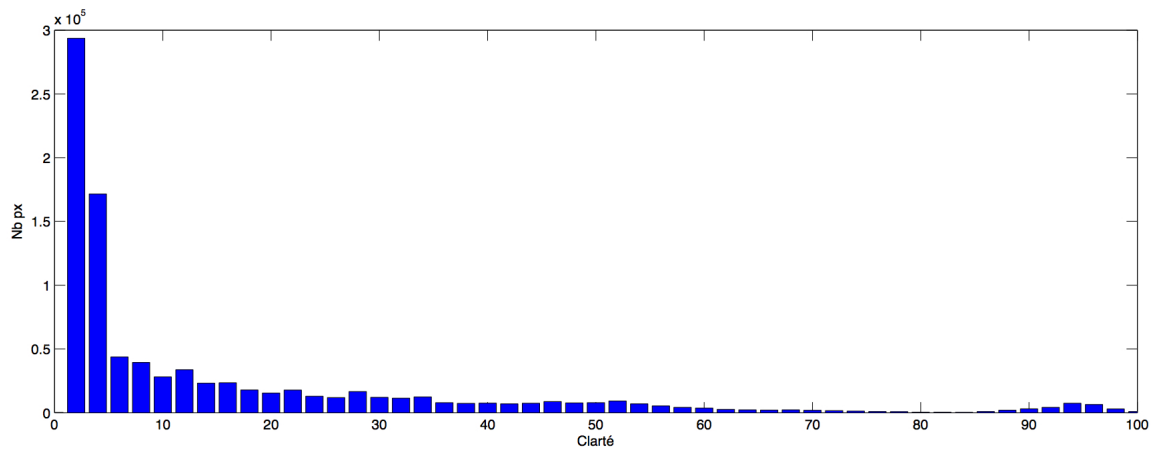


Figure 29 : Histogramme en clarté du photogramme précédent (Figure 28)

Prenons une image issue de *Days of Heaven* (Figure 28) dont nous avons déjà parlé et réalisons pour cette image un histogramme en clarté (Figure 29).

La répartition tonale est bien plus riche que lorsque nous avons étudiés les images pénombrales d'extérieur. La dynamique de l'image est aussi bien plus importante : il y a dans l'image des très hautes lumières et des très basses. L'image procure pourtant une sensation de pénombre. Cette histogramme nous donne alors la seconde réponse : le rapport des masses lumineuses et sombres dans l'image.

B. Rapport de masse

La sensation de pénombre dans une telle image est alors dépendante d'abord d'un rapport de force entre les hautes lumières, les moyennes et les basses. Dans la Figure 29, cela est bien visible. Le nombre de pixels de l'image d'une clarté inférieure à 20% est trois fois plus important que le nombre de pixels d'une clarté comprise entre 20% et 100%. Si l'image nous paraît sombre c'est alors parce que les moyennes et hautes lumières sont peu présentes dans l'image en comparaison avec l'espace pris par le sombre dans le champs.

La sensation de pénombre devient alors une problématique liée au cadre et au

découpage. Pour une scène où les caractéristiques quantitatives et qualitatives de lumière et où les choix de prise de vue sont les mêmes, les options prises au cadre ont une réelle influence sur la sensation du sombre procurée au spectateur. Les choix de compositions ont le pouvoir de créer, d'amplifier voire d'annuler la croyance en l'image de pénombre en jouant sur les rapports de masses dans le champ. Dans l'image de *Holy Motors* (Figure 30), la présence de hautes lumières participe à la sensation de pénombre procurée, et cela par contraste, mais cette sensation est permise par la place assez réduite que l'image offre à ces hautes lumières. La très grande majorité de l'image est sombre, voire complètement noire (l'amorce de droite). Ce qui participe à renforcer cette sensation est aussi le fait que le personnage ne soit pas dans cette lumière pour n'être qu'une silhouette, un élément de l'ombre parmi d'autres.



Figure 30 : Photogramme issu de Holy Motors : début de la séquence entr'acte

Nous verrons dans la troisième partie que cette question de rapport de force se retrouve aussi dans la construction lumineuse de la scène. Plus l'entrée de lumière est grande, plus l'effet de cette première source sera puissante et plus les réflexions le seront aussi. Si la scène est trop éclairée par cette seconde source que sont les réflexions, la sensation du sombre disparaît. Cela se joue aussi alors sur les facteurs de réflexions

présents dans la scène à éclairé. Une même entrée de lumière, ne produira pas au finale la même sensation de pénombre dans une pièce où tous les murs sont blancs et une pièces où tous les murs sont sombres. La sensation du sombre se crée, se triche à la prise de vue pour retrouver un contraste cohérent. Ce sera l'objet d'un de nos tests.

C. Sensation de couleurs

La différence avec la pénombre naturelle se trouve aussi dans la sensation de couleur procurée par cette image. La situation appelle d'abord une multitude de variations possibles selon la nature de la première source. Cela peut aller du Soleil d'été à midi à la Lune en passant par un réverbère, une enseigne lumineuse, etc... La distribution spectrale de la seconde source dépend du spectre de la première, qui cette fois n'est pas forcé d'être aussi déséquilibré que la source pénombrale. La sensation de couleur d'une telle image est alors attaché à cette distribution spectrale, de son équilibre et de son étendue, et aux réflectances spectrales des éléments de la scène. Il peut en découler une multitude de sensations différentes du sombre. La sensation de couleur définira l'extérieur duquel l'image cherche à nous extraire pour nous dissimuler dans l'ombre. Dans le photogramme de *Days of Heaven* (Figure 28), il s'agit d'une pénombre confortable créée par l'image pour venir se protéger de la chaude lumière l'été. Dans le photogramme de *Holy Motors*, le personnage s'échappe d'une lumière urbaine jaunâtre.



Figure 31 : Photogramme issu de Melancholia

Dans *Melancholia* (Figure 31), la première source et les réflexions qui s'en suivent procurent une sensation de couleur froide. La pénombre est alors un espace aménagé par l'image pour nous donner une illusion de rempart contre le monde extérieur synonyme de danger avec l'arrivée de la planète. On peut voir d'ailleurs un arbre prendre feu à l'extérieur. Mais c'est une illusion, les faibles réflexions colorent aussi les ombres. La sensation de douceur emprunté à la lumière pénombrale est vite contrarié par la sensation de couleur qui nous fait sentir la lente propagation de l'extérieur et avec lui la crainte d'un danger à venir.

Mais la sensation de couleur dans les ombres n'est pas forcément liée à une simple reprise de la distribution spectrale de la première source. Cela peut appeler un travail de contraste chromatique entre les hautes lumières de la première source et les basses lumières pénombrales. Nous aborderons la question au cours d'un de nos tests et nous renvoyons à une annexe sur le contraste chromatique simultané et successif et les mécanismes neuronaux mis en jeu.

D. Aptitude au contraste

En étudiant ces images pénombrales d'intérieur, nous en sommes venus à parler de douceur des ombres, de lenteur de la propagation des hautes lumières. Le troisième point d'analyse de cette pénombre qui vient alors compléter ce que nous avons dit sur la mise en contraste de hautes et basses lumières dans ces images, est justement la vitesse de disparition des hautes lumières, du passage à l'ombre. La question est de savoir de quelle manière la lumière vient mourir dans cet espace pour laisser place au sombre. On pourra alors parler d'aptitude au contraste. Elle pourra être qualifiée de lente à rapide, ou bien de douce à dure.

Notons qu'il s'agit souvent d'un qualificatif attribué au terme de contraste, ce qui contribue à montrer la régulière mauvaise utilisation de ce mot. Un contraste ne peut être dur ou doux. Le contraste se qualifie par une quantité puisqu'il s'agit d'un rapport entre deux quantités objectives. La capacité à passer d'une valeur à l'autre au sein de ce contraste, l'aptitude au contraste, pourra elle être qualifiée par une qualité. Nous aurons l'occasion au cours de la troisième partie de revenir sur cette question essentielle pour analyser et travailler une image de cinéma.

La sensation la plus proche de notre sensation réelle de ce genre de situation est une aptitude au contraste très lente. C'est le cas dans notre première image étudiée (*Figure 28*). Le passage des hautes lumières aux ombres est très progressif et dessine alors un lent dégradé de valeurs jusqu'au noir complet. Cela se voit aussi sur l'histogramme en clarté (*Figure 29*). Les différents pourcentages de l'échelle de clarté sont tous représentés par un certain nombre de pixels dans l'image. Une aptitude au contraste lente aura tendance à procurer une sensation de douceur générale. L'image sera pleine, composée de dégradés, d'une multitude de valeurs de luminances différentes. Dans l'image de *Holy Motors* (*Figure 30*), l'aptitude au contraste est déjà plus rapide et la sensation n'est plus la même. Le dégradé de valeur entre les hautes et les basses lumières n'est pas aussi détaillé. On peut même distinguer clairement les étapes

par lesquels passent la lumière pour se fondre dans l'ombre. Si on se penche sur l'effet de la lumière sur le sol, on peut séparer différentes bandes de luminances, les quelques paliers de cheminement jusqu'au sombre. L'image nous procure une sensation de dureté nettement plus forte.

L'aptitude au contraste peut aussi être traitée de façon moins photoréaliste et ainsi être l'outil de renouvellement de nos sensations du sombre. Les images low-key, travaillant de manière bien plus appuyé le clair-obscur, joue sur une aptitude au contraste beaucoup plus rapide. Il peut très bien ne pas y avoir d'étape entre les basses et les hautes lumières. L'image est alors composé de deux espaces de lumières bien distincts : la lumière et l'ombre qui n'est alors qu'un aplat noir. La sensation du sombre est alors tout autre. En absence de dégradé dans les ombres, plus rien ne se détache, rien n'est visible à l'exception d'un grand vide qui occupe la part la plus importante de l'image. Bien que tout a fait irréel et purement cinématographique, ces images parviennent à procurer la sensation de pénombre par une même utilisation d'un contraste fort et d'un rapport de masse toujours en large faveur pour l'ombre.

ENCADRÉ 2 : Caractéristiques de deux images types

Après avoir tiré différents éléments d'analyse des images pénombrales, établissons les caractéristiques de deux images de pénombres types. Ces deux images, théoriques pour l'instant, nous serviront d'exemple tout au long de notre troisième partie et seront les points de départ de certains de nos tests filmés. La première image sera l'image de pénombre extérieure et la seconde l'image de pénombre intérieure.

	Le sujet de pénombre extérieure	Le sujet de pénombre intérieure
Source	Source large: ciels, enseignes...	1-Variables: Soleil, ciel, réverbères... 2-Les réflexions
Quantité	Faible	1-Variable mais relativement puissante 2-Faibles
Qualité	Diffuse Homogénéisante	1-Ponctuelle 2-Diffuse
Contraste éclairément	Inexistant	Important
Contraste sujet	Lié au travail sur le contraste naturel des différentes densité présentes dans le décors, les costumes, etc... + Présence possible du ciel dans l'image	Peut être très important selon le jeu sur le contraste entre les zones de hautes lumière et de basses lumières

	Image de pénombre extérieure	Image de pénombre intérieure
Dynamique	Faible	Importante
Aptitude au contraste		De très lente pour sensation pénombrale à très rapide pour images low-key
Rapport de masse	Tend vers l'homogénéité	En faveur des basses lumières
Sensation de couleur	Monochromatisme / Absence totale de certaines teintes	Variables selon la source Contraste chromatique possible

PARTIE 3

FAIRE L'IMAGE DE PÉNOMBRE

Nous avons jusqu'ici mené notre étude en l'inscrivant uniquement dans les mécanismes de vision de la couleur en situation réelle de pénombre. Il n'y avait alors pas d'intermédiaire entre le sujet de pénombre (objet et source) et l'observateur (œil et cerveau). Venons en maintenant à ce qui nous intéresse pleinement lors de cette étude : la mise en image d'une pénombre et de ses couleurs au cinéma. Insérons alors entre le sujet et l'observateur la maillon manquant à notre chaîne précédemment étudiée : la captation des informations de luminance et de chrominance du sujet, leurs traitements et leurs restitutions sur un écran de cinéma pour être enfin vues par le spectateur. La boucle sera une nouvelle fois bouclée.

Par analogie avec notre analyse des mécanismes de vision de l'observateur, nous pouvons retrouver dans la création de l'image cinématographique un œil qui voit et un cerveau qui traite l'information. Cet œil, c'est le capteur argentique ou numérique auquel le chef opérateur expose le sujet. Ce cerveau, ce sont les traitements de différentes natures menés sur l'image pour la développer et la façonner.

La prise de vue numérique a maintenant pris totalement le pas sur la prise de vue argentique dans la production cinématographique. Sur les 203 films d'initiative française agréés par le CNC en 2014, 193 films ont été tournés en numérique.⁹ Les laboratoires argentiques ferment les uns après les autres, la production de pellicule s'amointrie. Cette étude des couleurs dans les images de pénombre, nous l'avons dit en introduction, sera essentiellement menée autour du cinéma numérique. Pourtant, dans les pages qui vont suivre, nous n'allons pas délaisser tout de suite la prise de vue argentique et ses chaînes traditionnelles de traitement. Le chef opérateur Philippe Rousselot dont la filmographie a commencé en cinéma argentique et a su continuer en cinéma numérique énonce ceci :

« Toute évolution s'inscrit dans une histoire, mais elle n'y participe qu'à la condition que cette histoire ne soit pas oubliée. La prise de vue numérique ne doit pas être le prétexte

9 Bilan statistique des films agréés en 2014 réalisé par la direction des études du CNC

à faire table rase, car tout reprendre à zéro serait une régression dramatique. »¹⁰

Menons alors notre caractérisation du capteur numérique en gardant en parallèle la référence au capteur argentique. Cela nous permettra de nous servir des méthodes d'analyse de l'argentique, du vocabulaire qu'elles ont apportées et ainsi de ne pas *oublier* cette rigueur pour la retrouver en numérique. Nous tirerons alors des enseignements de ces caractéristiques natives du capteur numérique pour mener des tests sur les deux types d'images pénombrales précédemment définies et surtout pour proposer une stratégie d'exposition de nos deux sujets pénombraux.

10 ROUSSELOT Philippe, *La Sagesse du Chef opérateur*, J.C. Béhar, 2013, p.104

CHAPITRE 1 : Caractéristiques natives du capteur – L'oeil argentique et numérique

Le premier composant de la chaîne de création de l'image, intervenant lors de la prise de vue, est le capteur argentique ou numérique. Par de multiples choix, le chef opérateur va pouvoir agir sur différentes manières de lui exposer le sujet. Pour cela, comprenons comment l'émulsion et le capteur *voient* nativement et cela en dehors de tout traitement.

Le premier fait à établir est que ces capteurs ne voient pas comme nos yeux. Ils n'ont pas la même sensibilité aux luminances, ni la même sensibilité spectrale que notre système de perception. Plus important encore, ils n'ont pas la capacité à s'adapter, à faire varier ces sensibilités comme cela est rendu possible par la présence des différents photorécepteurs sur notre rétine. Nous allons donc étudier ici la courbe de réponses aux luminances, la sensibilité, la sensibilité spectrale et la température d'équilibre du capteur numérique. Si l'unicité et la qualité invariante de ces caractéristiques du capteur étaient une évidence pour tous en argentique, puisque inhérentes à la physique de l'émulsion, cela n'est pas encore le cas en numérique. En effet, la présence de bouton-molette sur les caméras numériques permettant de modifier l'indice d'exposition, la température d'équilibre, etc... ne participent pas à défaire la fausse croyance qu'en numérique tout est possible, tout peut varier sans incidence. Ces variations ne signifient en rien que les caractéristiques natives sont multiples mais bien que derrière ces curseurs se cachent en réalité des traitements dont nous devons être conscient.

Enfin, l'association de lentilles qui constitue l'optique impacte la manière de voir du capteur. La caractérisation que nous allons établir sera alors nécessairement celle d'un couple optique-capteur. S'en affranchir ici n'aurait pas de sens puisque lors d'une prise de vue, le sujet filmé par le capteur le sera toujours par l'intermédiaire d'une optique. Même si nous n'étudierons pas ici l'influence que pourrait avoir le choix d'une optique par rapport à une autre sur la manière de voir du système de captation, en particulier sur

le rendu des couleurs, soyons conscient que l'expression de nos résultats est dépendante de l'optique ayant servi pour nos tests.

A. Courbe de réponse

L'oeil argentique est une pellicule, une émulsion de gélatine dont les récepteurs photosensibles sont des cristaux d'halogénures d'argent. L'énergie apportée à l'émulsion chimique par l'absorption des photons libère des électrons. Ces électrons vont produire avec les ions argents une réaction de réduction. Le produit chimique de cette réduction est le métal argent, opaque à la lumière. En d'autres termes, la réponse à la lumière du capteur argentique est un noircissement chimique à la surface de la pellicule. Cette pellicule est appelée négative. En effet, sa réponse est proportionnelle mais inverse aux luminances du sujet : un sujet très lumineux produira un noircissement important et la réponse sera donc noire sur la pellicule.

L'oeil numérique est un capteur de silicium dont les récepteurs photosensibles sont des photosites organisés en matrice. Le photosite stocke les électrons libérés par les photons, analyse cette quantité et la convertit en un signal électrique. Ce dernier est ensuite lui aussi converti en valeurs numériques. La réponse au rayonnement lumineux du sujet sera donc exprimée en valeurs numériques. Plus la valeur est grande, plus le niveau lumineux est important. Notons qu'il existe deux familles de technologie de capteurs, CCD ou CMOS. Leurs réponses sont comparables, ils diffèrent surtout par leur choix de traitement de l'information et de conversion numérique du signal électrique.

La première caractérisation à obtenir du capteur est sa courbe de réponse à la lumière. Nous cherchons alors à connaître dans quelle proportion les récepteurs répondent à une quantité de lumière, depuis quelle quantité la réaction s'opère-t-elle et

jusqu'à quelle quantité, la réaction donne encore une réponse modulée.

Posons alors une notion photométrique manquante à notre analyse de la quantité de lumière reçue du sujet filmé : la lamination H . Il s'agit de l'éclairement image du capteur modulé par le temps d'exposition à cette éclairage. On a alors :

$$H = E_i \times t$$

Et l'éclairement image E_i est défini par la formule de transfert photométrique, liée aux caractéristiques de l'optique utilisée :

$$E_i = 0,64 \frac{L}{A^2} + E_f$$

La lamination H est donc dépendante des différents paramètres de prise de vue :

- la luminance L du sujet filmé
- le nombre d'ouverture photométrique A , le diaphragme
- le temps d'exposition t , traditionnellement de $1/48^{\text{e}}$ seconde en argentique (prise de vue à 24 i/s) et de $1/50^{\text{e}}$ seconde en numérique (prise de vue à 25 i/s)
- le flare E_f , éclairage parasite du capteur photosensible

La courbe de réponse du capteur sera toujours exprimée en fonction de cette lamination H sous sa forme linéaire ou logarithmique, prenant donc en compte les paramètres d'exposition du capteur choisis par le chef opérateur. Ainsi, cette courbe mettra en évidence la réponse du capteur à l'exposition choisie.

La réponse s'exprime selon deux valeurs différentes selon qu'elle soit argentique ou numérique.

La réponse du capteur argentique va s'exprimer en densité D . Cette réponse n'est autre

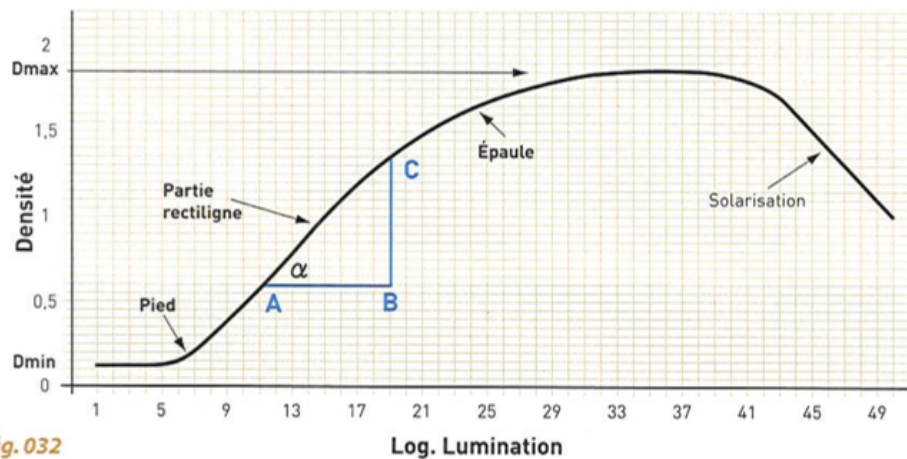
que le logarithme de l'opacité du négatif, conséquence du noircissement des cristaux d'halogénures d'argent.

$$D = \log(Op)$$

Cette échelle de densité est dite psychométrique. Ainsi, cette réponse est en phase avec nos sensations puisque, comme l'énonce la loi psychophysique Weber-Fechner, notre système de perception n'est pas sensible à un stimulus mais à son logarithme.

Cette loi devra nous accompagner au cours de la réalisation de nos tests et justifiera que l'expression de nos résultats sera le plus souvent logarithmique. Dès maintenant, appliquons cette règle en exprimant nos résultats non pas selon les luminations du capteur mais bien en fonction de leurs logarithmes logH.

Pour obtenir cette courbe, le test réalisé par les chef opérateurs et les laboratoires consistait à exposer un négatif à un coin de Goldberg, une gamme de 21 plages de luminations croissantes et d'incrément connu ($\frac{1}{2}$ diaphragme). Ce négatif, appelé sensitogramme, était ensuite développé seul en laboratoire, c'est-à-dire sans transfert sur pellicule positive. L'opacité de ces 21 plages du sensitogramme était ensuite mesurée par un densitomètre qui pouvait alors fournir la réponse en densité de chacune de ces plages. Les luminations issues des choix d'exposition et les densités en résultant étaient alors mise en relation pour tracer une courbe de réponse caractéristique de l'émulsion particulière testée. Cette courbe sensitométrique $D = f(\log H)$ pourra aussi se retrouver sous le nom de courbe H&D, référence au nom de deux scientifiques Hurter et Driffield, fondateurs de la sensitométrie et des techniques de densitométrie.



ig. 032

Figure 32 : Courbe de réponse typique d'une pellicule négative représentant la fonction de transfert $D=f(\log H)$

La réponse du capteur numérique, nous l'avons dit, s'exprime en valeurs numériques. L'échelle de ces valeurs numériques dépend de la quantification, de la profondeur de codage fonction du nombre de bits, unité binaire de l'information numérique. Une quantification sur un bit offre la possibilité de différencier deux valeurs numériques ($2^1 = 2$), 0 et 1. Une profondeur de codage de 8 bits contraint une réponse sur $2^8 = 256$ valeurs, 256 nuances entre le noir 0 et le blanc 255.

Nous pouvons penser ce même test d'étude de la réponse du capteur en numérique. Nous cherchons alors à tracer la courbe H&D numérique de la fonction de transfert $\log VN = f(\log H)$. Par analogie avec la procédure du test argentique, réalisons ce test en numérique. Nous pouvons exposer le capteur à des plages de luminances croissantes et d'incrément de demi diaphragmes à l'aide d'une sphère d'intégration. En exploitant logiciellemment les valeurs numériques produites en réponse aux luminations connues, nous pouvons en retirer la fonction de transfert de notre capteur testé, celui d'une caméra Arri Alexa en l'occurrence (Figure 33).

Notons que nous utilisons un logarithme de base 2. De ce fait, l'échelle d'exposition est cohérente avec l'échelle des diaphragmes utilisée par le chef opérateur. Les valeurs numériques sont aussi exprimées en logarithme de base 2 de manière à pouvoir harmoniser les deux axes.

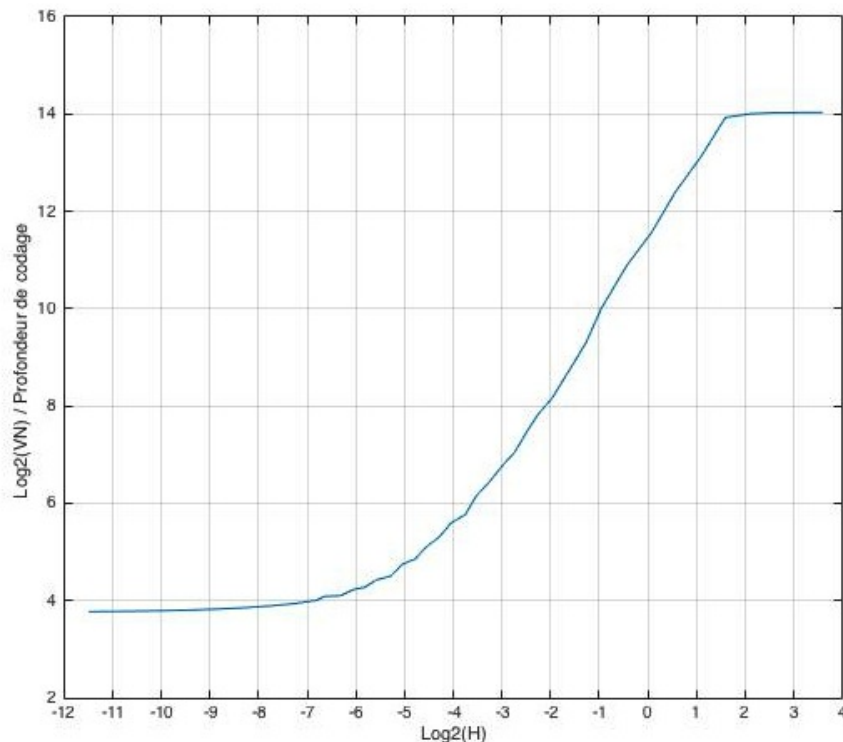


Figure 33 : Courbe de réponse du capteur de l'Arri Alexa /
Fonction de transfert $\log_2(VN) = f(\log_2(H))$

A partir de ces courbes, posons quelques notions utiles à la compréhension des caractéristiques des capteurs photosensibles argentiques puis numériques et à l'élaboration d'une stratégie d'exposition consciente de cette caractérisation. Poser ce vocabulaire est aussi un moyen de permettre des échanges plus cohérents. Certains de ces termes sont utilisés pour traiter de tout autre chose.

L'étendue utile est l'écart, en abscisse sur cette courbe, entre le plus petit logH et le plus grand entre lesquels le capteur module. Cette étendue utile, appelée *dynamic range* en anglais, s'exprime le plus souvent en diaphragme, bien plus en phase avec la manière de travailler du chef opérateur. En effet, nous pouvons faire correspondre l'échelle d'exposition en logH à une échelle incrémentée en nombre d'ouvertures photométriques. Ainsi, un déplacement de + 0,30 logH équivaut à ouvrir d'un diaphragme.

C'est alors sur cette échelle, et au sein de l'étendue utile caractéristique du capteur, que l'on va pouvoir placer et déplacer le contraste sujet exprimé lui aussi en diaphragmes.

Plus le contraste sujet filmé est faible, plus le déplacement sur l'étendue utile est possible. Choisir où poser son sujet revient donc à choisir où placer l'écart de luminance du sujet sur l'étendue utile. Nous verrons ensuite l'impact de ce choix de pose et des différentes efficacité de modulation au sein de l'étendue utile pour l'argentique. Nous pouvons aussi choisir de poser en partie notre contraste sujet en dehors de cette étendue utile, c'est-à-dire dans une zone où la réponse ne sera pas modulée. Cela aura naturellement pour effet de pas avoir de réponse différenciée pour les luminances du sujet posées en dehors. C'est ainsi qu'on choisit de perdre une partie de l'information nuancée du sujet dans les hautes ou les basses lumières, en les écrasant. Si ce choix est réalisé à cette étape, c'est-à-dire dès la prise de vue, il est alors irrémédiable : ces différences tonales de l'information du sujet sont définitivement absentes et aucun traitement ne pourra les récupérer. Cela est vrai en argentique et en numérique.

Sur l'axe des ordonnées, la réponse est quantifiée par le nombre d'éléments différenciés mis à disposition pour enregistrer la réponse, pour capter les différences de luminations du sujet. En argentique, cela se mesure en point de densité. En numérique, le nombre de valeurs numériques disponibles pour encoder la réponse du capteur dépend de la profondeur de codage, du nombre de bits de quantification.

Le facteur de pente γ est le rapport d'un écart de densité ou valeur numérique sur l'écart de $\log H$ qui l'engendre. Il vient alors mettre en relation étendue utile et densité en argentique, étendue utile et profondeur de codage en numérique. On détermine alors la fonction de transfert du capteur.

$$\begin{aligned} \Delta D &= \alpha \Delta \log H && \text{en argentique} \\ \Delta \log VN &= \gamma \Delta \log H && \text{en numérique} \end{aligned}$$

D'un premier point de vue, c'est cette pente qui détermine la profondeur de codage ou

l'écart de densité utilisé pour enregistrer la réponse. Avec un facteur de pente de 1, un point de densité ou valeur numérique répond à un point de lamination. Dans le cas d'une pente faible, γ inférieure à 1, lorsque la lamination croît, l'augmentation de la réponse décélère. La profondeur de codage est plus faible. Mais d'un autre point de vue, cela permet d'enregistrer une étendue de lamination plus importante.

Dans le cas d'un facteur de pente élevé, supérieure à 1, lorsque la lamination croît, l'augmentation de la réponse en densité ou valeur numérique accélère. La profondeur de codage utilisée est alors plus importante. De la même manière, depuis un autre point de vue, en fixant la profondeur de codage, cela diminue la portion d'étendue de lamination possiblement enregistrable.

Il est au final bien plus intéressant de s'occuper de cette question de pente *localement*. Nous parlerons alors de gradation pour le type de réponse, le type de fonction de transfert combinant différents facteurs de pente locaux.

Si une même différence de $\log H$ est toujours encodée par une même différence en ordonnée (et cela quelque soit la la pente globale de la fonction de transfert), la gradation sera dite linéaire. Seulement, et nous en avons un exemple avec la courbe de réponse caractéristique d'une émulsion photographique, la répartition de l'information est plus ou moins importante selon la lamination. La pente varie localement selon les luminations auxquelles l'émulsion est exposée.

Revenons alors à l'analyse des deux courbes de réponses argentique et numérique à l'aide de ces différentes caractéristiques.

Sur la courbe de réponse H&D (*Figure 32*) d'une émulsion argentique, on distingue généralement 5 zones, différentes en particulier par leurs pentes : la zone de densité minimale et la zone de densité maximale où la pente est nulle et la pose synonyme d'absence de réponse, le pied et l'épaule où la pente varie et la partie rectiligne, zone de pose du contraste sujet. L'étendue utile d'une émulsion argentique se mesure donc depuis le premier $\log H$ du pied jusqu'au dernier $\log H$ de l'épaule. Il faut tout de même

être conscient que le facteur de pente n'est pas le même au sein de cette étendue utile. Poser le contraste sujet au niveau du pied, de la partie rectiligne ou de l'épaule aura alors un impact sur la manière d'enregistrer une partie du sujet. La courbe de réponse argentique permet alors de traiter l'aptitude au contraste des basses ou hautes lumières du sujet dès la prise de vue.

Sur la courbe de réponse d'un capteur numérique, on distingue cette fois 3 zones :

- la saturation. Lorsqu'une certaine luminance maximale du capteur est atteinte, il n'y a plus de modulation, la réponse est plate.
- la réponse rectiligne. Le rapport de proportionnalité entre l'exposition ($\log H$) et l'encodage numérique ($\log VN$) du signal électrique est constant. Il s'agit de la seule zone d'enregistrement d'une réponse modulée. La gradation caractéristique de la réponse du capteur numérique est alors linéaire.
- le bruit. Pour des luminances trop faibles, la réponse module mais d'une manière aléatoire qui ne permet pas d'enregistrer correctement l'information.

L'étendue utile en numérique est donc limitée d'un côté par le premier $\log H$ point de bascule vers la saturation et de l'autre côté par le le premier $\log H$ ne produisant plus une réponse bruitée (notons que cette dernière limite est plus difficile à déterminer objectivement).

Contrairement à la réponse caractéristique de l'émulsion argentique, la réponse native utilisable du capteur numérique ne voit pas son facteur de pente évoluer. En particulier, la courbe H&D numérique n'est pas constituée d'épaule, d'une zone d'aptitude au contraste permettant de basculer lentement la réponse vers l'absence de modulation dans les hautes luminances. En numérique, la transition entre la partie rectiligne et la

saturation est un écrêtage brusque. Par ailleurs, la saturation n'est pas atteinte à partir de la même valeur de lamination pour chacun des trois canaux Rouge, Vert et Bleu. Poser une partie du sujet dans la zone de saturation c'est risquer l'apparition de dérives chromatiques. Dans la stratégie d'exposition numérique, la question de l'aptitude au contraste ne sera donc pas une problématique de prise de vue et sera forcément déplacé à une étape ultérieure.

Avant de clore cette analyse de la courbe H&D numérique, il semble intéressant de reprendre la courbe et de l'étudier sous une autre forme de représentation. La représentation de la courbe $\log VN = f(\log H)$ est utile en comparaison avec la courbe argentique pour déterminer les différentes zones d'aptitude au contraste de la réponse du capteur et pour étudier l'étendue utile disponible. Elle permet surtout de voir que la réponse native du capteur numérique est linéaire. Seulement, l'expression de la réponse du capteur en $\log VN$ est une sorte mensonge par omission. La stricte proportionnalité entre une variation d'exposition et variation d'encodage numérique, la caractéristique de gradation linéaire qui en résulte, laissent croire qu'un même écart de $\log H$, qu'un même diaphragme du contraste sujet sera toujours encodé par le même nombre de valeurs numériques quelque soit la lamination (basses, moyennes ou hautes lumières). Mais, ne nous trompons pas, la linéarité exprimée concerne bien une réponse en logarithme de valeurs numériques. A partir de nos valeurs issues de notre précédent test, intéressons nous alors à la courbe de réponse $VN = f(\log H)$ (Figures 34 et 35).

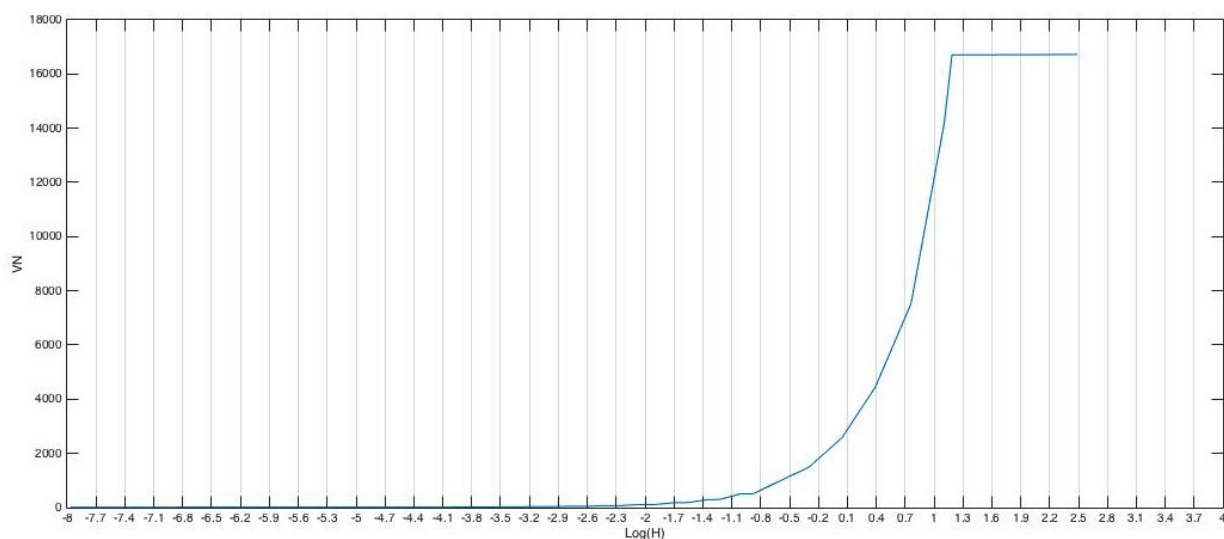


Figure 34 : Courbe de réponse du capteur de l'Arri Alexa / Fonction de transfert $VN = f(\log(H))$

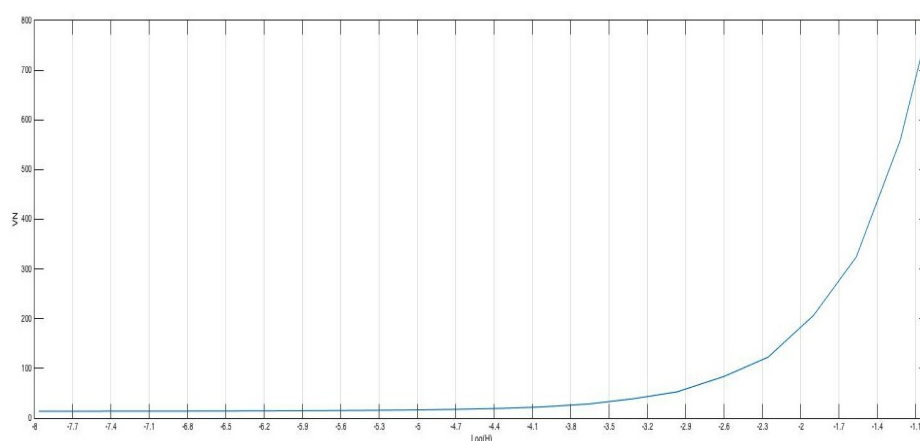


Figure 35 : Représentation resserrée sur le bas de la courbe précédente.

Sur ces représentations (Figure 34 et 35), nous utilisons un logarithme de base 10 pour l'expression des luminations. Chaque écart de 0,30 logH équivaut à un diaphragme. La profondeur de codage native est de 14 bits dans le cas du ArriRaw, soit 16384 valeurs. Le premier écart de 0,30 de logH, le premier diaph avant la saturation est encodé sur 8192 valeurs, soit la moitié de la profondeur de codage. Chaque diaphragme ensuite sera encodé sur la moitié de la profondeur de codage laissée disponible. Chaque écart de logH n'est donc pas encodé sur le même nombre de valeurs numériques et cela en défaveur des basses lumières qui sont sous-échantillonnées par rapport aux hautes.

Nous sommes capables de distinguer deux points de densité (0,02 de densité). Pour encoder correctement un diaphragme, un écart de logH, il faudra alors au minimum 15

valeurs puisqu'un écart de diaphragme est traditionnellement associé à 30 points de densité. Avec pour point de départ une profondeur de codage de 16384 valeurs et un système d'encodage tel que nous l'avons défini, le 10^e diaphragme sera encodé sur 16 valeurs et le 11^e sur 8 valeurs. Ce dernier diaphragme ne sera donc pas encodé sur un nombre de valeurs suffisant. Ce sous-échantillonnage influe donc forcément sur notre analyse de l'étendue utile, limitée à 10 diaphragmes pour une profondeur de codage de 14 bits. Par ailleurs, nous l'avons dit, nous sommes sensibles aux logarithmes d'une excitation, ce qui nous rend plus sensible encore à ce sous-échantillonnage des basses lumières. Ce système d'encodage différencié selon le logH devra aussi être pris en compte dans notre stratégie d'exposition.

B. Sensibilité et Indice d'Exposition

La sensibilité d'un capteur argentique ou numérique est la réponse de ce capteur photosensible à une certaine quantité de lumière qui lui est exposée. La sensibilité est l'aptitude à capter de faibles phénomènes. Plus un capteur est dit sensible, moins il a besoin d'être exposé à de fortes quantités de lumière pour fournir une réponse. A l'inverse, plus un capteur est d'une faible sensibilité, plus il aura besoin d'être exposé à de fortes luminations pour répondre. La sensibilité d'un capteur est alors inversement proportionnelle à sa lamination. On pose alors :

$$S = \frac{x}{H} \quad \text{où } x \text{ est une constante}$$

La courbe de réponse H&D que nous venons d'étudier est donc l'expression la plus complète de cette sensibilité. La sensibilité est par ailleurs quantifiée par un Indice d'Exposition. Depuis le cinéma argentique, cet Indice d'Exposition, EI, conserve les mêmes caractéristiques. Il ne correspond à aucune norme internationale ou nationale. Il

s'inspire seulement de la norme photographique ISO 6 et surtout de son échelle de valeurs. Son incrémentation suit la même logique que l'échelle de diaphragme. Lorsqu'une valeur de sensibilité ISO est doublée, cela correspond à une augmentation d'un diaphragme. Il en est alors de même pour l'échelle d'Indice d'Exposition.

La sensibilité est donc une caractéristique native du capteur annoncée par les fabricants sans obligation de répondre à des règles communes quant à la manière de la déterminer. On parlera alors de sensibilité nominale.

Cette sensibilité nominale est alors calculée et annoncée par les fabricants pour engager le chef opérateur à exposer *correctement* le capteur argentique ou numérique, c'est-à-dire pour que le chef opérateur pose son sujet au sein de l'étendue utile, là où le capteur est sensible, là où il répond en évitant les zones de d'aptitude au contraste nulle, en évitant de perdre une partie de l'information du sujet. Pour cela, le fabricant détermine une valeur de lamination correspondante à un niveau de réponse seuil et une constante x de façon à ce que la valeur EI annoncée puisse mettre en adéquation la mesure d'exposition du sujet à la prise de vue avec la courbe de réponse native du capteur. En effet, les outils traditionnels, spotmètre et cellule de mesure incidente, à disposition du chef opérateur pour mesurer le contraste de son sujet et travailler de manière cohérente selon sa stratégie d'exposition permettent d'obtenir un couple vitesse / diaphragme pour une sensibilité donnée.

En argentique, la détermination de l'EI suivait généralement la « méthode cinéma » utilisé par Kodak pour annoncer les sensibilités nominales de ses émulsions. Cette méthode prenait logiquement le parti de choisir une lamination seuil de manière à ce que l'indice d'exposition inscrive les stratégies de pose du chef opérateur dans une protection des basses lumières du sujet. Le choix de l'EI contraint alors à exposer pour les basses lumières, à penser sa stratégie en évitant d'exposer le sujet dans la zone de densité minimale où l'information serait forcément perdue. La lamination seuil était alors trouvée par correspondance avec une densité de 0,20 au dessus de la D_{min} .

En numérique, la méthode de détermination de la sensibilité nominale est là encore propre à chaque fabricants mais n'est pas connue par les utilisateurs, comme cela était le cas avec la méthode utilisée par Kodak en argentique. On ne peut alors que faire des suppositions quant aux logiques motivants ces choix. La sensibilité annoncée par les fabricants doit pouvoir contraindre la pose du chef opérateur à éviter la zone de saturation. La détermination du facteur de sécurité rentre alors dans une logique de protection des hautes lumières du sujet. La lamination seuil est alors trouvée par correspondance avec un niveau de réponse en valeur numérique précédent la saturation. Par ailleurs, en numérique, le facteur de pente de la courbe de réponse est lié la sensibilité du capteur. Plus la sensibilité S est grande, plus la pente de la courbe est rapide et, comme nous l'avons vu, plus l'étendue utile est restreinte. La course à la plus grande étendue utile (et surtout supérieure à l'argentique) par les fabricants de caméra de cinéma numérique devrait alors aller de paire avec l'annonce de sensibilité faible. Pourtant, les fabricants mènent dans le même temps une course contradictoire aux grandes sensibilités. Arri annonce pour la caméra Alexa une étendue utile de 14 diaphs et une sensibilité nominale de EI800¹¹. Sony annonce elle aussi que sa caméra F65 « dispose d'une latitude de 14 stops » et en même temps « une sensibilité élevée »¹². De plus, les fabricants annoncent un intervalle de sensibilité pour laquelle l'étendue utile sera conservée. Cela ne peut être le cas. Poser à EI400 plutôt qu'à EI800 un même contraste sujet a pour conséquence de le déplacer plus haut sur la courbe et donc de profiter d'une étendue utile plus importante.

Au delà de la question de la sensibilité nominale des capteurs qui relève plus d'un exercice de communication, nous nous rendons bien compte que la problématique qui doit nous intéresser est la sensibilité réelle du capteur, celle qui nous permettra de construire une stratégie d'exposition consciente de la courbe de réponse et de ces caractéristiques. Nous pourrons alors déterminer l'indice d'exposition mettant en adéquation notre stratégie de pose, nos outils de mesure et la réponse du capteur.

11 http://www.arri.com/camera/alexacameras/camera_details/alexas/

12 <http://www.sony.fr/pro/product/broadcast-products-camcorders-digital-motion-picture-camera/f65/features/#features>

L'indice d'exposition a toujours été un paramètre de pose à disposition du chef opérateur. Libre à lui de la modifier pour convenir à ses choix. En argentique, il n'était pas rare que le chef opérateur utilise la pellicule à une sensibilité différente de la valeur nominale. Le chef opérateur faisait alors le choix de poser son contraste sujet en dehors des recommandations du fabricant. On parlait alors d'aller sous-exposer ou sur-exposer la pellicule pour jouer sur les différentes aptitudes au contraste de la courbe ou bien encoder les informations de couleurs différemment. Nous y reviendrons. Se détacher de cette valeur nominale fixée par le fabricant en cinéma numérique doit nous permettre alors de penser notre stratégie d'exposition du sujet plus librement et en prenant bien plus appui sur la courbe de réponse du capteur et ses caractéristiques natives.

C. Sensibilité spectrale

Dans la courbe H&D, la réponse du capteur n'est envisagé que depuis la quantité de la lumière qui lui est exposé, indépendamment de la question du spectre de cette lumière. Pour terminer d'analyser les caractéristiques natives d'un capteur argentique ou numérique, nous devons aussi étudier sa réponse spectrale.

Si les rayonnements lumineux composés de radiations comprises entre 380nm et 770nm sont dits « visibles », ce n'est seulement parce que le récepteur qu'est notre œil y est sensible. Ces rayonnements ne sont donc pas forcément visibles pour d'autres récepteurs. Les récepteurs photosensibles qui composent les capteurs argentiques et numériques ne voient pas comme notre œil. L'étendue de longueurs d'onde pour laquelle répond un capteur n'est pas la même que notre œil et puis la courbe d'efficacité lumineuse selon les longueurs d'onde de radiations ne peut-être la même non plus.

Sur la *Figure 36*, on voit par exemple que les cristaux d'halogénures d'argents, récepteurs photosensibles des pellicules, n'ont pas la même sensibilité spectrale que les pigments photosensibles de des récepteurs de la vision humaine. Naturellement, ils *voient* les

rayons X, les rayons gammas, les rayons UV et une partie seulement de la lumière visible, les courtes longueurs d'ondes associées à la couleur bleu. Les pellicules ne voient pas directement dans le visible, il a fallu modifier la chimie des émulsions pour y remédier. Les émulsionneurs ont du trouver des moyens d'abord pour couper la sensibilité aux rayonnements de longueur d'onde extérieurs au visible et ensuite pour étendre cette sensibilité aux moyennes et longues longueurs d'onde du visible.

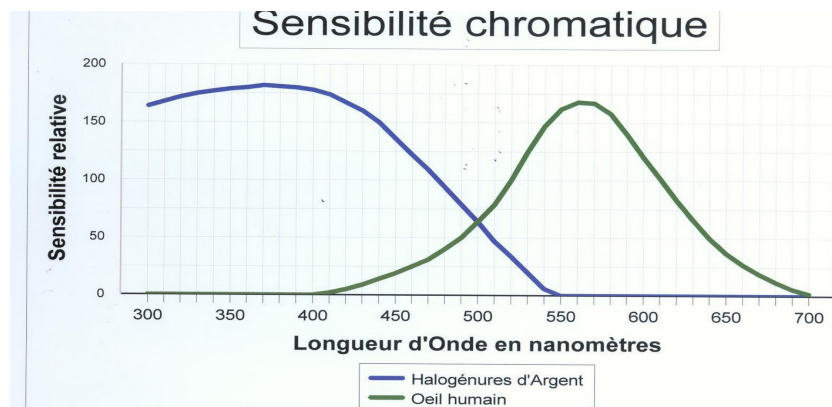


Figure 36 : Courbe d'efficacité spectrale de l'oeil (verte) et courbe de sensibilité spectrale d'un halogénure d'argent (bleue)

La première partie de la solution est l'ajout de filtres anti-UV au dessus de l'émulsion. La seconde partie de la solution est l'apport de colorants sensibilisateurs dans la chimie de l'émulsion. Ces colorants en absorbant les radiations de longueurs d'ondes supérieures à 500nm vont permettre de transformer l'énergie portée par ces photons particuliers en électrons qui vont pouvoir réagir avec les ions argents. Les premières pellicules étaient orthochromatiques, sensibles aux courtes et moyennes longueurs d'onde. Puis, à partir de 1922, la chimie de ces colorants sensibilisateurs ont évolué et les pellicules ont pu devenir panchromatiques, sensibles à une étendue de longueurs d'onde plus proche du visible.

La sensibilité spectrale qui nous intéresse en tant qu'opérateur n'est donc pas celle du seul récepteur photosensible mais bien celle de l'ensemble du système de captation des luminations spectrales. Encore une fois, il faudra être conscient de l'impact de l'optique sur cette sensibilité spectrale.

En numérique, la sensibilité spectrale du dispositif est liée à la réponse spectrale native des photosites, à la transmittance spectrale des différents filtres composant la matrice de Bayer et à celle du filtre anti-IR disposés en avant du capteur.

La matrice de Bayer est une mosaïque de filtres apposée sur le capteur de manière à faire correspondre à chaque photosite un filtre rouge, vert ou bleu. Cette matrice reprend alors le principe de trivariance de l'information nécessaire à la synthèse d'une information de couleur. Chaque photosite n'est alors exposé qu'à une fraction de la lumière issue du sujet, les luminances spectrales transmises par son filtre. La réponse du capteur numérique aux luminations est alors encodée dans trois canaux différents, selon qu'elle soit issue de tel ou tel photosite porteur de la réponse transmise par tel ou tel filtre. Le produit spectrale de la réponse du capteur et des filtres détermine dans le même temps les trois primaires caméra et donc l'espace couleur au sein duquel les couleurs seront codées.

Les caméras de cinéma numérique se sont dotées de filtres anti-infrarouge pour restreindre la réponse spectrale du système aux seules radiations du visible. Les filtres anti-IR sont donc censés avoir un facteur de transmission spectrique nul pour les radiations supérieures à 770nm.

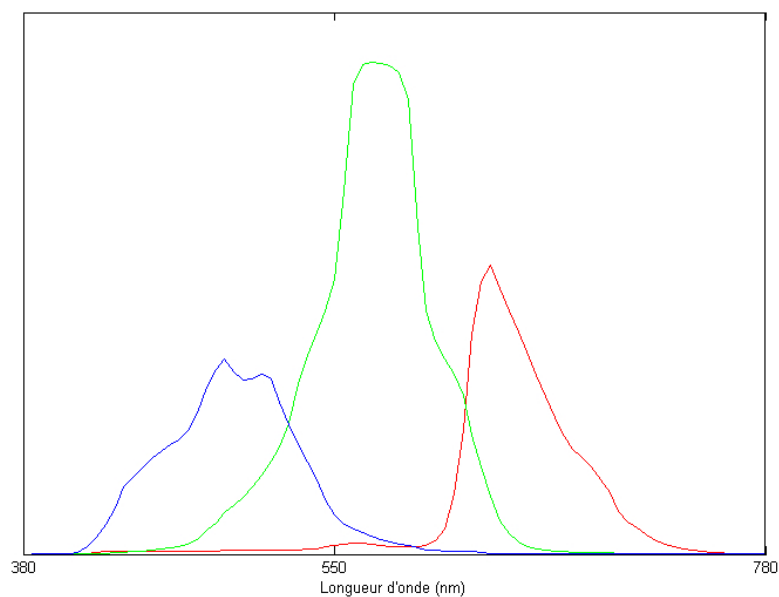


Figure 37 : Exemple d'une courbe de sensibilité spectrale, ici de l'Arri Alexa, composée des trois réponses spectrales des différents photosites rouges, verts et bleus.

Cette courbe de sensibilité spectrale (*Figure 37*) est alors un outil supplémentaire à l'analyse de la sensibilité du capteur et à l'anticipation de sa réponse aux sujets auxquels nous choisissons de l'exposer.

La première manière de l'utiliser est de comparer la sensibilité spectrale de notre caméra avec la distribution spectrale des sources participants à nos sujets filmés. Si, par exemple, la distribution spectrale d'une source émet en grande partie dans une zone de longueurs d'onde, pour lesquelles la courbe de sensibilité spectrale de notre caméra montre une réponse nulle ou plus faible, cela aura une incidence sur l'enregistrement de notre sujet. Nous cherchons donc à savoir dans quelles proportions le capteur répond au spectre de notre source et surtout s'il est sensible à toutes les radiations émises par cette source.

Prenons par exemple le cas des écrans à tubes cathodiques. Leurs émissions spectrales sont composées de deux pics dans les grandes longueurs d'onde dont une au delà de 700nm. Ces pics d'émission participent à notre sensation de couleur du sujet puisque compris dans le domaine visible. Seulement, les caméras étant peu ou pas sensibles aux longueurs d'ondes supérieures à 700nm, aucune réponse n'était encodée pour le second pic émis dans le rouge. La réponse spectrale était alors fortement différente de la distribution spectrale des tubes cathodiques. La sensation procurée par l'image de ce sujet basculait alors vers les bleues.

Le problème peut se poser à l'inverse : le capteur peut être sensible à des émissions spectrales auxquelles notre œil ne l'est pas. Prenons pour exemple un fait qui nous a été rapporté par les membres d'une équipe de tournage. Une scène d'enterrement tournée en Corse, éclairée par le Soleil. Tous les personnages portent des habits sombres de textures différentes. Alors qu'à l'oeil tout va bien, sur l'image tous les vêtements ont basculé vers des couleurs différentes. Les filtres anti-IR de la caméra empêche la transmission des radiations au delà du visible mais ils arrêtent de couper trop tôt et n'ont alors pas pu stopper la transmission de radiations infra-rouge de l'émission solaire de plus grandes longueurs d'onde encore. Le capteur y étant sensible, ces émissions ont participé à la réponse et donc à la formation de l'image, ce qui n'était pas souhaitable.

La question de la sensibilité spectrale est alors une preuve supplémentaire pour justifier que toutes nos réflexions d'analyse et de mesure d'un sujet doivent toujours l'être en fonction du récepteur et de ses caractéristiques. Notre œil ne peut être l'unique outil d'analyse d'un sujet si le but est de l'exposer à un capteur dont les caractéristiques de réponse aux luminances et luminances spectrales sont différentes.

Pour finir, en forme d'ouverture sur de nouveaux doutes, intéressons nous à nos outils de mesure. Ils sont eux aussi des récepteurs particuliers et nous allons baser une partie de notre stratégie d'exposition sur la réponse qu'ils nous apportent face au sujet. Ils ont donc eux aussi une réponse spectrale particulière. Si cette réponse spectrale n'est pas la même que celle de notre capteur, les résultats que nous en tirerons ne permettront pas d'en tirer des conclusions certaines quant à notre manière d'exposer le sujet. Les cellules incidentes et spotmètres utilisés par les chef opérateurs en cinéma numérique ont été conçus pour être en adéquation avec la réponse des émulsions. Si ces outils nous permettent de nous extraire de la réponse de notre système visuel, assurons nous qu'ils nous fournissent une réponse en cohérence avec la réponse du dispositif de capture utilisé.

D. Température d'équilibre

La température de couleur d'une source de lumière blanche est une caractérisation supplémentaire à sa distribution spectrale, trouvée par comparaison avec l'émission théorique d'un Corps Noir échauffé à cette température. On parlera alors de température de couleur proximale pour caractériser l'équilibre du spectre d'une source de lumière pouvant procurer une sensation de blanc, c'est-à-dire auquel notre système visuel peut s'adapter en corrigeant le déséquilibre en rouge ou bleu. La température de couleur est exprimée en Kelvins.

Le capteur argentique ou numérique fournira une réponse équilibrée, c'est-à dire une réponse équivalente dans les canaux rouge et bleu, lorsqu'il sera exposé à une

distribution spectrale de température de couleur égale à sa température d'équilibre. Le capteur n'a pas la capacité d'adaptation aux différents équilibres de températures de couleur, il n'a forcément qu'une seule température d'équilibre native. Cela était évident en argentique avec les différentes normes de température d'équilibre des émulsions. En numérique, les caméras offrent la possibilité de jouer sur un curseur de température d'équilibre laissant croire à une adaptation de la réponse sans risque. Seulement ce ne peut être le cas, ce changement de température d'équilibre déterminera forcément un traitement de correction de balance des blancs. Ce choix à la prise de vue n'est alors qu'une métadonnée servant à appliquer des gains à la réponse de chacun des canaux rouge, vert et bleu de manière à les ré-équilibrer. Déterminer la température d'équilibre native de notre capteur contribuerait alors à définir des choix d'exposition minimisant l'influence de traitements, en l'exposant par exemple à des lumières de température de couleur au plus proche de sa température d'équilibre.

E. Devenir une image

La capteur a fournit une réponse aux luminations auxquelles il a été exposé. En numérique la réponse de chaque photosite est exprimé par une valeur numérique dépendante de la quantification sous la forme d'un fichier. Ses réponses numériques correspondent par ailleurs à une portion spectrale du sujet selon le filtre qui était associée au photosite ayant répondu. L'image n'est alors qu'une matrice de valeur numérique. A ce stade, l'image n'existe pas encore. En argentique, l'image latente nécessite d'être développée et tirée sur une pellicule positive. En numérique, plusieurs cas de figure existent. Ils diffèrent selon le flux d'enregistrement du fichier et les options prises pour chacun des traitements. Faisons le tour de ces différents traitements qui peuvent être appliqués au signal numérique linéaire issu du capteur, à la matrice où la valeur numérique associée à chaque futur pixel correspond à la réponse de chaque photosite.

- La débayerisation. Cette opération vise à séparer les informations issus des photosites selon l'organisation des filtres de la matrice de Bayer. On obtient alors trois matrices pour chacune des trois réponses du capteurs aux luminations transmises par les filtres rouge, vert et bleu. Chaque matrice est alors composée de trous correspondants aux valeurs numériques présentes dans les deux autres matrices.
- L'interprétation. Cette étape du traitement consiste à remplir les manques d'informations de chacune de matrice par interpolation avec les valeurs numériques voisines. Nous avons alors trois matrices pleines.
- La correction de balance des blancs. Cette étape vise à ré-équilibrer les valeurs numériques de chacune des trois matrices en fonction de la métadonnée de Température d'équilibre choisie par l'opérateur à la prise de vue. Pour cela, des gains, des coefficients sont appliqués aux trois groupes de valeurs numériques depuis la Température d'équilibre native du capteur.
- Le seuillage des valeurs. Il vise à déplacer les valeurs numériques au sein de la profondeur de codage de manière à repositionner ce qui doit correspondre au noir et au blanc de l'image aux valeurs numériques limites souhaités par le fabricant. On a pu voir par exemple sur la courbe de réponse du capteur de l'Arri Alexa qu'aucune réponse n'était encodée sur les quatre premiers bits de la profondeur de codage. Cette étape viendra alors affilié des valeurs numériques plus petites aux pixels porteurs de ces anciennes plus petites valeurs numériques.
- Le changement d'espace colorimétrique. Ce traitement est basée sur une multiplication des valeurs numériques par une matrice mathématique de passage d'un espace à un autre. Les valeurs numériques de chacune des trois matrices sont jusqu'ici inscrites dans un espace couleur propre à la caméra. Cela nécessite alors d'en changer pour un espace couleur normé.
- Le changement de gradation. Cette opération peut être motivée par le fait de conduire l'image vers un espace de travail normé. C'est le cas de gradation

gamma. La gradation gamma est le résultat d'une fonction de puissance gamma ou anti-gamma :

$$VN_{sortie} = VN_{entrée}^{\gamma} \quad VN_{sortie} = VN_{entrée}^{\frac{1}{\gamma}} \quad 13$$

Le changement de gradation, en jouant sur des aptitudes au contraste localement faibles, peut aussi permettre de répartir l'information de manière à encoder sur une profondeur de codage plus faible. Ainsi le poids de stockage des informations numériques peut être fortement réduit. C'est le cas de la gradation logarithmique qui s'appuie sur une fonction log :

$$VN_{sortie} = \log(VN_{entrée})$$

- Des algorithmes de compressions avec ou sans perte peuvent aussi être appliqués, en particulier des compressions par sous-échantillonnage des informations de chrominances.

La différence des flux d'enregistrement se trouve dans les options prises à chacun des traitements. Le choix du flux d'enregistrement détermine surtout l'étape du développement à laquelle nous récupérons le fichier. L'opérateur peut décider de laisser tous les traitements être réalisés par la caméra ou récupérer le fichier plus en amont et avoir la main sur le développement. Le flux raw vise à fournir un fichier brut, non traité, au plus proche de la réponse du capteur. Ce flux permet alors de récupérer le fichier le plus riche. Dans les faits, ces fichiers font souvent l'objet de pré-traitements et leurs caractéristiques communes est surtout de ne pas avoir subi de débayerisation. Le flux raw de l'Arri Alexa est particulier puisque ce signal brut n'est déjà plus linéaire. Il lui aura forcément été appliqué une gradation logarithmique. Cela nous conduit à rajouter une définition à l'Indice d'Exposition choisis lors de la prise de vue dans le cas des caméras Arri : la gradation logarithmique appliquée est différente selon l'EI de prise de vue. Exposé à un certain indice d'exposition en suivant les recommandations d'Arri, revient à placer son contraste sujet à endroit connu de la courbe. La gradation logarithmique leur permet d'adapter et d'optimiser leurs traitements selon ce placement sur la courbe de

13 Ces formules sont justes pour des valeurs numériques relatives, c'est-à-dire exprimées entre 0 et 1.

réponse.

En dehors du flux raw, les flux sont subissent plus de traitements et sont orientés vers un espace de travail connu et souvent normé. Le flux *device oriented* (orienté vers un dispositif) le plus utilisé en cinéma numérique est le flux log. Le fichier a été débayerisé, interpolé, équilibré en balance des blancs, seuillé, transformé vers un espace colorimétrique normé et surtout il lui a été appliqué une gradation logarithmique propre au fabricant. Les caméras de cinéma numérique proposent même d'autres flux, répondant plus d'une logique vidéo que cinéma, comme des flux Rec709. Dans ce cas, cela signifie a priori que le changement d'espace colorimétrique s'effectue vers l'espace Rec709 et que la gradation gamma correspond à la norme Rec709.

CHAPITRE 2 : L'exposition du sujet pénombrial

Après avoir étudié les réponses d'un capteur numérique aux luminations et luminations spectrales auxquelles il est exposé, intéressons nous alors à travers différents tests au cas plus particulier des images pénombrales. Nous en avons déterminé deux types lors de la seconde partie. Nous avons alors défini les spécificités de chacun de ces deux sujets pénombraux à filmer. Il s'agira d'abord de définir une stratégie d'exposition prenant en compte les résultats de ce premier chapitre. Ensuite, nous ferons le point sur les enseignements à tirer de nos prises de vue d'image pénombrale d'extérieur et d'intérieur.

A. Stratégies d'exposition d'une image pénombrale

Rappelons que nos deux types d'images pénombrales se différencient par le contraste sujet de la scène filmée. Dans le cas de la pénombre d'extérieur, le contraste sujet est égal au contraste objet (sauf dans le cas de la présence de la source dans l'image). Le contraste objet maximal est celui entre un facteur de réflexion de 2% et un facteur de réflexion de 80%. Ce contraste sujet vaut alors 40, ce qui équivaut en diaph à un contraste de $5\text{Ø} + 1/3$ ¹⁴. Dans le cas de la pénombre d'intérieur, le contraste sujet répond à la fois du contraste objet et du contraste éclairement, il peut alors être bien supérieur.

Le chef opérateur, après avoir éclairé sa scène de manière à générer le contraste souhaité, doit décider de la manière dont il va l'exposer au capteur. Il va poser son sujet, c'est-à-dire déplacer le contraste sujet au sein de l'étendue utile en fonction de sa stratégie d'exposition.

Nous cherchons à produire des images sombres. La stratégie d'exposition vidéo inviterait alors à poser le sujet de manière à ce que la réponse soit directement prête à

¹⁴ On utilise $2^{\text{EV}} = 40$
 $\text{EV} = \log(40) / \log(2) = 5,3.$

être diffusée. Dans le cas de l'image pénombrale d'extérieure, nous choisirions de poser le contraste sujet dans le bas de la courbe de façon à ce que la réponse soit tout de suite analysée par les traitements comme une image dont l'ensemble du signal sera compris entre 0 et 20% par exemple. La stratégie d'exposition argentique pourrait nous conduire à aller poser notre sujet dans le bas de la courbe pour profiter du facteur de pente évolutif du pied par exemple. Ce serait alors une manière de générer une aptitude au contraste différente dans les basses lumières de notre sujet dès la prise de vue.

La stratégie d'exposition de cinéma numérique doit s'affranchir de ces deux stratégies pour se penser en cohérence avec les caractéristiques de sa propre courbe de réponse. Le workflow cinéma n'impose pas d'obtenir une image terminée dès la prise de vue. Un étalonnage aura forcément lieu. La courbe de réponse numérique étant linéaire, nous n'avons pas non plus de raison de penser notre pose en fonction d'une différence de pente dans le but de jouer sur l'aptitude au contraste. En numérique, nous n'aurions que des inconvénients à poser délibérément notre contraste sujet dans le bas de la courbe de réponse. Cela sera prendre le risque du sous-échantillonnage des basses lumière et de voir apparaître du bruit dans nos images. Pour s'en convaincre nous avons réaliser un test de bracketting d'exposition d'une charte de couleur. Il en ressort ce à quoi nous pouvions nous attendre. Plus la charte fut exposée dans le bas de la courbe, plus l'image se dégradait à cause du bruit et plus l'opération d'étalonnage devenait difficile (*Figure 38*).

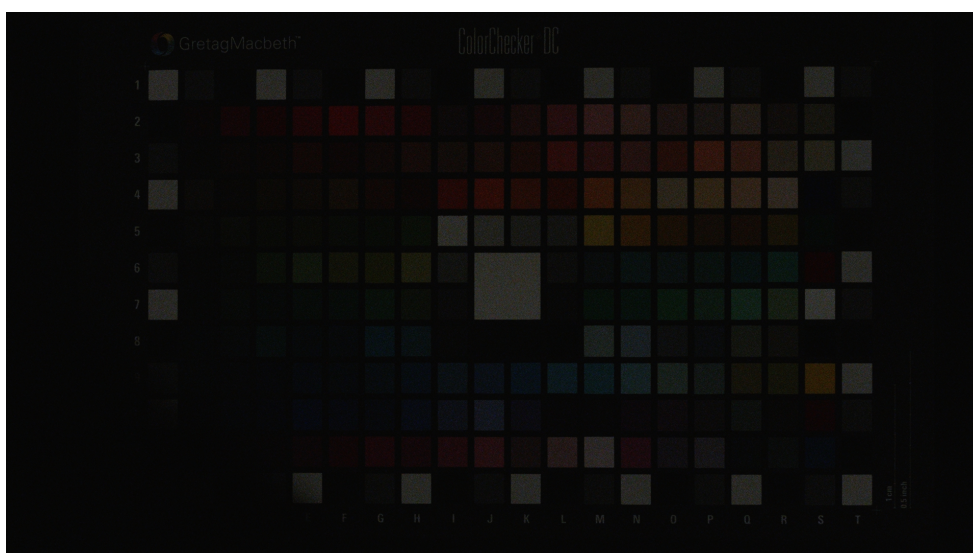


Figure 38 : Image test d'une Color Checker DC exposée au plus bas de la courbe en RAW avec l'Arri Alexa puis étalonnée.

En effet, la pauvreté du fichier résultante du sous-échantillonnage diminue fortement l'amplitude d'actions sur l'image allant jusqu'à rendre l'étalonnage impossible sans générer des artefacts. Nous avons alors tout intérêt à placer notre sujet au plus de la courbe de réponse. Notre premier contraste sujet de $5\sigma + 1/3$ est assez faible pour pouvoir être déplacé au sein de l'étendue utile du capteur numérique. Le poser dans le haut de la courbe permettra de profiter du sur-échantillonnage des hautes lumières. Ainsi, nous bénéficierons pour chacun de ces diaphs du sujet d'un encodage riche dont on pourra profiter lors de l'étalonnage. Poser notre second contraste sujet, qui lui est plus important, dans le haut de la courbe sera là le moyen d'éloigner le plus possible les basses lumières de notre sujet du bruit et du sous-échantillonnage. Poser pour les hautes lumières de notre sujet n'est donc pas seulement motivé par le besoin de se protéger de la saturation mais aussi par le souhait d'optimiser au maximum les possibilités de la réponse du capteur.

Construire sa stratégie d'exposition en utilisant la sensibilité nominale annoncée par les fabricants conduit effectivement le chef opérateur à poser son sujet de manière à ne pas prendre le risque de saturer. Seulement le facteur de sécurité est bien trop important et nous entraîne finalement à ne pas utiliser toute l'étendue utile, à ne pas profiter du sur-échantillonnage et donc à risquer le sous-échantillonnage et le bruit.

Pour pouvoir poser notre sujet pénombrial au plus haut de la courbe, nous devons alors calculer la sensibilité réelle du capteur et ainsi mettre en adéquation nos outils de mesure de prise de vue avec la courbe de réponse.

B. Conséquences au tournage

Adopter cette stratégie d'exposition impose donc de travailler dans des conditions particulières. Tout d'abord, il faut pouvoir se permettre d'atteindre de telles luminations du capteur. La faible sensibilité réelle du capteur appelle l'utilisation de sources puissantes ou bien de filmer à un diaphragme très ouvert, ce qui ne correspond pas forcément aux choix de profondeur de champ. En studio, nous pouvons donc nous permettre d'utiliser des sources assez puissante pour être encore libre de modifier l'ouverture de notre diaphragme et choisir notre profondeur de champ.

Cette stratégie d'exposition ne doit pas non plus devenir un nouveau dogme imposant des choix trop strictes pour être libre d'en réaliser d'autres quant aux autres enjeux esthétiques de l'image. Dans le cas d'un faible contraste sujet comme c'est le cas pour les sujets pénombraux d'extérieur, nous pouvons nous permettre de ne pas poser au plus du plus haut de la courbe. Si nous souhaitons profiter d'un échantillonnage correcte de nos diaphragme, nous n'avons pas non plus besoin d'encoder un diaphragme sur 8192 valeurs numériques. Il serait alors tout à fait cohérent avec la pensée de cette stratégie dans ce cas de fermer d'une ou deux ouvertures de diaphragmes pour gagner en profondeur de champs.

Ensuite, cela a pour conséquence de créer des scènes réelles très lumineuses. L'installation d'une lumière pénombrale en studio ne produira alors aucune sensation pénombrale à l'observateur présent. Un comédien eut une réaction d'étonnement lorsque je lui décrivais l'ambiance de pénombre de la scène dans laquelle il devait jouer

puisque le studio était alors très lumineux.

Enfin, cette stratégie de pose d'un sujet pénombrial dans le haut de la courbe rentre en contradiction avec l'envie de plus en plus importante de pouvoir visionner l'image sur le plateau. Les moniteurs vidéos sont de plus en plus présents et tout le monde veut pouvoir y jeter un œil. Seulement le signal affichée sur ces moniteurs est le résultat de traitements de la réponse du capteur appuyés sur une logique vidéo. La réponse du capteur à un sujet pénombrial de faible contraste posé dans le haut de sa courbe sera analysée comme un sujet très lumineux et les images affichées sur les moniteurs n'auront rien de sombre. J'ai expérimenté cette stratégie d'exposition sur le tournage de la PPM de Pierrick Roland, *A Lucky Day*, pour laquelle j'étais chef opérateur. Un moniteur 22 pouces trônait sur le plateau et la visée de l'Alexa Standard étant électronique, le réalisateur-cadreur visualisait lui aussi le sujet à travers une image traitée par la caméra. Tout le monde a alors accès à une image qui ne correspond en rien à ce qu'elle sera par la suite. Cette stratégie conduit aussi à donner à voir des images différentes au sein d'une même séquence. En effet, entre un plan où la fenêtre est dans le cadre et son contre-champ, la plus haute lumière du sujet n'est plus la même. Pourtant, je posais dans les deux cas, le sujet de la même manière, c'est-à-dire la plus haute lumière au plus haut de la courbe. L'analyse du signal étant toujours la même, l'image du second plan affichée sur le moniteur et dans la visée paraissait ne pas raccorder avec l'image du premier plan. Peut-être devrions nous alors avoir plus conscience comme c'était le cas en argentique, que l'image n'est à ce stade que latente.

C. Test sur l'image de pénombre extérieure

Pour la partie pratique de ce mémoire, nous avons réalisé une image de pénombre d'extérieure à partir des résultats de nos différentes recherches. L'idée était de reprendre les caractéristiques du sujet de pénombre d'extérieur que nous avons détaillé dans les deux encadrés de fin des parties 1 et 2. Il fallait aussi pouvoir mettre en œuvre notre stratégie d'exposition. Ce test de prise de vue a été réalisé sur un flux RAW avec une Arri Alexa pour être au plus prêt des résultats de nos tests précédents. L'idée était d'interroger la manière de produire une telle image.

Lumière diffuse, source large et puissante

La première étape fut de déterminer la source utilisée pour créer ce sujet pénombral. Nous l'avons déjà évoqué auparavant les caractéristiques qualitative d'une lumière produite par un ciel de pénombre peuvent s'apparenter à celle d'une lumière d'un ciel couvert. On retrouve alors la largeur de la source, le caractère diffus de sa lumière. Cela a par ailleurs un avantage de taille : la source est bien plus puissante qu'une vraie lumière pénombrale. Il ne sera pas difficile de poser notre sujet au plus haut de la courbe.

A la manière de la technique la nuit américaine qui consiste à filmer de jour, nous retrouvons les mêmes écueils à éviter. Le ciel devait être assez chargé pour que les rayonnements du Soleil soient très diffusés. Ainsi, nous évitions la présence d'ombre dans notre sujet. Le contraste de notre sujet n'était alors plus que dépendant du contraste objet de la scène. Nous avons choisis alors d'avoir dans le cadre des éléments de différents facteurs de réflexions : une voiture blanche, un visage, le bitume, le manteau... Nous avons réalisé deux version, l'une avec le ciel et l'une sans. Les mesures au spotmètre de la version avec ciel, reportées sur le photogramme (*Figure 39*), nous indique que le contraste de notre sujet est de $6\sigma + 1/3$.

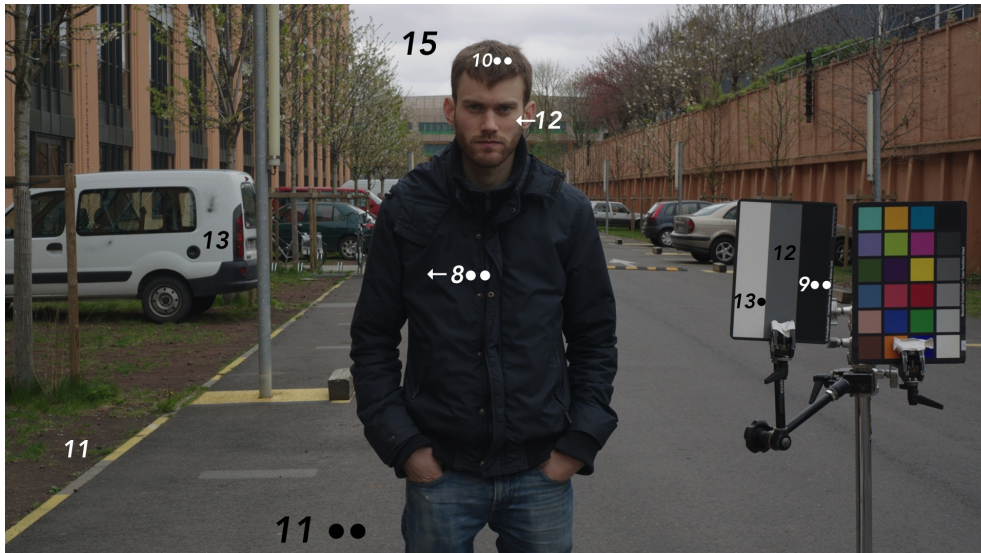


Figure 39 : Photogramme issu du test « image pénombrale d'extérieure » traitée dans un workflow Rec709 sur DaVinci Resolve. Les valeurs d'EV mesurées ont été rajouté.

Nous avons alors poser notre faible contraste sujet au plus de la courbe (Figure 40) puisque la puissance de la source le permettait. Le diaphragme ressortant de notre mesure mise en adéquation avec notre stratégie était alors de $11\text{Ø} + 1/3$, ce qui ne contraignait en rien le choix de profondeur de champs. Si nous avions souhaité une profondeur de champs plus faible, nous aurions alors pu utiliser des filtres neutres et fermer notre diaphragme.

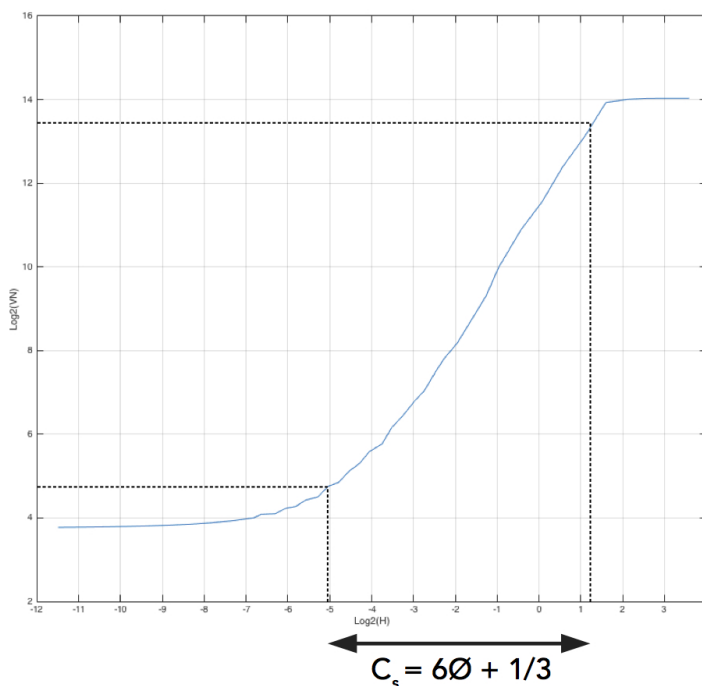


Figure 40 : Courbe de réponse d'une Arri Alexa issu de notre test et représentation du choix de pose du contraste sujet de $6\text{Ø} + 1/3$

Monochromatisme

La question la plus importante de notre test résidait dans l'obtention de la sensation de monochromatisme associée à la lumière pénombrale et à la représentation cinématographique d'une image sombre. Nous tournions donc en extérieure avec pour unique source les rayonnements d'un ciel chargé de jour. La distribution spectrale de cette source était alors celle d'une lumière diurne, loin du fort déséquilibre de la distribution spectrale de la lumière pénombrale que nous avons mesuré lors d'un précédent test. Nous avons testé différents filtres colorés (80A, 80C, DayForNight 1, 2 et 3). L'idée était alors de comparer les possibilités d'action sur le fichier lors de l'étalonnage entre ces prises de vue filtrée et la prise de vue non filtrée. L'hypothèse qui s'est par la suite confirmée était que l'utilisation de filtre n'aurait qu'une incidence néfaste. En effet, filtrer à la prise de vue semble aller à l'encontre de notre démarche d'optimisation du dispositif d'enregistrement dans le but d'obtenir un fichier riche d'informations. Le facteur de transmission spectrique de ces filtres sont plus ou moins faibles pour les moyennes et grandes longueurs d'onde du visible. Les luminations spectrales auxquelles va être exposé le capteur seront alors affectées d'un déséquilibre voire d'une perte sur une partie du domaine alors que les luminances spectrales du sujet étaient importantes sur l'ensemble du domaine visible du fait de la distribution spectrale de la source. Cette perte à cette étape est alors irrémédiable. Nous récupérons alors des fichiers, qui après débayerisation et interpolation, offrent à l'étalonneur des matrices vertes et rouges bien moins riches que la matrice bleue. On peut alors tirer tant que l'on veut sur les curseurs d'étalonnage, si l'information n'est pas présente, rien ne pourra en sortir.

Nous privilégions alors le second choix, celui de ne pas filtrer et pouvoir alors travailler sur trois matrices rouge, verte et bleue aussi riches. Les trois canaux étant différenciés, puisque le fichier RAW vient d'être débayerisé et interprété par le logiciel, nous avons la possibilité d'agir sur chacun des trois signaux assez efficacement. On pourra alors atteindre des nuances bien plus intéressantes dans notre recherche de la sensation d'une

lumière monochromatique bleue.



Figure 41 : Photogramme issu du test « image pénombrale d'extérieure » étalonnée

Lors de ces tests, nous avons aussi décider de nous inspirer la courbe de distribution spectrale de la lumière pénombrale (ANNEXE 1). Nous avons alors fait subir des pertes plus importantes au canal vert qu'au canal rouge puisque sur ces courbes le déséquilibre semble s'opérer plus fortement au niveau des moyennes longueurs d'onde.

Pour la suite

La réalisation de ce test permet aussi de voir que si la sensation de sombre passe par la sensation d'une lumière diffuse, homogène, cela n'est pas forcé d'être le cas dans sa reconstitution. Le visage au sein de ce contraste sujet mériterait d'être plus lumineux. On pourrait alors tricher et rajouter une source, diffuse elle aussi, n'éclairant que le personnage. Cette source, bien que modifiant le contraste éclairément ne changera pas le contraste total du sujet. Il s'agirait de modifier très légèrement la place du visage au sein du contraste sujet exposé au capteur, lui faire gagner un diaph par exemple. Cette seconde source pourrait aussi être l'occasion d'apporter, et là encore de façon presque imperceptible, un contraste chromatique pour sortir le personnage de l'homogénéité de l'image.

D. Test sur l'image de pénombre intérieure

En reprenant ensuite les caractéristiques d'une image pénombrale d'intérieur et du sujet qui l'engendre, nous avons cherché à interroger les choix d'éclairage du sujet à filmer, de son exposition et de l'influence sur son étalonnage. Nous avons alors installé et éclairé un plan en studio. L'idée était d'avoir une tache de lumière ponctuelle au sol, effet d'une entrée de lumière absente du cadre, et le reste de la scène dans la pénombre (lumière diffuse, étale). Nous avons placé dans la zone de pénombre de nombreux objets de facteurs de réflexions lumineux et spectriques différents. La source de la haute lumière était un 5kW Fresnel éclairant en direct et à travers une fenêtre du décors le tapis au sol. Le reste du décors était éclairé en réflexion par un large polystyrène, lui même éclairé par plusieurs Blondes 2kW. Nous avons placé dans chacune des deux zones une gris de facteur de réflexion 18% protégé de la source de l'autre zone.

Contraste : exposition et étalonnage

Le principe du test était de modifier le contraste éclairage entre les deux zones de 3Ø à 8Ø en prenant comme référence les deux gris de même facteur réflexion. Pour cela, nous augmentions la puissance de la source pénombrale. La haute lumière n'étant pas modifiée, l'exposition de la scène reste la même tout du long du test. Le contraste sujet augmente au fur et à mesure des prises. La plus haute lumière de la scène se devait d'être posée au plus haut de la courbe puisque lors de la dernière prise (contraste éclairage de 8Ø), le contraste sujet était de 10Ø (*Figure 42*)

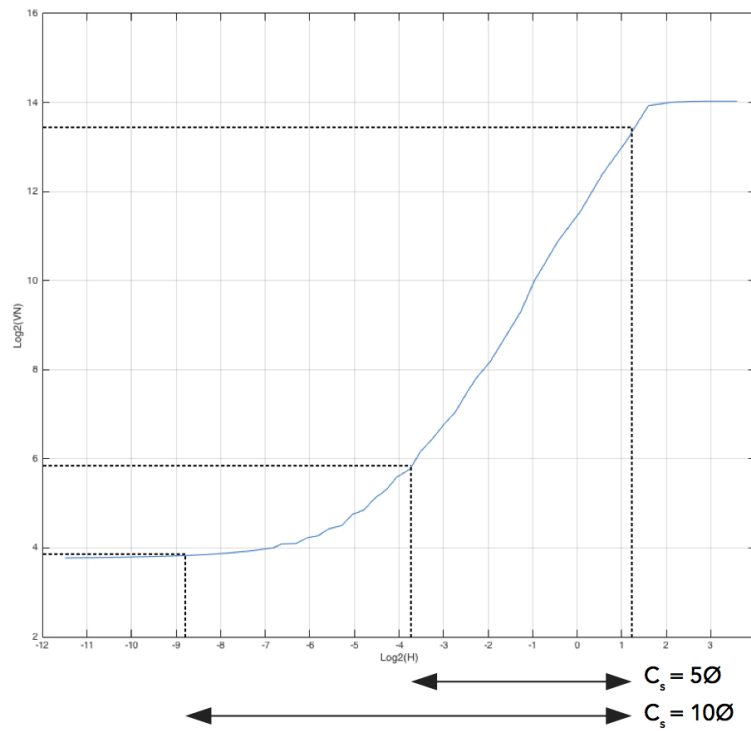


Figure 42 : Courbe de réponse d'une Arri Alexa issu de notre test et représentation du choix de pose pour le premier plan de contraste éclairage de 3Ø ($C_s = 5\text{Ø}$) et pour le dernier plan de contraste éclairage de 8Ø ($C_s = 10\text{Ø}$).



Figure 43 : Photogramme issu du test « image pénombrale d'intérieur » après débayerisation et interprétation, gradation logarithmique du ArriRaw / Contraste éclairage de 4Ø . Les valeurs d'EV mesurées ont été rajouté.

A l'étalonnage, nous avons alors chercher à retrouver une sensation d'image de pénombre à partir de chacune de ces prises. Il en ressort deux enseignements. Le premier concerne la prise du plus faible contraste éclairage (3Ø). Le contraste sujet de cette prise est de 5Ø. En posant pour la haute lumière (*Figure 42*), nous avons éviter de faire subir un sous-échantillonnage préjudiciables aux ombres de notre sujet. La partie « pénombre » de l'image reste assez riche de valeurs numériques pour pouvoir travailler sur la rapidité ou la lenteur de l'aptitude au contraste et travailler sur le rendu des couleurs présente dans cette zone. Seulement, le contraste éclairage a tendance à ne pas assez différencier les deux zones. Il est plus difficile de distinguer les opérations d'étalonnage appliqués à chacune des zones. Le second enseignements concerne les prises de plus grand contraste éclairage (6Ø, 7Ø et 8Ø). Si cette fois, les opérations d'étalonnage différenciées entre les deux zones de l'image sont bien plus aisées, l'importance du contraste sujet (8Ø, 9Ø et 10Ø) nous fait perdre de l'information dans les plus basses lumières de la zone de pénombre. Dans la dernière prise, nous ne sommes pas parvenu à reproduire la même sensation de pénombre que dans les autres prises.

Au tournage, les prises de vue de plus importants contrastes éclairages ont été plus difficile à réalisé. Les réflexions sur le décors de la tâche de haute lumière participait aussi à l'éclairage de la zone de pénombre. Il a fallu alors diminuer la zone d'impact de la source de haute lumière au maximum pour ainsi réduire la puissance des réflexions et atteindre le contraste éclairage souhaité. Le fait que les réflexions des hautes lumières participent plus à l'éclairage de la zone de pénombre dans les dernières prises posaient d'autant plus un problème que nous avons installer un contraste chromatique entre les deux zones.



Figure 44 : Photogramme issu du test « image pénombrale d'intérieur » étalonnée / Contraste éclairage de 5Ø.

Contraste chromatique

Toute cette série de prise de vue a été réalisée avec un contraste chromatique à l'éclairage entre les deux zones. Le 5kW, source de la zone de haute lumière, était filtrée par une gélat ½ CTO. Les Blondes, sources indirects de la zone de pénombre, étaient filtrés par une gélat de ¼ CTB. Nous avons alors réalisé une seconde version de la prise de vue de contraste éclairage 5Ø mais cette fois avec un contraste chromatique différent : le ¼ CTB a été retiré des sources de la zone de pénombre.

Les opération d'étalonnage de la première version ont été copié sur la seconde version. La sensation n'est évidemment pas la même. Dans le premier cas, le contraste chromatique instaure et amplifie la différence entre les deux zones. Dans la seconde version, le plus faible contraste chromatique lie les deux zones : la sensation procurée par les ombre est dans la continuité de celle provoquée par les hautes lumière.

CONCLUSION

La première partie nous a permis de comprendre en quoi la pénombre était une histoire de contraste et de couleur. En observant le sujet pénombrial réel nous avons pu définir les caractéristiques qualitatives et quantitatives d'une lumière pénombrale. La seule source participant au sujet est très large et produit une lumière fortement diffuse. Le contraste éclairage tend finalement à ne plus exister. Le contraste du sujet pénombrial est de ce fait assez faible, équivalant au contraste objet. Les ombres disparaissent. La distribution spectrale de la lumière de pénombre est assez particulière, fortement déséquilibré en faveur des courtes longueurs d'onde, procurant de ce fait une sensation de couleur bleue.

La lumière pénombrale, par ses niveaux de luminances caractéristiques, fait appelle aux mécanismes physiologiques et neuronaux de notre domaine de vision mésopique, domaine de transition entre la vision photopique et scotopique. Alors que la lumière pénombrale organise le passage du monde diurne au nocturne, la réponse de notre système visuel organise le passage entre une vision chromatique et une vision achromatique. A cela, s'ajoute une diminution de la sensibilité au contraste, une baisse de l'acuité visuelle et un déplacement de l'efficacité lumineuse vers les courtes longueurs d'onde. Nos sensations pénombrales sont alors déterminées à la fois par les caractéristiques qualitatives et quantitatives de la lumière du sujet pénombrial et par les mécanismes particuliers de notre vision mésopique. Le sujet de pénombre nous procure une sensation singulière du sombre par son contraste uniquement lié au contraste objet et l'absence d'ombre et par la sensation de couleur tendant vers le monochromatisme bleu.

L'étude des phénomènes de contraste simultané et successif, lors de la seconde partie fut un apport supplémentaire à notre réflexion sur le contraste. Notre système visuel met tout en œuvre pour l'amplifier et organiser notre vision du monde autour de lui. Le contraste s'est alors retrouvé au cœur cœur de notre analyse des représentations cinématographiques s'inspirant de nos sensations pénombrales.

Emprunter aux sensations pénombrales pour façonner une image de de cinéma invitent le chef opérateur à travailler d'une manière particulière la question de la couleur et du contraste. Les caractéristiques quantitatives et qualitatives de la lumière pénombrale semblerait dans un premier lieu nier les possibilités d'action sur le contraste d'un sujet de pénombre. Il n'opère en réalité qu'un déplacement de ce travail vers une opération plus fine de jeu sur le contraste objet. Le chef opérateur n'agit plus seulement sur la lumière mais il doit de nouveau prendre part aux choix de costumes, de décors pour travailler sur les différents facteurs de réflexions des éléments présents dans le plan. La représentation de pénombre en intérieure conduit elle aussi à modifier le travail du contraste de l'image pénombrale en venant y ajouter la présence d'une haute. Par un travail habile sur les rapports de masses dans l'image et sur l'aptitude au contraste, l'opérateur se sert de haute lumière pour augmenter le contraste de son image et procurer la sensation d'obscurité en jouant sur les effets du contraste simultanée. En empruntant à nos sensations pénombrales, la sensation particulière de couleur, l'opérateur peut jouer du monochromatisme de son image et ainsi métamorphoser nos sensations du sombre. L'emprunt aux sensations pénombrales n'est alors inscrit au sein d'une logique de représentation photo-réaliste. Au contraire, les images de pénombre deviennent un lieu d'expérimentation formelles pour renouveler les sensations du spectateur face à l'image sombre.

La dernière partie nous a conduit à analyser les caractéristiques native de l'oeil numérique, le capteur auquel l'opérateur donne à voir son sujet de pénombre pour en retirer une réponse. A partir de notre étude de sa courbe de réponse, de sa sensibilité et de sa sensibilité spectrale, nous avons déterminer les enjeux d'une stratégie d'exposition en cohérence avec les spécificités du capteur numérique. La pose du sujet est une histoire de contraste. Le contraste, déterminant à plusieurs points de vue lors de notre recherche, s'est de nouveau trouvé être un des éléments premiers de l'exposition du sujet au capteur. Nous avons alors expérimenter cette manière d'envisager la pose en

numérique sur nos images de pénombre. Nous en avons alors tiré des enseignements concrets quant aux conséquences que cette stratégie a sur la prise de vue et sur les opérations de traitements de nos images en post-production. En connaissant les caractéristiques natives de notre capteur numérique, nous pouvons alors retrouver une stratégie d'exposition pleinement consciente de l'influence de chacune des options prises.

Si ce mémoire n'apporte pas toutes les réponses, il vise surtout à apporter une démarche de chef opérateur face aux sujets à filmer, face aux images et face aux choix de pose. En prenant conscience des phénomènes physiques de la lumière, des mécanismes physiologiques et neuronaux de notre vision, des caractéristiques natives des capteurs numériques, nous pouvons de nouveau être libre d'effectuer des choix d'opérateur dégagé des dogmes et fausses croyances.

Ce mémoire n'est alors que le début d'une réflexion ayant pris pour appui le phénomène de pénombre. Il a permis d'esquisser une méthode d'analyse des sensations visuelles pour pouvoir ensuite s'en inspirer dans notre création d'image de cinéma.

Le chef opérateur, conscient des phénomènes et réalités physiques, pourra alors raconter des histoires de contrastes et de couleurs aux spectateurs pour métamorphoser ses sensations.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

BELLAÏCHE, Philippe, *Les secrets de l'image vidéo*, Paris, Eyrolles, 2011.

DELMAS, Jean, *La gestion des couleurs pour les photographes*, Paris, Eyrolles, 2007.

DELORME, André, FLÜCKIGER, Michelangelo (sous la dir. de), *Perception et réalité, Une introduction à la psychologie des perceptions*, Bruxelles, De Boeck, 2003.

FOURNIER, Jean-Louis, *La sensitométrie, Les sciences de l'image appliquées à la prise de vues cinématographiques*, Paris, Éditions Dujarric, 2006.

GILLES, Christian, *Les directeurs de la photo et leur image*, Paris, Éditions Dujarric, 1989.

SEVE, Robert, *Physique de la couleur*, Paris, Masson, 1996.

MONCLIN, Alain, *Optique et prise de vues*, Paris, Fémis, 1994.

REVAULT D'ALLONNES, Fabrice, *La lumière au cinéma*, Paris, Éditions Cahiers du cinéma, Collection Essais, 1991.

ROUSSELOT, Philippe, *La Sagesse du Chef opérateur*, Paris, J. C. Béhar, 2013.

Articles

AREND, S, *Ciel et Terre, Décroissance de la lumière naturelle au cours du crépuscule*, 1937

ARMATI, Lucas, *A Los Angeles, les films ne seront plus jamais noirs*, Télérama n°3369-3370, août 2014

Site

VIENOT, Françoise, « La relativité des couleurs », CNRS, URL :
http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doschim/decouv/couleurs/relativite_couleurs.html

Mémoires

DUBIEN, Sarah, *Quelle lumière pour quelle pénombre ?*, Mémoire co-dirigé par Yves ANGELO et Benoît TURQUETY, Section Cinéma, ENSLL, Promotion 2010.

LE BARH, Laurène, *Les hautes lumières en cinéma numérique*, Mémoire dirigé par Alain SARLAT, Section cinéma, ENSLL, Promotion 2014

MORIN, Paul, *Quelles stratégies d'exposition en prise de vues numérique ?*, Mémoire co-dirigé par Alain SARLAT et Jean COUDSI, Section cinéma, ENSLL, Promotion 2014

FILMOGRAPHIE

ANDERSON, Wes, *The Grand Budapest Hotel*, Angleterre, 2014, 99 minutes, directeur de la photographie : Robert D. Yeoman.

CARAX, L-ès, *Holy Motors*, France, 2012, 115 minutes, directeur de la photographie : Caroline Champetier.

MALICK, Terrence, *Days of Heaven*, Etats-Unis, 1978, 94 minutes, directeur de la photographie : Néstor Almendros, Haskell Wexler.

SCORSESE, Martin, *Taxi Driver*, Etats-Unis, 1976, 109 minutes, directeur de la photographie : Michael Chapman.

VON TRIER, Lars, *Melancholia*, Danemark, 2011, 130 minutes, directeur de la photographie : Manuel Alberto Claro.

TABLES FIGURES

Figure 1 : Crépuscules et domaines de visions

Valeurs d'éclairement pour un ciel dégagé.

Correspondance avec l'échelle de luminance pour un diffuseur parfait ($R=1$).

Figure 2 : Courbes de sensibilité au contraste en vision photopique, mésopique et scotopique

Figure 3 : Répartition spectrale d'une source particulière : source tungstène

Figure 4 : Réflectance spectrale $R(\lambda)$ d'un objet particulier

Figure 5 : Luminance spectrique du sujet exemple

Figure 6 : Réponse spectrale des trois types de photopigments des cônes L, M et C

Figure 7 : Schéma du mécanisme de vision des couleurs

Figure 8 : Courbe d'efficacité lumineuse spectrale de l'oeil

Figure 10 : Représentation des trois dimensions de définition d'une couleur

Figure 11 : Evolution de la distribution spectrale des rayonnements du ciel au cours d'une aube.

Figure 12 : Déplacement de la courbe d'efficacité de l'oeil

Figure 13 : Courbes d'adaptation de notre système visuel à l'obscurité

Figure 14 : Les deux carrés du centre identiques physiquement (même densité) sont vus plus ou moins sombre selon leur environnement

Figure 15 : Bandes de Mach

Figure 16 : Photogramme issu de Melancholia : .

Figure 17 : Histogramme en clarté du photogramme précédent (Figure 16)

Figure 18 : Photogramme issu de Days of heaven : la fugue de l'orphelinat

Figure 19 : Photogramme issu de Days of heaven : la calèche

Figure 20 : Photogramme issu de Grand Budapest Hotel : l'homme en noir et la neige

Figure 21 : Histogramme en clarté du photogramme précédent (Figure 20)

Figure 22 : Histogramme en teinte du photogramme figure 18 et bande de teinte

Figure 23 : Quatre photogrammes issus de Grand Budapest Hotel

Figure 24 : Photogramme issu de Taxi Driver : les enseignes lumineuse

Figure 25 : Trois photogramme issus de la séquence d'ouverture de Taxi Driver

Figure 26 : Photogramme issu de Taxi Driver

Figure 27 : Photogramme issu de Taxi Driver : l'autre quartier

Figure 28 : Photogramme issu de Days of Heaven

Figure 29 : Histogramme en clarté du photogramme précédent (Figure 28)

Figure 30 : Photogramme issu de Holy Motors : début de la séquence entr'acte

Figure 31 : Photogramme issu de Melancholia

Figure 32 : Courbe de réponse typique d'une pellicule négative représentant la fonction de transfert $D=f(\log H)$

Figure 33 : Courbe de réponse du capteur de l'Arri Alexa / Fonction de transfert $\log_2(VN) = f(\log_2(H))$

Figure 34 : Courbe de réponse du capteur de l'Arri Alexa / Fonction de transfert $VN = f(\log(H))$

Figure 35 : Représentation resserrée sur le bas de la courbe précédente.

Figure 36 : Courbe d'efficacité spectrale de l'oeil (verte) et courbe de sensibilité spectrale d'un halogénure d'argent (bleue)

Figure 37 : Exemple d'une courbe de sensibilité spectrale, ici de l'Arri Alexa, composée des trois réponses spectrales des différents photosites rouges, verts et bleus.

Figure 38 : Image test d'une Color Checker DC exposée au plus bas de la courbe en RAW avec l'Arri Alexa puis étalonnée.

Figure 39 : Photogramme issu du test « image pénombrable d'extérieure » traitée dans un workflow Rec709 sur DaVinci Resolve. Les valeurs d'EV mesurées ont été rajouté.

Figure 40 : Courbe de réponse d'une Arri Alexa issu de notre test et représentation du choix de pose du contraste sujet de $6\emptyset + 1/3$

Figure 41 : Photogramme issu du test « image pénombrable d'extérieure » étalonnée

Figure 42 : Courbe de réponse d'une Arri Alexa issu de notre test et représentation du choix de pose pour le premier plan de contraste éclairage de $3\emptyset$ ($C_s = 5\emptyset$) et pour le dernier plan de contraste éclairage de $8\emptyset$ ($C_s = 10\emptyset$).

Figure 43 : Photogramme issu du test « image pénombrable d'intérieur » après débayerisation et interprétation, gradation logarithmique du ArriRaw / Contraste éclairage de $4\emptyset$. Les valeurs d'EV mesurées ont été rajouté.

Figure 44 : Photogramme issu du test « image pénombrable d'intérieur » étalonnée / Contraste éclairage de $5\emptyset$.

ANNEXE 1

Mesure de l'évolution du spectre du rayonnement du ciel lors d'une pénombre

- PPM – TEST 1

Ce test, inscrit dans ma partie pratique de mémoire, vise à mesurer la distribution spectrale du rayonnement du ciel lors d'une pénombre.

Après avoir étudié lors de mes recherches théoriques le phénomène de Rayleigh, effet de diffusion du rayonnement solaire par les molécules de l'atmosphère, nous nous attendions à trouver un spectre vidé de ses moyennes et longues longueurs d'ondes.

Le but est aussi de pouvoir se représenter l'évolution de la distribution spectrale au cours de la pénombre. Nous cherchons alors à pouvoir comparer différents spectres de la lumière pénombrale au cours du temps.

L'idée était alors de réaliser deux séries de mesures : une première à l'aube et une seconde au crépuscule. Ce test a été réalisé le dimanche 12 avril 2015 à Vitry sur Seine.

Calendrier solaire pour cette date et ce lieu

AUBE	Début	Fin
Aube astronomique	05h10	05h53
Aube nautique	05h53	06h33
Aube civile	06h33	07h06 - <i>Lever du Soleil</i>

CREPUSCULE	Début	Fin
Crépuscule civile	20h36 - <i>Coucher du Soleil</i>	21H09
Crépuscule nautique	21H09	21h50
Crépuscule astronomique	21h50	22h33

Le ciel était totalement dégagé à l'aube et au crépuscule.

Liste de Matériel

- Konika Minolta Spectroradiomètre CS1000 et accessoires
- Pied du spectroradiomètre
- Ordinateur de mesure (logiciel de mesure CS1000)
- Blanc de référence 90%

Protocole

Identique pour les deux séries de mesures (aube et crépuscule).

Le blanc de référence, ayant un facteur de réflexion de 90%, est axé de manière à ne recevoir uniquement le rayonnement lumineux provenant du ciel, protégé de toutes autres sources par des tissus noirs. Il est éclairé à 45° et la mesure au spectroradiomètre Konika Minolta CS1000 est réalisé à la normale.

Une mesure des luminances spectrales sur le blanc de référence est réalisé toutes les 10 minutes, soit 12 mesures

Mesure des luminances spectrales au spectroradiomètre sur le blanc de référence, toutes les 10 minutes, soit 12 mesures au cours de chacune des pénombres.

Les mesures sont compactées dans le logiciel de mesure CS 1000.

Expérience

Lors de la première série de mesure, à l'aube, je me suis rendu compte en étudiant les spectres qu'une autre lumière était prise en compte. Une demi lune présente dans le ciel éclairait le blanc de référence. L'installation a alors été changé d'axe pour éviter cette source de lumière. Les mesures prise entre 5h10 et 6h25 ne seront alors pas prises en compte.

La réalisation de ce test m'a aussi permis d'observer directement les variations de distributions spectrales et le changement de couleur du ciel au cours d'une aube et d'un crépuscule. Ce fut aussi l'occasion d'observer les différences de vitesses de ces variations. Alors que pendant l'aube et crépuscule astronomiques les changements sont peu perceptibles, les variations sont beaucoup plus rapides à partir du milieu de l'aube et crépuscule nautique.

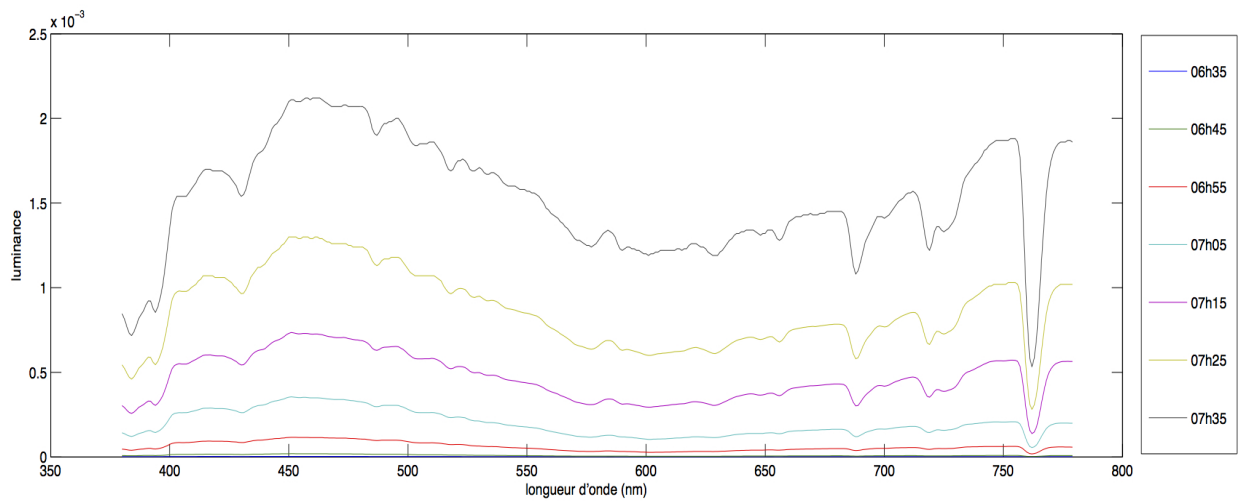
Résultats

Nous ne reproduirons pas ici le tableau des 9600 mesures : 400 (une mesure par nanomètre entre 380nm et 780nm) x 12 (une mesure toutes les 10minutes) x 2 (une fois pour l'aube, une fois pour le crépuscule).

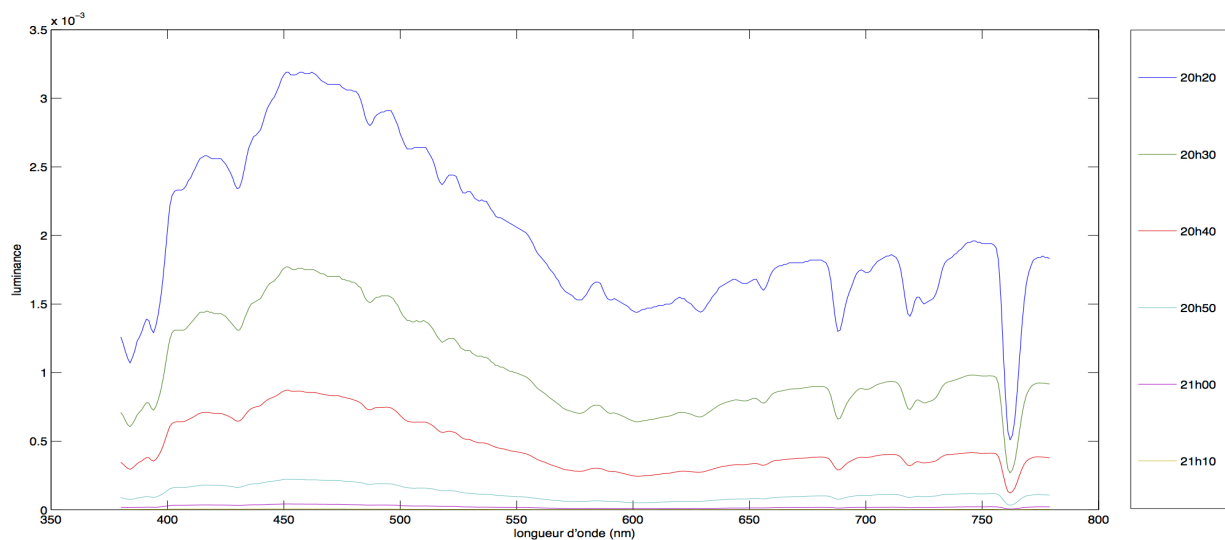
Pour les résultats de l'aube, nous n'utiliserons donc seulement les sept mesures prise de 06h35 à 7h35.

Pour les résultats du crépuscule, nous utiliserons les six mesures entre 20h20 et 21h10. A partir de 21h20, les résultats ne sont plus exploitables.

Distributions spectrales du rayonnement du ciel lors d'une aube

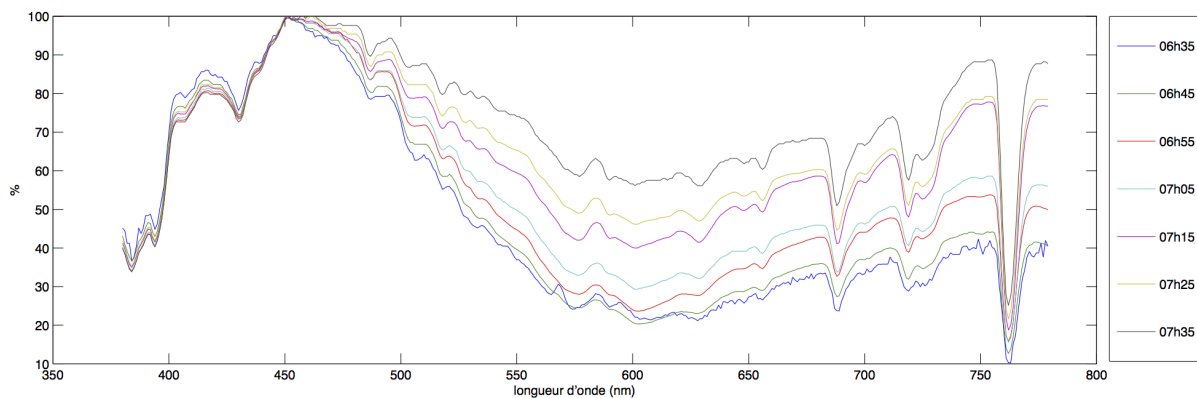


Distributions spectrales du rayonnement du ciel lors d'un crépuscule

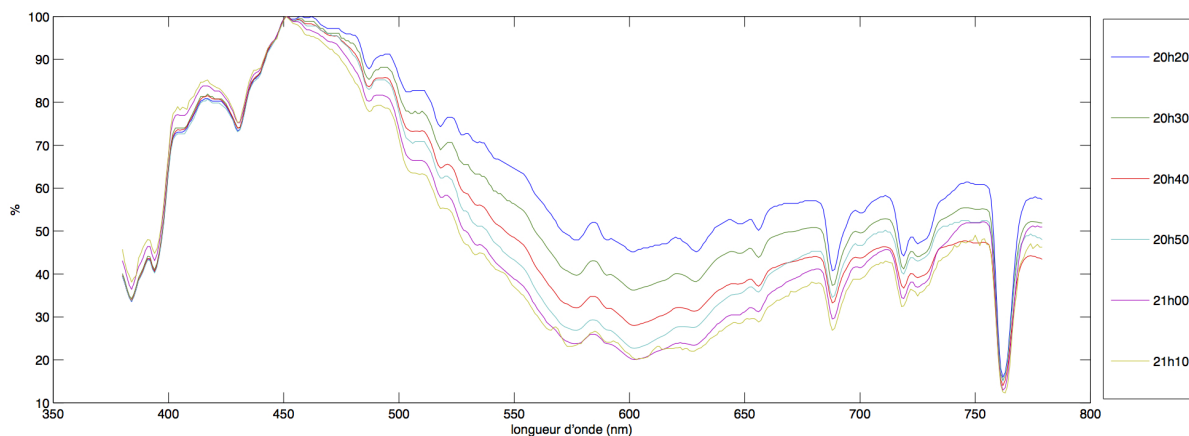


Les niveaux de luminances évoluant trop rapidement, les différentes courbes de distribution spectrale sont difficilement comparables dans cette représentation. Nous avons alors normalisé les résultats obtenus pour chaque mesure en les exprimant en fonction de la luminance spectrique maximale de chaque mesure. On obtient alors deux nouvelles courbes de distributions spectrales exprimées en pourcentage en fonction des longueurs d'onde.

Evolution de la distribution spectrale du rayonnement du ciel lors d'une aube



Evolution de la distribution spectrale du rayonnement du ciel lors d'un crépuscule



La comparaison entre les différents spectres de lumières pénombrales espacés de 10 minutes est maintenant possible. Que ce soit à l'aube ou au crépuscule, le phénomène est semblable. La distribution spectrale se creuse au cours d'une pénombre au niveau des longues longueurs d'ondes et majoritairement dans les moyennes longueurs d'ondes (autour de 600nm).

Si l'on prend les spectres issus des mesures les plus avancées dans le temps de pénombre, c'est-à-dire la dernière du crépuscule (21h10) et la première de l'aube (06h35), on se rend bien compte du très fort déséquilibre de la distribution spectrale du rayonnement du ciel en faveur des courtes longueurs d'onde, avec un pic à 450nm.

Ce spectre de lumière pénombrale, bien qu'étant toujours un spectre large, n'est plus celui d'une lumière pouvant procurer la sensation d'une lumière blanche. Il vient confirmer l'hypothèse découlant de l'effet de diffusion de Rayleigh et expliquer pourquoi la lumière pénombrale procure une sensation de lumière monochromatique bleue.

ANNEXE 2

Contraste chromatique simultanée et successif

Notre vision cherche le contraste, les différences pour en retirer des informations utiles, nous l'avons dit. Ces dissemblances peuvent être le résultat d'un contraste lumineux mais, et ce que nous allons étudier maintenant, il peut aussi l'être d'un contraste chromatique simultané. Plaçons nous ici dans le cas de contraste simultané de couleur et uniquement de couleur, c'est-à-dire entre des zones de même clarté, où seule teinte et chroma varient.

Lors de la première partie du mémoire, nous avons vu que la couleur n'est pas une réalité physique intrinsèquement liée à la nature de l'objet. La couleur est une sensation, une création des mécanismes neuronaux de traitement de l'information colorée basée sur les caractéristiques spectrales de la source, la capacité de la matière de l'objet de réfléchir ou transmettre des longueurs d'onde et la sensibilité spectrale de nos photopigments. Ces traitements neuronaux ne sont pas transparents, ils sont fortement influencés par un dernier paramètre que nous n'avons pas encore pris en compte dans notre étude, l'environnement dans lequel est perçue la couleur. La colorimétrie ne peut le prendre en compte et permet uniquement de caractériser par la mesure physique une couleur isolée. Pourtant une couleur n'est jamais perçue seule, elle est toujours vue dans un environnement de couleurs, avoisinante d'autres sujets colorés. Et cela est bien évidemment vrai pour les images de cinéma.

La meilleure manière de se convaincre de cette influence est d'étudier le phénomène de contraste chromatique simultané. Comme nous l'avons vu plus haut, deux éléments de clartés différentes seront vus encore plus différemment s'ils sont placés l'un à côté de l'autre, il en est de même pour la juxtaposition d'éléments de couleurs différentes. Notre perception a tendance à accroître les dissemblances de couleurs et donc notre vision de chacune de ces couleurs, lorsque elles sont proches. Un carré gris placé sur un fond bleu

prendra une légère teinte jaune tandis que le même carré sur fond rouge, prendra une teinte verte-bleue. Les valeurs de chrominance de la mesure colorimétrique pour chacun des deux carrés gris seront identiques. Cette différence perçue est donc indépendante de la nature spectrale du sujet observé et provient d'une construction mentale. Dans la même idée, deux carrés de couleur différentes seront vus encore plus différents s'ils sont juxtaposés. Le chimiste et professeur aux Gobelins, Michel-Eugène Chevreul explique en 1839 que « dans le cas où l'œil voit en même temps deux couleurs qui se touchent, il les voit les plus dissemblables possibles » et parle bien d'« une modification qui se passe en nous ». Nous pouvons observer que cette accentuation du contraste chromatique s'exprime toujours de la même manière : elle déplace la perception de chacune des couleurs dans le sens de la complémentaire à la couleur contiguë. Une nouvelle fois, notre système visuel intensifie notre perception du contraste. L'explication physiologique de ce phénomène se trouve dans le mécanisme de discriminations antagonistes.

Ce traitement neuronal de la couleur nous amène à comprendre le fait que les couleurs complémentaires sont dites contrastantes entre elles. Pour distinguer, nous cherchons la différence par la complémentarité de teinte. Notre sensibilité au contraste chromatique sera alors plus importante dans le cas de deux couleurs complémentaires. Michel-Eugène Chevreul, auteur de *De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des objets colorés*, a étudié ces effets pour les tapisseries, la peinture, l'imprimerie et en a déterminé des principes. Il recommande par exemple « le rapprochement de couleurs complémentaires », « pour produire un effet agréable ». Finalement ce phénomène nous conduit à penser le contraste chromatique, comme le contraste de luminance, en outil à disposition du chef-opérateur pour agir sur les sensations du spectateur.

Enfin, comme précédemment, le contraste chromatique successif peut permettre de susciter des sensations variées chez le spectateur. Le contraste chromatique entre des zones de couleurs d'un plan à l'autre, entre la dominante d'une séquence de jour à une

séquence de pénombre, influe sur la sensation du raccord. Un fort contraste successif de couleur aura tendance à *heurter* le spectateur. Sans créer forcément de la discontinuité, cela peut stimuler, impliquer le spectateur. Ce fort contraste réveillera aussi la sensation de couleur du plan suivant ce raccord. La sensibilité au contraste chromatique successif sera la plus importante pour des couples de couleurs complémentaires. Si une séquence de pénombre teintée d'un bleu de faible clarté et chroma par exemple est précédée d'une séquence à dominante bleue, le raccord sera doux. Au contraire, si la séquence précédente est éclairée par une lumière chaude, cette séquence de pénombre arrivant ensuite à l'écran produira une sensation de couleur bien plus forte parce que contrastante. On peut ajouter le phénomène de perte de sensibilité aux luminances spectrales auxquelles nous sommes longtemps exposés dans notre compréhension de l'effet que peut avoir le contraste successif d'une séquence à l'autre. Cela implique donc aussi de prendre en compte la durée de ces séquences. La sensation de couleur s'étiole au cours du temps.

ENS Louis-Lumiere

La Cité du Cinema – 20, rue Ampere

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 cinema, promotion 2012-2015

Soutenance de juin 2015

Le sujet pénombral et son exposition

Loeiz PERREUX

Cette PPM fait partie du mémoire intitulé : La pénombre : une histoire de contraste et de couleur

Directeur de memoire : Alain SARLAT

Presidente du jury cinema et coordinatrice des memoires : Giusy PISANO

SOMMAIRE

CV	135
Note d'intention	136
Liste du matériel	139
Plan de travail de tournage	144
Plan de travail de post-production	144
Etude technique et économique	144
Synthèse des résultats	144

Loeiz PERREUX

53 bvd de Magenta 75010 PARIS – 06 08 05 36 55 – loeiz.perreux@gmail.com

EXPÉRIENCES PROFESSIONNELLES

2014

Plombs – court – Chef opérateur/Réalisateur – Alexa Studio – ENSLL – 3'

Night Call, de P. Roland – court – Chef opérateur – 35mm – ENSLL – 12'

Les praticiens de l'absolu, de C. Cante – court – 1^{er} assistant caméra – Alexa Studio – ENSLL – 12'

Une île, de A. Marandet – fiction/captation – 1^{er} Ass. caméra – Sony F55/Phantom HD Gold – ENSLL – 20'

Une voie royale, de A. Giret – court – Chef électro – auto-produit – 15'

Remake 3D Festival Clermont Ferrand – court 3D – 1^{er} assistant caméra – ENSLL – Sony F3 – 2'

Synopsis, de P. Prache – pilote série – 1^{er} assistant réalisateur – auto-produit – 15'

2013

Human theorema – captation concert/clips – Cadreur – Canon 5D – Human Theorema – 5 x 3'

Icônes – vidéo pour exposition – Cadreur/Chef opérateur – Canon 5D – SLPJ – 5'

Tout corps vivant, de C. Chope – court – Chef opérateur – Sony F3 – ENSLL – 3'

La valise, de M. Jean – court – Chef électro – ENSLL – 3'

Tobias, de A. Lormeau – court – 1^{er} assistant caméra – Sony F3 – ENSLL – 3'

Mariette et ses monstres – court – 1^{er} assistant réalisateur – ENSLL – 6'

FORMATION

Ecole Nationale Supérieure Louis Lumière, promotion Cinéma 2015	2012 – 2015
Les Ateliers Paris 7, pratique documentaire	2012
Université Paris 7, Deug d'Etudes Cinématographiques	2010 – 2012
Baccalauréat Scientifique	2010

COMPÉTENCES

Cameras

Arri Alexa Standard, Arri Alexa Studio
Phantom HD Gold
Sony F55, Sony F3
Moviecam
Sony HVR-Z1, Sony PMW100
Canon 5D Mark II

Électricité

Habilitation électrique B2R

Logiciels

Avid, Final Cut Pro, Premiere
Rain, Da Vinci Resolve
Matlab

Langue

Français : langue maternelle
Anglais : moyen
Espagnol : bonnes notions

Loisirs

Théâtre, BD, Randonnée, Ski

NOTE D'INTENTION

La partie pratique accompagnant ce mémoire ne sera pas une fiction mais une série de différents tests menés au cours de mes recherches et de l'écriture du mémoire. Les résultats de ces tests seront donc largement utilisés tout au long de la partie théorique. Ils seront de différentes natures et s'inscriront dans notre démarche d'analyse du sujet pénombrial, des sensations du sombre qu'il procure et des moyens mis en œuvre à la prise de vue pour créer des images empruntant à ces sensations pour raconter des histoires et métamorphoser notre ressenti du sombre au cinéma.

L'idée est de pouvoir, par ma propre expérience, apporter des réponses concrètes, des certitudes physiques, aux différents questionnements soulevés au cours de mes recherches. Ces tests participeront alors à notre démarche de prise de conscience des phénomènes lumineux du sujet pénombrial et de la réponse d'un capteur numérique exposé à ce sujet. En ayant conscience de tout cela, nous pourrons commencer à nous défaire des fausses croyances et différents dogmes de l'exposition en cinéma numérique. Nous pourrons alors appréhender notre travail d'opérateur plus librement et réaliser des choix en connaissance de leurs impacts.

Le premier test s'inscrira dans notre étude des caractéristiques qualitatives de la lumière pénombrale développée lors de la première partie. La sensation de couleur tendant vers le monochromatisme bleu procurée par la lumière pénombrale a une explication physique, le phénomène de diffusion Rayleigh. L'idée était alors d'étudier la distribution spectrale de la lumière de pénombre par nous même pour être conscient de l'effet de ce phénomène sur le spectre de la lumière étudiée. Ce premier test, détaché de toute question de prise de vue, nous aura conduit alors à réaliser des mesures spectrales pendant une aube et un crépuscule.

Le second test s'intéressera lui aux caractéristiques natives du capteur numérique, en particulier nous chercherons à déterminer la courbe de réponse d'un capteur numérique particulier. Cette courbe nous permettra de déterminer une stratégie d'exposition consciente de la réponse du capteur, de ses particularités d'encodage et adaptée aux sujets de pénombre que nous aurons analyser lors de notre recherche. Pour réaliser ce test, nous choisirons d'étudier le capteur de l'Arri Alexa et d'enregistrer les prises de vu dans un flux raw. Nous en expliquerons les raisons ensuite.

Le troisième test consistera à se convaincre des effets néfastes d'une stratégie d'exposition ne s'affranchissant pas d'une pensée vidéo ou argentique. Nous réaliserons plusieurs prises de vue d'une charte de couleur en faisant varier les paramètres d'exposition.

Le quatrième test visera à étudier la conception d'image de pénombre. Nous en aurons déterminé les caractéristiques d'après notre étude des sujets pénombraux et de l'analyse des images de cinéma les représentants. Nous réaliserons alors deux séries de prises de vues : l'une reprenant les caractéristiques de l'image de pénombre extérieure et l'autre reprenant les caractéristiques de l'image de pénombre intérieure. Ce sera tout d'abord l'occasion de mettre en application notre stratégie d'exposition et d'en étudier les conséquences. Nous analyserons l'impact de cette stratégie sur la mise en œuvre pratique de ces deux sujets de pénombre, l'un en extérieur, l'autre en studio. Qu'est ce que cela implique sur les sources à utiliser, leurs puissances et sur les paramètres de pose ? Nous étudierons aussi la conséquence de cette stratégie d'exposition sur les possibilités d'action sur le traitement de nos images en post-production.

La série de test sur les images de pénombre extérieure visera par ailleurs à étudier les moyens à mettre en œuvre pour produire une image qui procure une sensation de couleur monochrome. Nous réaliserons alors différentes prises de vue du même plan en utilisant différents filtres colorés. Nous comparerons l'amplitude des actions

d'étalonnages et la richesse de l'information disponible lors de leurs étalonnages.

La série de test sur les images de pénombre intérieure nous permettra, en plus de l'impact de la stratégie d'exposition, de tester différents contrastes d'éclairage entre une zone de pénombre et une zone de haute lumière. Nous réaliserons différentes prises de vue en faisant varier ce contraste. Nous étudierons alors les conséquences de ces choix lors de leurs étalonnages. Nous pourrons aussi esquisser le début d'une étude sur le contraste chromatique entre les deux zones de l'image de pénombre intérieure.

Enfin, nous pourrons utiliser l'expérience du tournage de la PPM A *Lucky Day*, accompagnant le mémoire de Pierrick Roland pour laquelle je fus chef opérateur. Ce fut alors l'occasion d'appliquer mettre à l'épreuve du tournage de fiction ma stratégie d'exposition.

Format de présentation de la PPM

Cette partie pratique sera donc composée :

- des courbes de distributions spectrales des rayonnements du ciel de pénombre issus de premier test
- des courbes de réponse du capteur de l'Arri Alexa issues du deuxième test
- des images de chartes de couleurs issues du troisième test
- des images de pénombre intérieure et extérieure issues des deux séries de prise de vue du quatrième test
- de certaines images issues de la PPM A *Lucky Day*, réalisé par Pierrick Roland

Tous ces éléments pourront être projetés au cours de la soutenance orale pour alimenter mon propos.

Choix de la camera

Pour réaliser ces tests et images, je souhaite pouvoir travailler dans un flux raw. La première raison est que cela nous permettra, lors des tests d'avoir la main sur les traitements à appliquer sur l'image en post-production. La deuxième raison est de pouvoir se placer dans une chaîne de production plus proche du monde professionnel et ainsi d'apporter des réponses en cohérence avec les chaînes de travail de l'image numérique les plus utilisées. Pour cela, Image Works nous a prêté son enregistreur Codex par l'intermédiaire de Next Shot.

Pour les mêmes raisons évoquées ci-dessus, je souhaite pouvoir utiliser la camera Arri Alexa de l'école et ainsi enregistrer en ArriRaw.

Ressources au sein de l'école

Les images des tests 3 et 4 seront réalisées au sein de l'école, sur le plateau 1 et sur le parking pour la partie extérieure. Le test 2 sera réalisé au labo de sensitométrie.

La post-production et l'analyse des résultats pourra être réalisée au labo de sensitométrie et colorimétrie de l'école. Je souhaite pouvoir me servir des ressources mis à disposition par ce labo : MatLab pour l'analyse des images, Resolve pour l'étalonnage.

Nous emprunterons aussi le spectro-radiomètre du labo de sensitométrie pour réaliser le premier test en dehors de l'école puisque la mesure devra être réalisée lors d'une aube et d'un crépuscule.

Liste du matériel caméra et machinerie

Caméra | ARRI Alexa Studio K1.71200.0-6201
 Accessoires
 + poignée pour la configuration avec Codex

Optiques | Série Zeiss GO

N°	Focale	Ø min	Ø max	Map min
7087986	18mm	1,3	16	0,20cm
7085662	25mm	1,3	16	0,25cm
7085500	35mm	1,3	16	0,35cm
7087832	50mm	1,3	16	0,70cm
7086115	85mm	1,3	16	0,90cm

Follow Focus | Follow Focus n°1

Mattebox | Mattebox 4x5,6

Batteries | 4 batteries V-Lock BEBOB (n°5 à n°8)
 Double chargeur

Enregistreur RAW | Codex enregistrement
 Next Shot | Lecteur
 Câble
 4 cartes

Monitoring | Transvidéo n°2
 Cable alimentation 12V
 Spigot
 Platine
 Mini BNC

Back-up		Disque dur La Cie 1T
		Tour RAID
		Alimentation secteur
		2 câbles Firewire 800

Les Back-up seront réalisés en labo de sensitométrie en fin de journée.

BNC		2 longs
		2 courts

Valise opérateur		1 cellule Spectra
		1 spotmètre
		1 thermocolorimètre
		Minolta (02110)

Valise assistant		1 décamètre
		1 charte Macbeth
		1 gris 18%
		1 dustt-off
		1 sachet de papier bleu
		1 lens cleaner
		1 voile caméra
		1 jeu de gaffer
		Chaussette

Caisse de face		1 grand clap
		1 jeu de gaffer
		Pinces à linge

Machinerie		grande branche
		triangle
		tête bol 120 Sachtler

Liste du matériel lumière

Projecteurs

1 – 5kW Fresnel
1 – 1kW Fresnel
1 – 500W Fresnel
4 – Blondes 2kW

Grip

2 – Pied de 1000
1 – Pied U126
4 – Rotules
2 – Bras magiques
4 - Clamps
6 – Pinces Stanley

Distribution

5 – prolongateur 16A
3 – lignes 32A mono
2 – boîtes M6

Contrôle

1 – jeu de mamas
1 – jeu de drapeaux : 1 petit, 1 moyen, 1 grand, 1 cutter petit
1 – plaque de polystyrène + 1 support

Gélat

DN : 9, 6, 3
CTO : ¼, ½, Full
CTB : ¼, ½, Full
Diffs : 216, 250, 251, 252
Jeu de gélat colorées : Steel Blue, Flame Red...

Liste du matériel 'colorimétrie'

Mesures colorimétriques

(labo sensitométrie A. Sarlat)

Spectrocolorimètre

Alimentation secteur

Pied

Ordinateur mesure

Raccordement usb

Alimentation ordinateur

Dongle

Chartes couleurs

(labo sensitométrie A. Sarlat)

Colorchecker simple

Colorchecker étendue

Charte gris 18%

Charte blanc/gris/noir

PLAN DE TRAVAIL DE TOURNAGE

TEST 1 : réalisé à l'aube et au crépuscule le 12 avril, à Vitry sur Seine

TEST 2 : réalisé sur une demi-journée, au labo de sensitométrie

TEST 3 : réalisé le 28 mars sur le plateau 1 de l'école

TEST 4 : réalisé le 11 avril sur le plateau 1 et le parking de l'école

PLAN DE TRAVAIL DE POST-PRODUCTION

Développement des rushes des tests de prise de vue 3 et 4 et étalonnage des images :
semaine du 13 avril

Montage et fabrication du DCP pour projection soutenance : semaine du 18 mai

ETUDE TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE

Tous ces tests n'ont nécessité aucune dépense. Le matériel a toujours été utilisé au sein de l'école (à l'exception du spectro-radiomètre)

Le Codex, enregistreur et Dual dock, station de back-up du Codex, nécessaires à l'enregistrement d'images raw, nous ont été prêtés gratuitement par Image Works via Next Shot.

SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Les résultats de tous ces tests ont été exprimés et analysés au cours de la partie théorique du mémoire.