

ENS Louis-Lumière

La Cité du Cinéma – 20, rue Ampère BP12 – 93213 La Plaine Saint-Denis

Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

Mémoire de master

Spécialité cinéma, promotion 2013 – 2016

Soutenance de juin 2016

La nuit extérieure rurale

De la scène diurne à l'image nocturne

Olivier PATRON

Ce mémoire est accompagné de la partie pratique intitulée : **Une nuit en forêt**

Directeur de mémoire : **Alain SARLAT**

Directeur de mémoire extérieur : **Marc VERNET**

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : **Giusy PISANO**

Remerciements

Je tiens à remercier Alain Sarlat, Marc Vernet et Giusy Pisano pour leur suivi et leur implication tout au long de mon travail. Merci à Paul pour ses lumières mathématiques et son intérêt pour mon sujet. Merci à Sabine Lancelin.

Merci à Françoise Baranger et Alexandrina pour les solutions qu'elles ont su apporter dans les moments difficiles. Merci à Aline, Roselyme et Marc.

Un grand merci à David Ostier et à l'équipe de Vantage Paris pour l'aide matérielle qu'ils m'ont apportée et pour m'avoir permis de mettre la main sur un Varicon vivant.

Un grand merci à Didier Grezes de chez NextShot et à Natacha Vlatkovic de chez ImageWorks pour leur support durable qui nous permet d'enregistrer en ARRIRAW à l'école.

Merci à Didier Nové, Pierre Vormeringer, Arthur Cloquet et Stéphane Quatrehomme pour avoir toléré mes demandes tardives. Merci à Liza Bodt pour sa patience. Merci à Laurent Stehlin pour les échanges au détour d'un couloir. Merci à John Lvoff.

Je souhaite remercier tout particulièrement Alexandre Delol pour m'avoir supporté tout au long de cette année et pour avoir su réceptionner les chaises. Merci à Éléna Erhel. Un immense merci à Loeiz Perreux pour son soutien, sa bonne humeur, ses clopes, nos discussions et son implication.

Merci à tous les membres volontaires de mes essais, par ordre d'apparition : Étienne Suffert, Charles Dalodier, Tom Yanowitz, Céleste Ougier, Pierre Potonnier, Hugo Noulouin, Émilien Decoudre.

Merci à tous les cobayes de mes expériences psychophysiques.

Merci à Claire et Claude Maimin pour leur accueil berrichon.

Merci à mes parents pour leur soutien, leur aide et leur confiance. Merci à ma sœur.

Merci Lou pour m'avoir accompagné sur une partie du chemin, au regret de t'avoir perdue avant la fin.

Résumé

La nuit est le lieu et le moment d'une métamorphose de nos sensations. Les représentations de la nuit au cinéma prennent l'empreinte de cette bascule pour conter une histoire et convoquent les souvenirs des impressions nocturnes du spectateur.

Il existe un pont entre le jour et la nuit, entre la sensation diurne et la sensation nocturne. Leur langage commun est la lumière et l'organisation de son contraste et de ses couleurs. Comment fabriquer l'image de la nuit extérieure rurale à partir d'une scène diurne par le travail des contrastes, des détails, des niveaux et des couleurs ?

Nous chercherons tout d'abord à estimer la réalité physique de la nuit, ses sources de lumière et son éclairage. Ainsi, nous découvrirons que la nuit n'est pas si différente du jour. Elle en est la sœur.

Nous étudierons alors quel impact les différences entre le jour et la nuit ont sur notre perception et la manière dont notre appareil visuel s'adapte dans un environnement nocturne.

Pour réaliser l'image d'une scène, nous devons maîtriser les outils qui nous permettent de l'enregistrer et de la manipuler avant sa projection au cinéma. Nous proposerons les différents moyens de caractérisation qui nous assureront cette maîtrise.

Enfin, nous appliquerons les éléments de réponse de notre recherche à la fabrication d'une image de la nuit rurale à partir d'une scène diurne.

Mots clefs

Nuit, Extérieur rural, Nuit américaine, Contraste, Couleurs, Appareil visuel, Perception, Exposition, Numérique, Cinématographie.

Abstract

The night is a time and place for a metamorphosis of our senses. Representations of nighttime in movies are rooted in this alteration to tell a story and call upon memories of impressions of the night by the viewer.

There is a bridge between day and night, between the feeling of daytime and the feeling of nighttime. Their common language is light and the association of contrast and colors. How does one create an exterior rural nighttime image from a daytime scene through the work on contrast, definition, levels and colors?

First of all, we will seek to appraise the physical reality of nighttime, its light sources and its illumination. Henceforth, we discover that night is not so different from day. It is its sister.

We will then study what impact will the differences between day and night have on our perception, and the way our visual apparatus adapt to a nocturnal environment.

To create the image of a scene, we must master the tools that allow us to record and manipulate it before its screening. We will propose different means of characterization that will permit this mastering.

Lastly, we will apply the elements of response to our research to create a rural nighttime scene from a daytime scene.

Keywords

Night, Rural exterior, Day for night, Contrast, Colors, Visual Apparatus, Perception, Exposure, Digital, Cinematography.

Table des matières

Remerciements	3
Résumé	4
Abstract	5
Table des matières	6
Introduction	8
I. La nuit extérieure rurale et son apparence visuelle	14
1. Les lumières de la nuit	15
A. Les états de la nuit	15
B. Prendre les mesures de la nuit	25
2. Percevoir la nuit	32
A. L'appareil visuel	33
B. Les photorécepteurs	35
C. La vision est un possible	43
3. Les images de la nuit au cinéma	50
A. La nuit noire : <i>Pola X</i> et <i>Rencontres du troisième type</i>	50
B. La nuit lunaire : <i>Tropical Malady</i>	60
C. La nuit moderne : <i>Twixt</i> et <i>Mad Max : Fury Road</i>	64
D. La nuit en plein jour : <i>Sombre</i> de Philippe Grandrieux	71
II. Capteur caméra et œil humain : caractéristiques	79
1. Caractérisation de la caméra numérique	81
A. Contrastes et étendue utile	81
B. Analyse trichromatique, sensibilité spectrale et température d'équilibre	88
C. Résolution spatiale, débayerisation et texture d'image	94
2. Quantifier la vision des détails, des contrastes et des couleurs en milieu nocturne	98
A. Retour d'expérience : la discrimination des contrastes et des détails	98
B. Retour d'expérience : la vision des couleurs	102

3. Développement RAW, <i>workflow</i> et étalonnage	108
A. Développement de l'ARRIRAW et <i>workflow</i>	109
B. Étalonnage	111
C. Interaction entre tournage et postproduction	116
III. Faire l'image de la nuit extérieure rurale	120
1. Influencer la réponse de la caméra à la prise de vue	121
A. En contrastes : le filtre ARRI Varicon	121
B. En couleurs : le filtre Day for Night	128
2. Les contrastes et les couleurs de la scène	131
A. Le choix des décors et des costumes	131
B. Le rôle de la lumière	133
3. Retour d'expérience : tournage en extérieur jour	136
A. Des valeurs de la scène à la prise de vues	137
B. Composition des cadres et rapports de valeurs	141
C. Voir le rendu d'image	143
Conclusion	146
Bibliographie	150
Filmographie	152
Table des illustrations	153
Annexes	157
Étalonnage du spectroradiomètre CS2000	157
Protocole de mesures de la nuit berrichonne	162
Cartographie en luminances du filtre ARRI Varicon	164

Introduction

« Les ténèbres étaient si épaisses que, si loin que portât son regard, il ne découvrait non seulement aucune clarté, mais aucun reflet, aucun de ces frémissements visibles qui sont, dans la nuit la plus profonde, comme le rayonnement de la terre vivante, la lente corruption, jusqu'au jour, du jour détruit »¹.

La nuit est à la fois un lieu et une durée. Dans la nuit. Durant la nuit. C'est un espace-temps en attente du jour. Un passage dont le crépuscule et l'aube marquent les deux seuils. Des seuils bien souvent éclatant de couleurs et de contrastes tandis que la nuit les estompe.

La nuit est une réalité astronomique aux effets physiques quantifiables. La définition de son début et de sa fin est variable selon les besoins. Elle s'affirme par sa complémentarité avec le jour. Ce qu'elle apporte, le jour l'interdit. Ce que le jour donne, la nuit reprend.

La lumière oppose et compare les cycles diurnes et nocturnes. C'est par l'analyse de sa quantité et de sa qualité que nous différencions ces deux états de notre environnement. Et c'est en regardant cette lumière que nous sommes conscients du monde. La nature de la lumière impacte directement la nature du monde perçu.

La nuit est alors une réalité physique autant qu'une abstraction consciente de l'Homme. En cela, elle devient protéiforme.

¹ **BERNANOS, Georges**, *Sous le soleil de Satan*, Le livre de poche, 2012, date de parution : 1926.



Figure 1. *Sous le soleil de Satan*, réalisé par Maurice Pialat et photographié par Willy Kurant.
Capture du Blu-ray.

Dans l'adaptation par Maurice Pialat de *Sous le soleil de Satan*, les ténèbres de la nuit se métamorphosent en un bleu très peu naturel. Mais la conséquence pour le prêtre joué par Gérard Depardieu est la même : la corruption du diable le recouvre². La nuit a plusieurs manières de s'exprimer.

La représentation de la nuit pose question. Au cinéma, les façons de réaliser une scène de nuit sont aussi nombreuses qu'il y a de nuits cinématographiées. Dans les grandes lignes, une nocturne peut être tournée d'une part en extérieur naturel, en pleine nuit ou en plein jour, et d'autre part en studio, dans un espace contrôlé. La nuit tournée en plein jour est célèbre par son appellation : la nuit américaine ou *day for night* en anglais. Le jour pour la nuit.

Il serait donc possible de dresser un pont entre le jour et la nuit. Ce postulat est devenu le cœur de notre sujet. La nuit n'est pas étrangère du jour. Elle en est

² AUMONT, Jacques, *Bleu nuit*, cours donné et enregistré au Forum des Images, le vendredi 22 mai 2015, consultable sur <http://www.forumdesimages.fr/les-programmes/toutes-les-rencontres/cours-de-cinema-bleu-nuit-par-jacques-aumont> (consultation du 16 mai 2016).

la sœur jumelle. Leur lien, c'est la lumière. Si nous sommes capables de déterminer quelle est cette lumière et de quantifier sa métamorphose du jour à la nuit, nous posons les fondations du pont.

Nous souhaitons proposer une représentation de la nuit au cinéma. Il s'agit d'en créer une image, c'est-à-dire d'en relever son empreinte, d'en dessiner son portrait. Quels sont les traits caractéristiques de ce portrait ? Quels moyens avons-nous à notre disposition ?

Le cinéma aujourd'hui est majoritairement numérique. La vie d'une image commence au tournage, au cœur de la caméra numérique et se termine jetée sur l'écran par le projecteur numérique. L'image se définit par son contenu signifiant en interaction avec ses propriétés intrinsèques : son contraste, ses détails, ses niveaux et ses couleurs.

Notre hypothèse est la suivante. En dressant un pont entre le jour et la nuit, nous pouvons décider des paramètres d'éclairage, de prise de vues et de postproduction afin de modeler l'image d'une scène diurne en une image nocturne.

La problématique de notre étude peut alors s'exprimer ainsi : comment fabriquer l'image de la nuit extérieure rurale à partir d'une scène diurne par le travail des contrastes, des détails, des niveaux et des couleurs ?

La lumière de la nuit porte les grandeurs physiques qui la caractérisent et que nous pouvons mesurer. Nous commencerons donc notre étude par la description des sources lumineuses naturelles de la nuit rurale et par leur analyse, en quantité et en qualité.

Notre perception lie les grandeurs lumineuses nocturnes à notre conscience de la nuit. Nous devons étudier le fonctionnement de notre appareil visuel et son adaptation au milieu nocturne. La réalité physique de la nuit est pondérée par

cette adaptation et c'est de cette association que naissent les représentations nocturnes.

Nous étudierons un corpus d'images représentant la nuit suffisamment large pour en dresser une classification sommaire, ou au moins une distinction de quelques grandes lignes de représentations. Des outils de la science colorimétrique nous aideront dans cette analyse puisqu'ils ont été pensés pour associer les grandeurs physiques de la lumière et de son interaction avec le monde à notre perception.

Dans la deuxième partie de notre travail, nous passerons à la détermination des caractéristiques de l'outil caméra et de leur mesure. De ces caractérisations peuvent découler nos choix, fondés sur une connaissance nécessaire et suffisante de l'outil.

Nous exprimerons ensuite le résultat d'expériences menées dans le but de caractériser quantitativement la perception humaine des contrastes, des détails et des couleurs dans un environnement nocturne.

Enfin, nous décrirons les différents outils de postproduction dont nous disposons afin de faire passage aux images vers la projection en salle de cinéma. Nous étudierons particulièrement les moyens qu'ils nous offrent pour aller dans le sens de la métamorphose de nos perceptions visuelles au cœur de la nuit.

La troisième et dernière partie permettra d'approcher la fabrication de l'image de la nuit extérieure rurale à partir d'une scène diurne. Nous commencerons par étudier les moyens d'action dont le directeur de la photographie dispose à la prise de vues et quels sont ceux qu'il doit choisir, avec quelle modération. Nous avons utilisé, pour le travail des contrastes, le filtre ARRI Varicon et, pour le travail des couleurs, le filtre Harrison Day for Night.

Nous décrivons les actions à arbitrer au tournage afin d'orienter la scène en direction du rendu nocturne voulu. Cet arbitrage concerne l'éclairage et le contrôle de la lumière naturelle autant que les décors et les costumes.

Enfin, nous établirons une synthèse d'une journée de tournage en forêt, en plein jour. Ce retour d'expérience nous permettra d'appuyer les points précédemment développés et de confirmer ou d'infirmes les lignes de force choisies pour réaliser l'image nocturne.

Tout au long de cette étude, nous serons capables de sentir à quel point l'image est avant tout une écriture de contrastes, en valeurs et en couleurs. L'image se voulant finalement être le portrait – non la copie – de nos impressions visuelles, de nos perceptions, c'est finalement souligner l'immense poids des contrastes dans le fonctionnement de la vision.

Et c'est justement le contraste qui est le langage commun du jour et de la nuit, qui va nous permettre de les comparer et d'en mesurer les différences.



La nuit extérieure rurale et son apparence visuelle

1. Les lumières de la nuit

« La nuit, c'est le jour vu de dos »³. Cette affirmation de Georges Banu annonce autant l'alliance que l'opposition de la nuit au jour. Le cycle du jour et de la nuit est un ballet que l'éclairage de la ville tend à effacer, ou au moins à métamorphoser. La nuit rurale, elle, expose ce ballet dans toute sa richesse et dans toute sa complexité. Il s'agit alors pour nous de vivre au rythme de cette danse permanente.

Quelle est cette nuit ? Comment pouvons-nous l'identifier et la décrire et quelle influence exerce-t-elle sur nous ?

A. Les états de la nuit

La nuit rurale est une nuit qui n'est pas polluée par la lumière artificielle de l'activité humaine. Ses sources de lumière sont naturelles. La nuit débute à trois périodes de transitions distinctes : après le crépuscule civil, après le crépuscule nautique et après le crépuscule astronomique, période durant laquelle le soleil descend de 12° à 18° sous l'horizon. Elle se termine symétriquement à trois moments distincts que sont l'aube astronomique, l'aube nautique et l'aube civile. Ces périodes de transition trahissent une gradation du passage du jour à la nuit. La nuit porte plusieurs significations. Pour le responsable des éclairages publics, la nuit s'installe durant le crépuscule civil. Pour un marin, la nuit est le moment où l'horizon disparaît, quand ciel et mer commencent à se confondre, durant le crépuscule nautique. Pour l'astronome, la nuit est le lieu de l'obscurité, quand le ciel est suffisamment sombre pour permettre l'observation des étoiles, à la fin du crépuscule astronomique.

³ BANU, Georges, *Nocturnes : Peindre la nuit, Jouer dans le noir*, Biro, 2005.

Après le crépuscule astronomique, période de transition la plus tardive, c'est le domaine de la nuit absolue : le soleil n'éclaire plus la surface de notre planète et il n'a plus d'influence sur la luminosité du ciel.

La nuit n'est pourtant pas totalement obscure. Ses sources d'éclairement sont multiples et en elles-mêmes variantes (évolution des phases lunaires, constellations présentes dans le ciel, ...). Nous pouvons établir qu'il existe deux types de nuits, en nous affranchissant des variations météorologiques : la nuit lunaire et la nuit noire, sans lune présente dans le ciel.

Pour comprendre les possibilités d'éclairement de la nuit rurale, nous devons nous attacher à décrire le ciel nocturne.

La Lune est un satellite qui effectue une révolution autour de notre planète en 27,3 jours. Sa rotation sur elle-même étant synchrone à son orbite autour de la Terre, la Lune ne nous montre qu'une seule de ses faces et toujours la même. A ce mouvement s'ajoute le mouvement de rotation de notre planète sur elle-même, ce qui explique que la Lune se couche et se lève comme le Soleil.

Quand la Lune, au cours de son orbite, est opposée au Soleil par rapport à la Terre, la face que nous voyons est alors pleinement éclairée par ce dernier : c'est la pleine lune. A l'inverse, quand la Lune se situe entre nous et le Soleil, celle-ci lui tourne le dos et c'est la nouvelle lune : une lune qui est visible car elle est éclairée par la réflexion de la lumière du soleil sur la surface même de notre planète. La Lune passe d'un extrême d'éclairement à l'autre en passant par les phases dites de lune gibbeuse croissante et de lune gibbeuse décroissante.

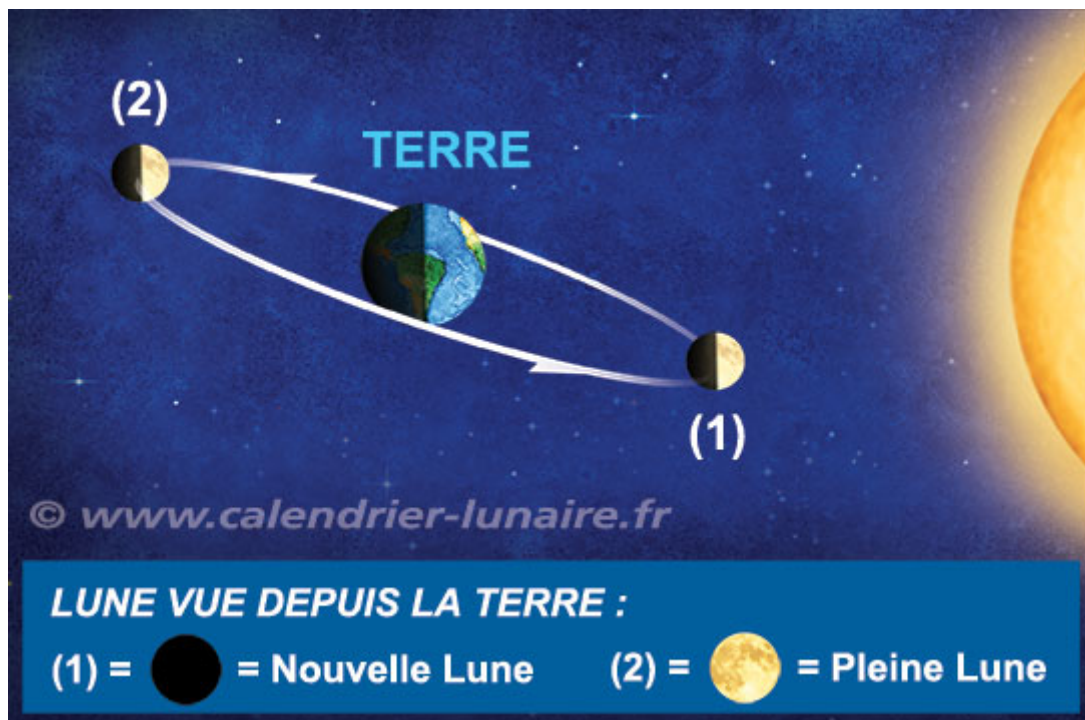


Figure 2. *Mouvement de la Lune autour de la Terre.*

Source : www.calendrier-lunaire.fr (consultation du 18 avril 2016).

Les différentes phases de la lune expliquent l'évolution de son éclairement ainsi que l'évolution de sa position dans notre ciel. Durant la nuit, la lune ne parcourt pas nécessairement la voûte céleste et elle peut en être totalement absente.

Un autre élément essentiel de nos nuits est l'ensemble constitué par les étoiles. Ces étoiles lointaines éparpillées en autant de points lumineux dans notre ciel ne sont visibles pour la plupart que de nuit, tellement leur intensité lumineuse est faible en regard de l'intensité lumineuse du ciel diurne. L'éclairement d'une étoile est mesuré par sa magnitude apparente, soit la mesure de son éclairement depuis un point d'observation situé sur Terre.

Un objet lumineux majeur du ciel nocturne est ignoré. C'est le ciel lui-même. La haute atmosphère éclaire nos nuits de manière non négligeable, principalement par chimiluminescence. Sa puissance est même supérieure à celle de l'ensemble de l'éclairement stellaire. La source de son rayonnement est la production de photons par réactions chimiques, suite à l'irradiation

énergétique des molécules constituant l'atmosphère par le soleil durant la journée. Les anglo-saxons l'appellent *airglow*. Pour nous, c'est l'éclairement du ciel nocturne.

Une dernière source de lumière peut être mentionnée. Il s'agit de la lumière zodiacale qui provient de l'éclairement par le soleil de la poussière flottant dans l'espace autour de la Terre. A son tour, cette poussière réémet un flux lumineux qui produit un éclairement à la surface de la Terre.

À ces observations astronomiques s'ajoutent bien sûr les variations météorologiques, à l'instar des moments diurnes.

Même par temps couvert, l'éclairement produit par le ciel nocturne est encore d'un ordre de 10^{-4} lux⁴.

D'après le RCA Electro-Optics Handbook⁵, les sources d'éclairement nocturne, par une nuit sans lune, se répartissent ainsi : 40% pour l'éclairement du ciel nocturne (ou *airglow*), 15% pour la lumière zodiacale, 5% pour la lumière en provenance de notre galaxie, 10% pour la lumière diffusée par l'atmosphère de toutes les sources de lumière précédemment citées, et enfin 30% pour la lumière stellaire, directe ou diffusée par notre atmosphère.

Tâchons à présent de décrire en quantité, en qualité et en géométrie les éclaircements reçus durant une nuit terrestre.

Le disque lunaire a un diamètre apparent de 1760 à 2046 secondes d'arc selon l'éloignement de la Lune à la Terre. Le diamètre apparent du disque solaire varie entre 1887 secondes d'arc et 1952 secondes d'arc. La taille dans notre ciel de ces deux objets célestes antagonistes est donc très semblable : environ $0,5^\circ$ de diamètre apparent. Lors d'une nuit de pleine lune, la source primaire d'éclairement présente les mêmes caractéristiques géométriques que la source primaire de l'éclairement diurne, le soleil.

⁴ RCA Electro-Optics Handbook, RCA, 1974.

⁵ RCA Electro-Optics Handbook, ibid.

L'éclairement de la lune varie tout au long de l'année. Quatre paramètres entrent en jeu.

Le premier paramètre correspond à la phase de la lune. Une pleine lune éclaire davantage qu'un quart de lune. Cette augmentation de l'éclairement en fonction de la phase de la lune n'est pas linéaire. Quand le soleil éclaire frontalement une pleine lune, par rapport à notre point d'observation terrestre, la luminance de la surface lunaire est supérieure à celle d'une lune gibbeuse. C'est le phénomène dit d'opposition de phase. La Lune est recouverte du régolithe lunaire, une couche de poussières très fines produites par l'impact des météorites. Ce régolithe a un facteur de réflexion déterminé, mais le rayonnement réfléchi est plus important quand l'angle entre le point d'observation et la source d'éclairement se rapproche de zéro⁶.

⁶ **SOUCHON, Audrey**, *Influence des phases amorphes dans la réponse optique des régolites planétaires : caractérisation des propriétés et application à l'étude géologique de la Lune*, Thèse sous la direction de Patrick Pinet, Lionel d'Uston, Serge Chevrel, Université de Toulouse, Planétologie, soutenue le 9 mars 2012.



Figure 3. Photographie prise à la surface de la Lune par l'astronaute Eugene Cernan lors de la mission Apollo 17.

On peut remarquer le halo qui entoure la silhouette de l'astronaute. C'est une manifestation de l'effet d'opposition de phase. La source de lumière qui projette l'ombre de l'astronaute se trouve juste derrière sa tête. Sa réflexion dans le régolithe lunaire est supérieure quand le point d'observation du photographe et la position de la source lumineuse sont alignés. Elle est inférieure quand on s'éloigne de cet axe.

Source : Nasa.

Le deuxième paramètre de variation de l'éclairement lunaire concerne sa distance à la Terre, variable dans un rapport de 26% ⁷.

Le troisième paramètre de variation concerne les différences de réflectance de la surface lunaire (entre ses mers, plus sombres, et ses plaines). Ces différences ont comme conséquence de rendre une lune gibbeuse croissante plus lumineuse qu'une lune gibbeuse décroissante, dans un rapport de 20% ⁸.

Enfin, le quatrième paramètre de variation dans l'éclairement lunaire correspond à son altitude dans notre ciel.

⁷ RCA *Electro-Optics Handbook*, op. cit.

⁸ RCA *Electro-Optics Handbook*, op. cit.

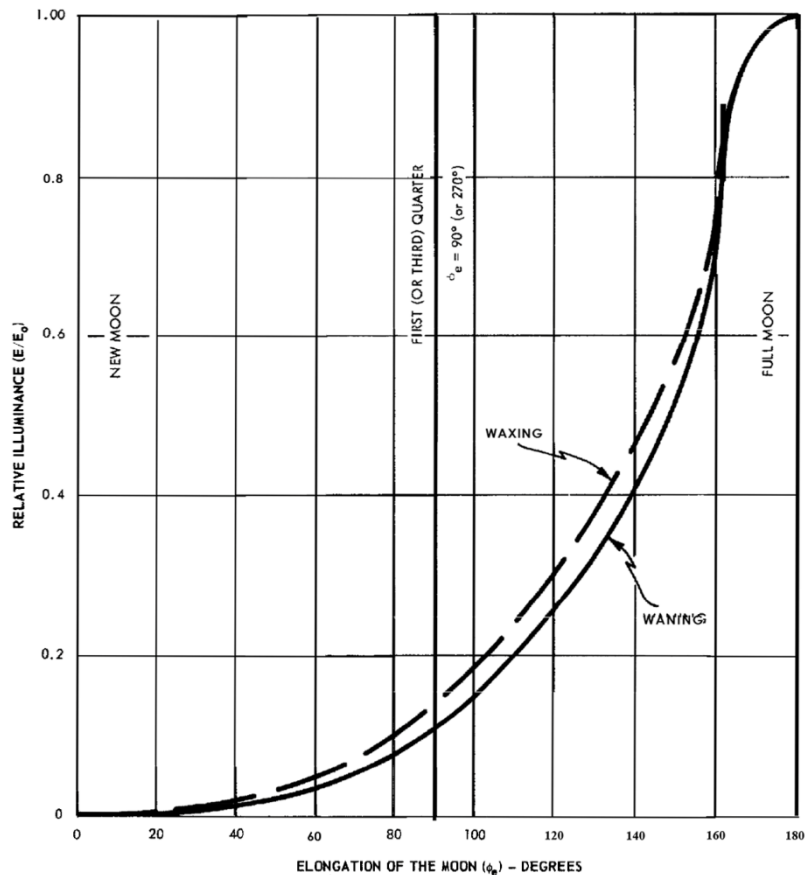


Figure 4. Évolution de l'éclairement lunaire en fonction de la phase de la lune.⁹

Nous pouvons noter la différence d'éclairement entre lune gibbeuse croissante (*waxing moon*) et une lune gibbeuse décroissante (*waning moon*). Par ailleurs, l'influence de l'effet d'opposition de phase est marquant : l'accroissement de l'éclairement s'accroît notablement à partir de 88% de phase lunaire (160° d'élongation).

Enfin, l'éclairement de la lune varie aussi en qualité, de la même manière que l'éclairement du soleil varie en qualité selon son altitude dans le ciel et par l'effet de filtre imposé par l'atmosphère terrestre.

Les caractéristiques d'une nuit éclairée par la lune varient donc notablement. Les valeurs d'éclaircements mesurées pour différentes phases lunaires et pour différentes altitudes sont rassemblées ci-après ¹⁰ :

⁹ RCA Electro-Optics Handbook, op. cit.

¹⁰ RCA Electro-Optics Handbook, op. cit., p65.

Altitude de la lune	Éclairement E d'une surface horizontale à l'élongation lunaire ϕ_e (en lux)			
	$\phi_e = 180^\circ$ (pleine lune)	$\phi_e = 120^\circ$	$\phi_e = 90^\circ$ (1 ^{er} ou 3 ^{ème} quartier)	$\phi_e = 60^\circ$
- 0,8° (lever ou coucher de lune)	$9,74 \cdot 10^{-4}$	$2,73 \cdot 10^{-4}$	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$3,12 \cdot 10^{-5}$
0°	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$4,40 \cdot 10^{-4}$	$1,88 \cdot 10^{-4}$	$5,02 \cdot 10^{-5}$
10°	$2,34 \cdot 10^{-2}$	$6,55 \cdot 10^{-3}$	$2,81 \cdot 10^{-3}$	$7,49 \cdot 10^{-4}$
20°	$5,87 \cdot 10^{-2}$	$1,64 \cdot 10^{-2}$	$7,04 \cdot 10^{-3}$	$1,88 \cdot 10^{-3}$
30°	0,101	$2,83 \cdot 10^{-2}$	$1,21 \cdot 10^{-2}$	$3,23 \cdot 10^{-3}$
40°	0,143	$4,00 \cdot 10^{-2}$	$1,72 \cdot 10^{-2}$	$4,58 \cdot 10^{-3}$
50°	0,183	$5,12 \cdot 10^{-2}$	$2,20 \cdot 10^{-2}$	$5,86 \cdot 10^{-3}$
60°	0,219	$6,13 \cdot 10^{-2}$	$2,63 \cdot 10^{-2}$...
70°	0,243	$6,80 \cdot 10^{-2}$	$2,92 \cdot 10^{-2}$...
80°	0,258	$7,22 \cdot 10^{-2}$	$3,10 \cdot 10^{-2}$...
90°	0,267	$7,48 \cdot 10^{-2}$

Le ciel représente une deuxième source d'éclairement. En plein jour, nous connaissons bien la couleur bleue du ciel. Cette couleur est la conséquence du phénomène physique de diffusion de Rayleigh appliqué au flux lumineux solaire traversant notre atmosphère. L'intensité énergétique diffusée est inversement proportionnelle à la puissance quatrième de la longueur d'onde. Ainsi, elle est supérieure pour les courtes longueurs d'onde que pour les grandes longueurs d'onde.

La constitution de l'atmosphère ne change pas durant la nuit. Sa température et sa pression varient mais dans des proportions insuffisantes pour modifier le phénomène de diffusion de Rayleigh, qui s'applique donc autant au flux lumineux lunaire. Les quantités sont moindres qu'en plein jour, mais la répartition de l'intensité de diffusion selon la longueur d'onde reste égale.

Le rapport d'éclairement entre le ciel et la lune ou entre le ciel et le soleil pourrait donc être le même. Nous abordons ici la question du contraste d'éclairement. C'est-à-dire le rapport d'éclairement en un même point par

plusieurs sources distinctes, d'intensités lumineuses et de géométries différentes. Cependant, l'éclairement du ciel nocturne et l'éclairement stellaire ont plus d'incidence sur la luminosité du ciel de nuit que de jour. La situation nocturne est géométriquement semblable à la situation diurne. Mais le contraste éclairement n'est probablement pas le même.

Nous tenterons de répondre à la question du contraste éclairement dans notre prise de mesures de la nuit.

Par une nuit sans lune, seuls l'éclairement des étoiles et sa diffusion dans l'atmosphère, l'éclairement du ciel nocturne et la lumière zodiacale, éclairent la surface de la Terre. Ces sources d'éclairement se répartissent sur la demi-sphère de la voûte céleste et sont complètement englobantes.

Le contraste éclairement est donc égal à 1. Le contraste sujet est alors égal au contraste objet : seules les variations en réflectance de l'objet observé en font varier le contraste visible.

En dehors des variations météorologiques, l'éclairement produit par une nuit noire serait donc plutôt constant. Sa quantité est connue, légèrement variable par la diversité des constellations présentes dans le ciel à un moment de l'année, et sa qualité a été étudiée.

L'éclairement produit par une étoile ou par un astre est communément exprimé par sa magnitude apparente. Pour notre étude, nous prenons garde de nous intéresser à la magnitude apparente visuelle dite V , qui correspond à une mesure radiométrique limitée au spectre visible. L'échelle des magnitudes détermine le rapport de deux éclairements E_1 et E_2 de deux objets célestes distincts de la manière suivante :

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log \left(\frac{E_1}{E_2} \right)$$

$$-0,4(m_1 - m_2) = \log\left(\frac{E_1}{E_2}\right)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{-0,4(m_1 - m_2)}$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 2,512^{(m_1 - m_2)}$$

Quand l'écart entre deux astres est d'une magnitude, le rapport de leur éclairement est de 2,512. L'échelle est logarithmique et inverse : un astre d'une magnitude de -26 (notre soleil) est 2,5 fois plus brillant qu'un astre de magnitude -25. La magnitude de 0 correspond aujourd'hui à celle de l'étoile Vega mesurée depuis la surface de la Terre. Un éclairement de 1 lux correspond à une magnitude de -14,2¹¹. Nous pouvons alors déterminer l'éclairement E produit par tout astre dont nous connaissons la magnitude apparente visuelle m_v :

$$E = 2,512^{(-14,2 - m_v)}$$

Les étoiles les plus brillantes de notre ciel ont une magnitude apparente allant de -1,46 à 2,50, soit un éclairement correspondant de $8,0 \cdot 10^{-6}$ à $2,1 \cdot 10^{-7}$ lux. Le nombre de ces étoiles se porte à une centaine environ. Leur éclairement cumulé serait alors d'un ordre de 10^{-5} à 10^{-4} lux.

D'autres objets célestes éclairés par le Soleil nous éclairent à leur tour. Vénus peut avoir une magnitude apparente égale à -4,89, Jupiter à -2,94, Mars à -2,91 ou encore Mercure à -2,45. Le ciel est ainsi constellé de sources de lumière ténues mais très nombreuses, réparties sur l'ensemble de la voûte céleste. L'éclairement produit par la lumière stellaire, dans sa globalité, est estimée dans la littérature à 10^{-4} lux.

¹¹ **DUFAY, Jean**, *Introduction à l'astrophysique des étoiles*, Armand Colin, Paris, 1961.

B. Prendre les mesures de la nuit

Nous avons cherché à prendre les mesures de la nuit. C'est-à-dire, dans différentes conditions, étudier la qualité et la quantité de son éclairage en un lieu donné et à un moment donné. Étudier la nuit rurale, c'est s'écartier de toute source de pollution lumineuse. L'étude a été réalisée dans l'Indre, dans le village de Bêlâbre.

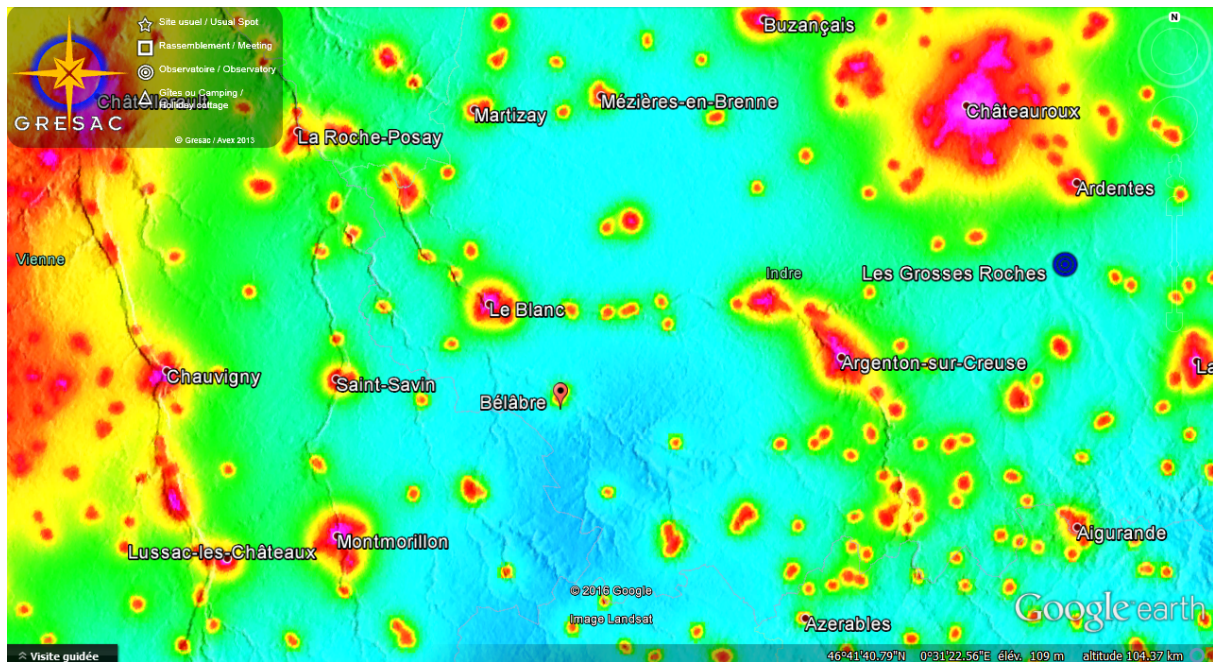


Figure 5. Carte de pollution lumineuse.

En cyan, les régions les moins polluées. En pollution croissante, les régions en vert, en jaune, en rouge et en magenta. À partir de 23h, l'éclairage public de Bêlâbre s'éteint jusqu'à 6h du matin.

Source : GRESAC (Grand Répertoire des Sites Astronomiques Communautaires).

L'objectif premier de cette étude a été de vérifier la qualité de l'éclairage nocturne, avec ou sans présence de la lune. La qualité de l'éclairage s'étudie par l'analyse de sa répartition spectrale. Nous cherchons à mesurer, avec une bande passante donnée, la quantité d'énergie reçue par un objet tous les nanomètres, de 380nm à 780nm. L'analyse du spectre ainsi mesuré nous permet de déduire la qualité du flux lumineux étudié : est-il assimilable à une lumière

blanche, quelle est sa température de couleur corrélée, sa répartition spectrale dénote-t-elle un spectre continu ou un spectre discontinu à raies.

L'objectif second a été de croiser nos mesures de la luminance spectrique énergétique aux quantités en luminances et en éclairements que nous avons pu trouver dans la littérature.

Enfin, l'objectif troisième de cette expérience a été de proposer une mesure du contraste éclairement nocturne et de le comparer au contraste éclairement diurne.

Nous avons utilisé le spectroradiomètre Minolta CS2000, préalablement étalonné en laboratoire sur une source étalon. Les détails de cet étalonnage sont consultables en annexe.

Les résultats obtenus permettent de confirmer la richesse spectrale de l'éclairage nocturne, qu'il soit lunaire ou non. La mesure d'une nuit sans lune a été polluée par l'éclairage public de Bêlâbre, éteint à 23h, après le lever de la lune. Tout a été mis en œuvre pour s'en protéger. L'éclairage public étant constant, la comparaison des mesures d'heure en heure reste valable. Voici une représentation de l'évolution des mesures en luminance spectrique depuis le coucher de soleil (altitude du soleil à 0°) jusqu'à la fin de l'heure dite bleue (altitude du soleil à -14°). L'échelle en ordonnées est logarithmique.

Luminance spectrique : J5, mesure blanc de référence de l'heure bleue à la nuit noire
(25/02/2016, de 18h42 à 19h53)

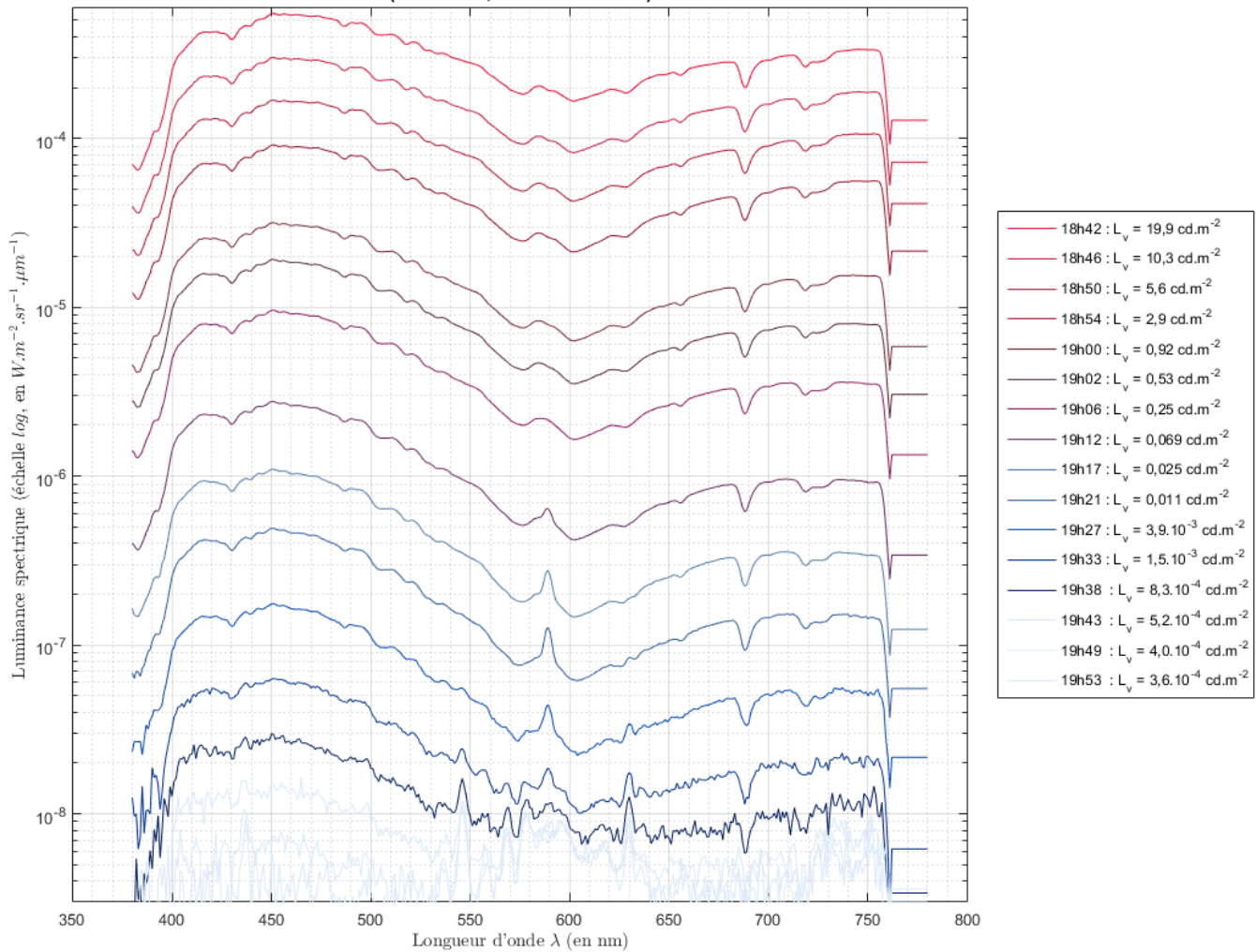


Figure 6. Mesures en luminance spectrique d'un blanc de référence tourné à 45° vers le ciel durant la tombée de la nuit. Mesures réalisées à Bêlêbre.

Cet ensemble de courbes permet d'observer la perte de quantité progressive quand le soleil continue de descendre derrière l'horizon sans altération de la qualité de la lumière : la répartition spectrale reste très semblable de 18h42 à 19h38. Les dernières mesures, d'un ordre de $10^{-4} \text{ cd.m}^{-2}$ sont particulièrement bruitées et peu exploitables, bien que la tendance globale reste identique.

Un creux notable s'exprime dans les longueurs d'onde moyennes. À 590nm persiste un pic d'émission notable, qui pourrait correspondre à la chimiluminescence des atomes de sodium présents dans la haute atmosphère.

Les quantités les plus importantes du rayonnement spectrique sont celles des plus courtes longueurs d'onde, puis celles des plus grandes longueurs d'onde. La lumière émise par le ciel n'est pas blanche. Elle ne correspond à aucune température de couleur corrélée. Elle est plutôt assimilable à un bleu avec une présence non négligeable de rouge.

Lorsque la lune est levée, le spectre s'enrichit et grandit en quantité. Une mesure directe de la lune permet d'étudier la répartition spectrale de son flux lumineux.

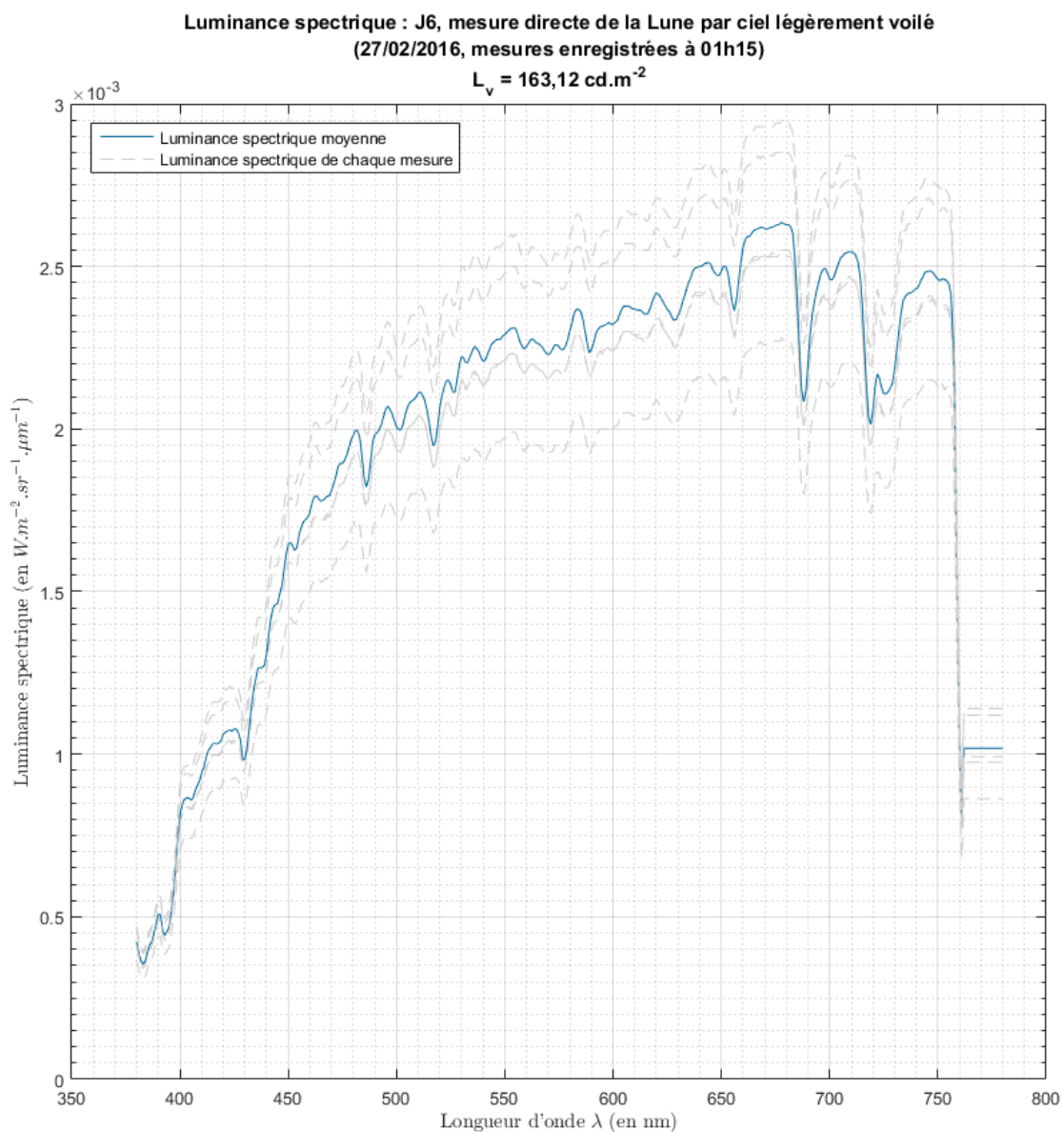


Figure 7. Mesure directe de la lune en luminance spectrique.

La répartition spectrale est riche. La température d'équilibre corrélée est de 4500 K. L'éclairement lunaire correspond à l'éclairement produit par une lumière blanche. C'est-à-dire un éclairement neutre qui ne modifie pas les couleurs naturelles des objets à nos yeux.

Nous avons aussi mesuré directement une partie du ciel nocturne, après que la lune ne se soit déjà levée.

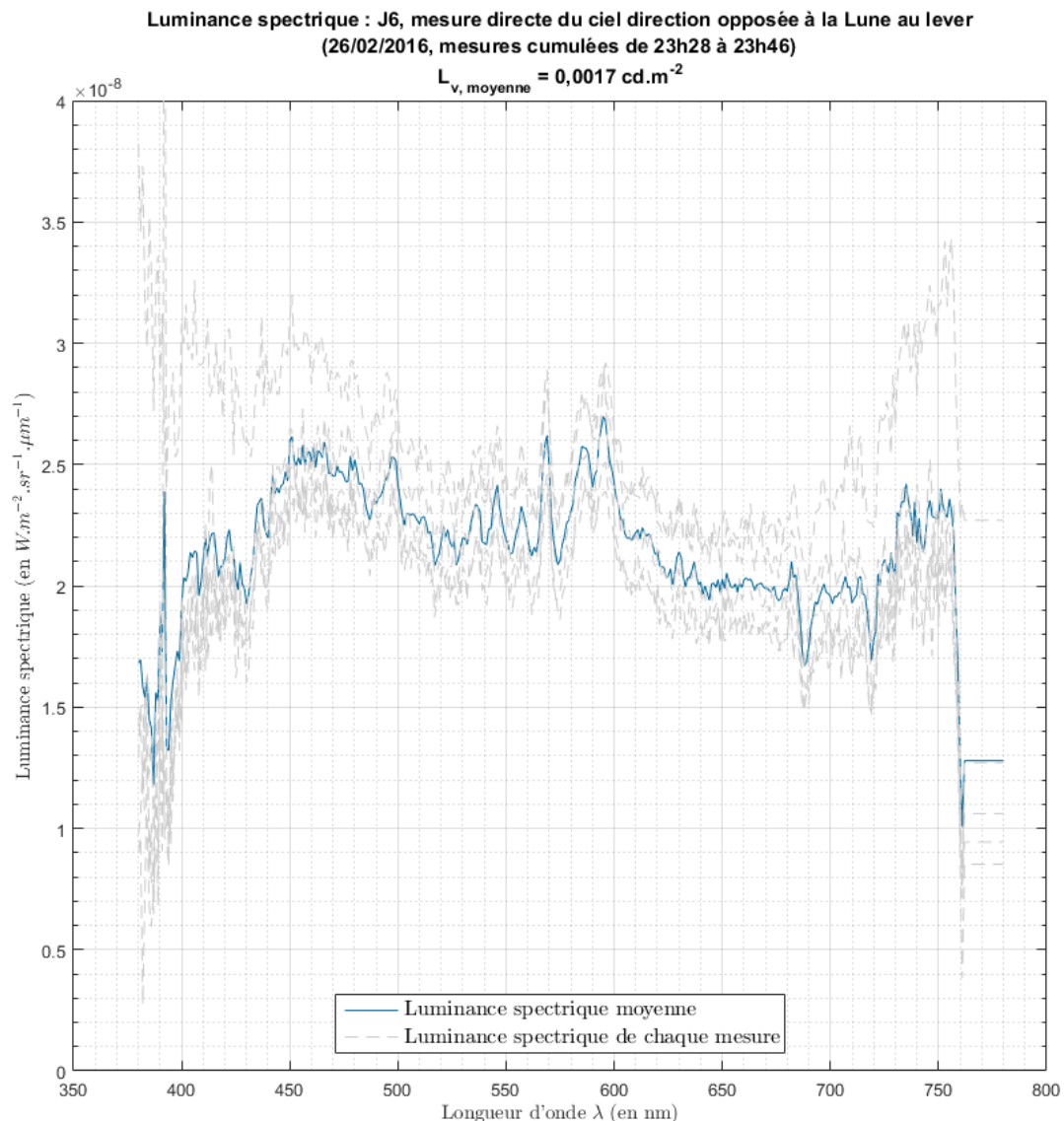


Figure 8. Mesure directe du ciel en luminance spectrique.

Nous retrouvons la forme des mesures spectrales faites précédemment durant la tombée du jour avec un pic à 590nm, ce qui corroborerait la

supposition de l'émission d'une raie sodium. Le déséquilibre en luminances spectriques énergétiques entre les courtes longueurs d'onde et les grandes longueurs d'onde nous indique que, la nuit, le ciel est toujours bleu.

La mesure du contraste éclaircissement s'est avérée biaisée par les conditions météorologiques. En plein jour, le temps était ensoleillé, le ciel était pur avec quelques passages de gros nuages en basse altitude. La nuit, le ciel était recouvert d'un léger voile nuageux transparent en très haute altitude. Ce voile diffusait légèrement le flux lumineux réfléchi par la Lune et en filtrait une partie du spectre. Nos résultats représentent une série de mesures moyennées.

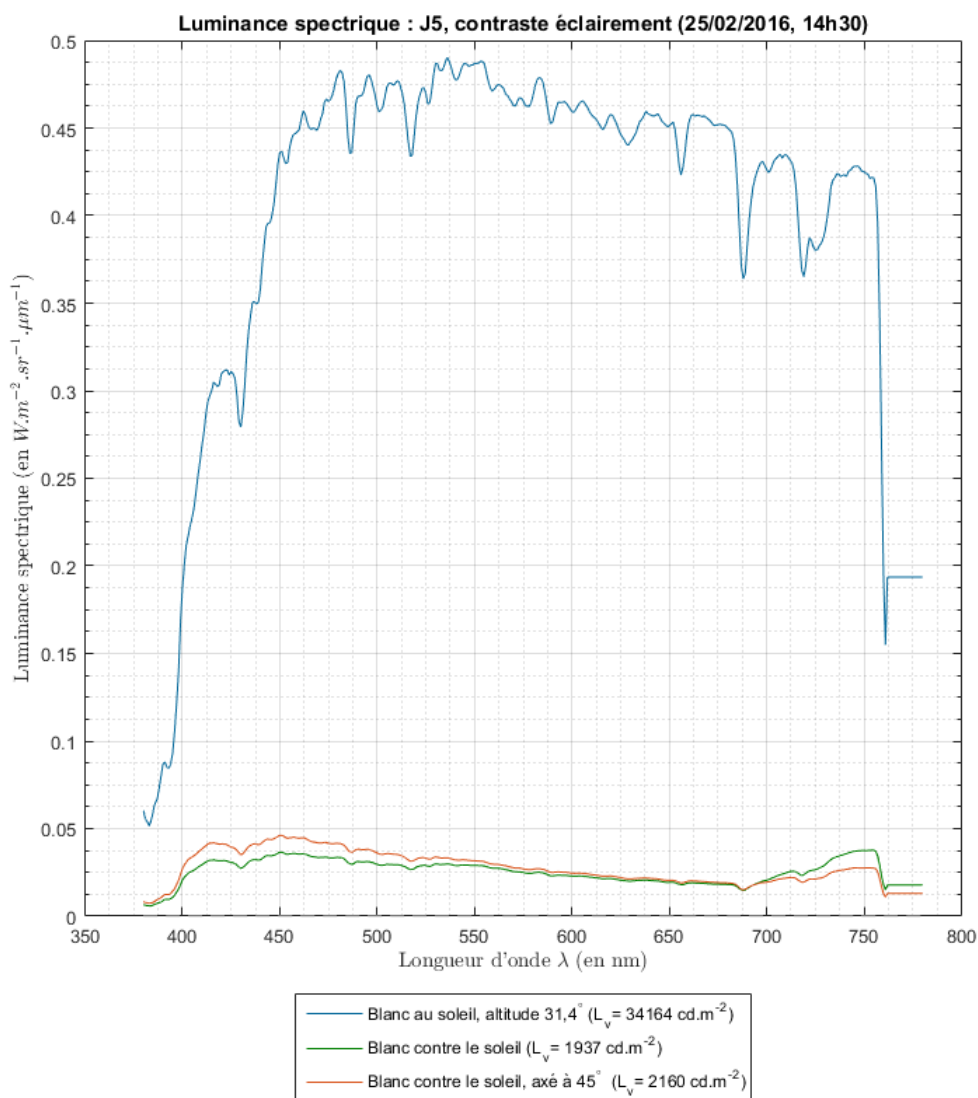


Figure 9. Mesures en luminance spectrique en plein jour.

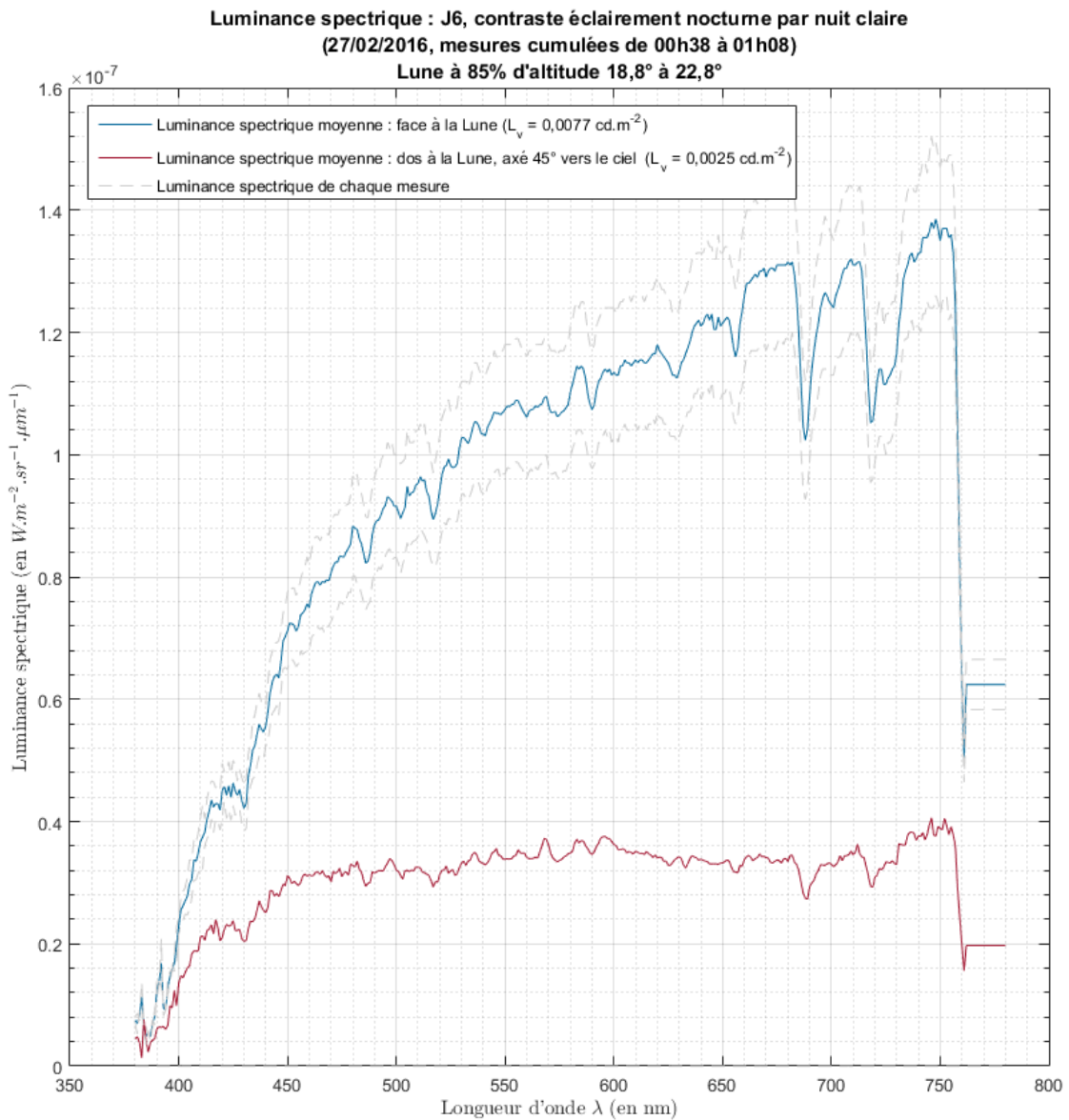


Figure 10. Mesures en luminance spectrique durant une nuit lunaire.

En plein jour, le contraste éclaircment mesuré est de 15 environ. Durant la nuit, il est de 3. Ces valeurs posent question.

Les détails du dispositif de mesure sont décrits en annexe.

2. Percevoir la nuit

La surface de notre planète reçoit un flux lumineux, aux caractéristiques variables selon les conditions astronomiques ou météorologiques. Sa quantité est faible, voire très faible, mais sa qualité est telle que le monde peut physiquement s'organiser, en gradients de niveaux lumineux et en discriminations colorées.

Cependant, nous ne percevons pas la nuit comme le jour. Les faibles quantités lumineuses n'expliquent pas cette différence. Elles peuvent par contre expliquer un fonctionnement différent de notre appareil visuel, qui expliquera alors peut-être à son tour notre perception nocturne.

« Il semble absurde au possible, je le reconnais, de supposer que la sélection naturelle ait pu former l'œil avec toutes les inimitables dispositions qui permettent d'ajuster le foyer à diverses distances, d'admettre une quantité variable de lumière et de corriger les aberrations sphériques et chromatiques »¹².

Dans quelle mesure l'appareil visuel s'adapte-t-il aux faibles niveaux lumineux de la nuit rurale ? Quelles conséquences sur notre perception ? Quelles sont les caractéristiques de l'appauvrissement visuel dont nous sommes victimes durant la nuit ?

¹² **DARWIN Charles**, *De l'origine des espèces*, Ligarán, 2015

A. L'appareil visuel

Les deux yeux humains sont grossièrement sphériques. Nous pouvons couper chaque œil en deux : le côté temporal, vers l'extérieur du visage, et le côté nasal, vers l'intérieur et le nez. Un rayon lumineux traverse d'abord la cornée, pénètre dans l'humeur aqueuse, passe entre les limites physiques de l'iris avant de traverser le cristallin. Il pénètre ensuite l'humeur vitrée, au sein de l'œil et atteint enfin la rétine, sur laquelle sont répartis les photorécepteurs qui assurent la réponse de l'appareil visuel à la lumière.

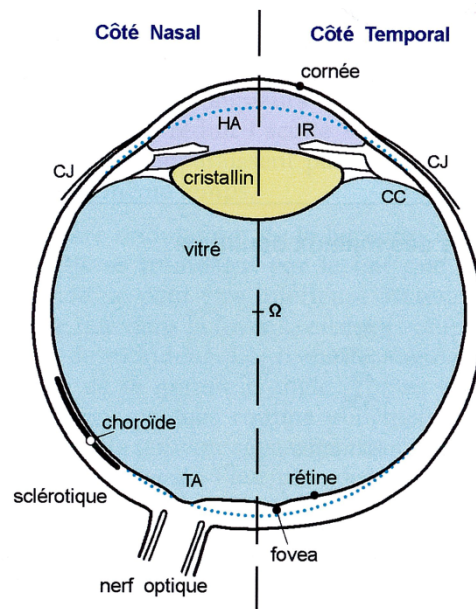


Figure 11. Coupe de l'œil humain¹³

Coupe horizontale de l'œil droit vu de dessus. HA : humeur aqueuse, IR : iris, CJ : conjonctive, CC : corps ciliaire, TA : tache aveugle.

Détaillons le rôle de certains éléments de l'œil. L'iris dessine les contours d'un orifice central, la pupille, qui a un rôle de régulateur de la quantité de lumière qui va jusqu'à la rétine, se fermant et s'ouvrant selon les besoins. Son diamètre peut varier, en moyenne, de 2mm à 8mm. Dans des conditions naturelles, la surface

¹³ SÈVE, Robert, *Science de la couleur, Aspects physiques et perceptifs*, Chalagam Édition, 2009.

de la pupille varie dans un rapport d'environ 15 fois. C'est une première adaptation à l'éclairement de la rétine.

Le cristallin est une lentille. Il joue un rôle essentiel et réflexe dans l'accommodation, modifiant la vergence de l'œil afin d'obtenir une vision nette de la scène observée.

La rétine est le premier foyer de la perception visuelle. Sur sa surface sont répartis les photorécepteurs, capables de réagir à la pluie de photons qui s'abat sur elle lorsque nous regardons le monde lumineux qui nous entoure. La rétine est caractérisée par une zone remarquable : la fovéa. Elle est le centre de notre vision. Elle fait 1500µm de diamètre et correspond à 5° d'angle du champ visuel. C'est sur la fovéa que nous cherchons à focaliser ce que nous regardons, car c'est là que notre acuité visuelle est la plus grande et que notre vision des couleurs est optimale. Le reste de la rétine construit le reste de notre champ de vision. Un angle de champ visuel de 15° est souvent pris en compte comme étant le centre de notre vision et inclut donc la fovéa et une zone dite parafovéale immédiatement voisine de la fovéa.

Un dernier point remarquable de l'œil est la tâche aveugle, ou papille optique, qui porte son nom pour la simple raison qu'aucun photorécepteur n'y est présent. Derrière cette tâche se cache le départ du nerf optique, qui est la ramification de toutes les fibres nerveuses de la rétine. Le nerf optique d'un œil croise le nerf optique de l'autre œil au niveau du chiasma optique avant de s'enfoncer jusqu'à l'arrière du cerveau dans le corps genouillé latéral, puis dans le cortex visuel.

L'appareil visuel est bien plus que les deux yeux. Il concerne un complexe nerveux très vaste, ramifié à de nombreuses régions du cerveau.

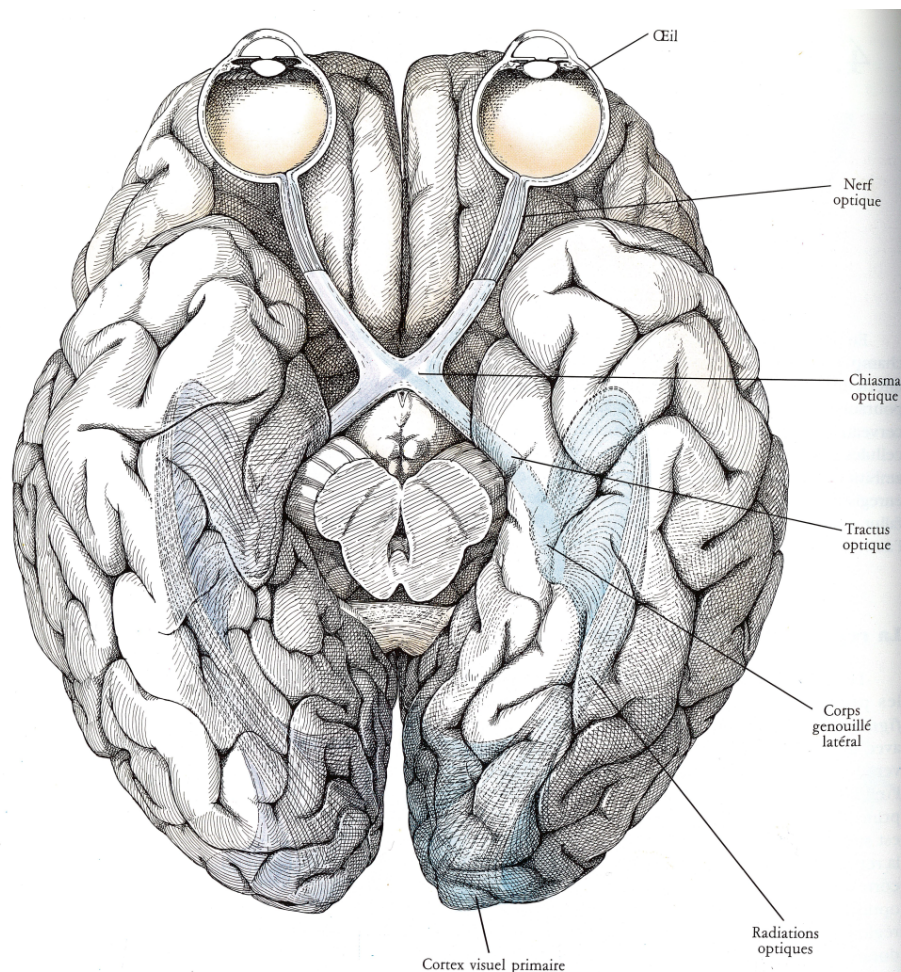


Figure 12. Voie visuelle de l'œil au cortex visuel primaire.¹⁴

B. Les photorécepteurs

La rétine est recouverte de photorécepteurs. Ce sont des éléments capables de réagir chimiquement à la réception de photons. Ils véhiculent ensuite le signal sous forme d'impulsions électriques. Les photorécepteurs sont de quatre types : les cônes L, M et S et les bâtonnets.

Les cônes sont les acteurs de notre vision diurne, dite photopique, tandis que les bâtonnets sont les acteurs de notre vision nocturne, dite scotopique. Les bâtonnets ont une sensibilité bien supérieure à celle des cônes. Ce sont eux qui prennent le relais des cônes quand la luminance du sujet diminue. Ce relais

¹⁴ HUBEL, David, *L'œil, le cerveau et la vision - Les étapes cérébrales du traitement visuel*, Pour la Science, 1994.

s'effectue avec une adaptation, assez rapide pour les cônes, beaucoup plus lente pour les bâtonnets et pour de très faibles luminances.

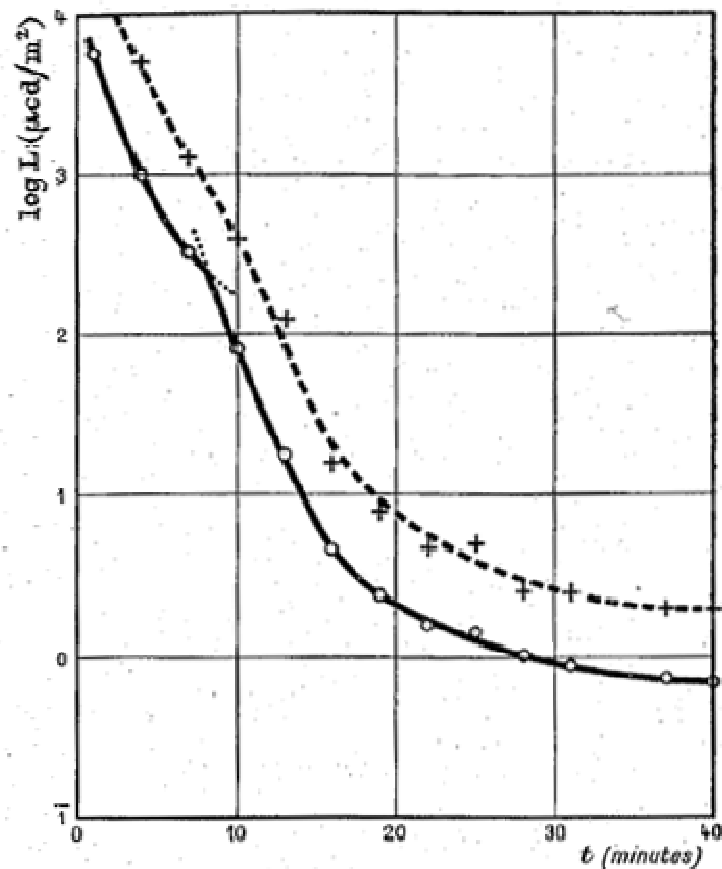


Figure 13. Courbe d'adaptation (valeur moyenne en trait plein, maxima normaux en pointillés).¹⁵

Il existe un seuil absolu à la quantité lumineuse détectable. Par des expérimentations psychométriques, un seuil absolu de détection a été établi pour des luminances de 10^{-6} cd.m⁻² à 3.10^{-7} cd.m⁻².¹⁶

La répartition des photorécepteurs sur la rétine est remarquable. Les cônes sont majoritairement concentrés sur la fovéa et y sont plus petits tandis que leur taille augmente à l'extérieur de la fovéa. Dans le centre de la fovéa, la fovéola,

¹⁵ LE GRAND, Yves, *Optique physiologique: Tome 2, Lumière et couleurs*, 2^{ème} édition, Paris, Masson, 1972.

¹⁶ LE GRAND, Yves, *ibid.*, p159.

d'un diamètre angulaire de 400 μm , la densité spatiale des cônes atteint environ 150 000 cônes par mm^2 et les bâtonnets en sont totalement absents. De même, alors que les cônes S représentent 10% de la population totale des cônes, ils sont eux aussi absents du centre fovéolaire.

Les bâtonnets, quant à eux, voient leur densité spatiale augmenter à l'extérieur de la fovéa jusqu'à un maximum de 160 000 bâtonnets par mm^2 à 15° de l'axe visuel, tandis que la densité des cônes chute à moins de 20 000 cônes par mm^2 . La répartition spatiale des bâtonnets est complémentaire de celle des cônes.

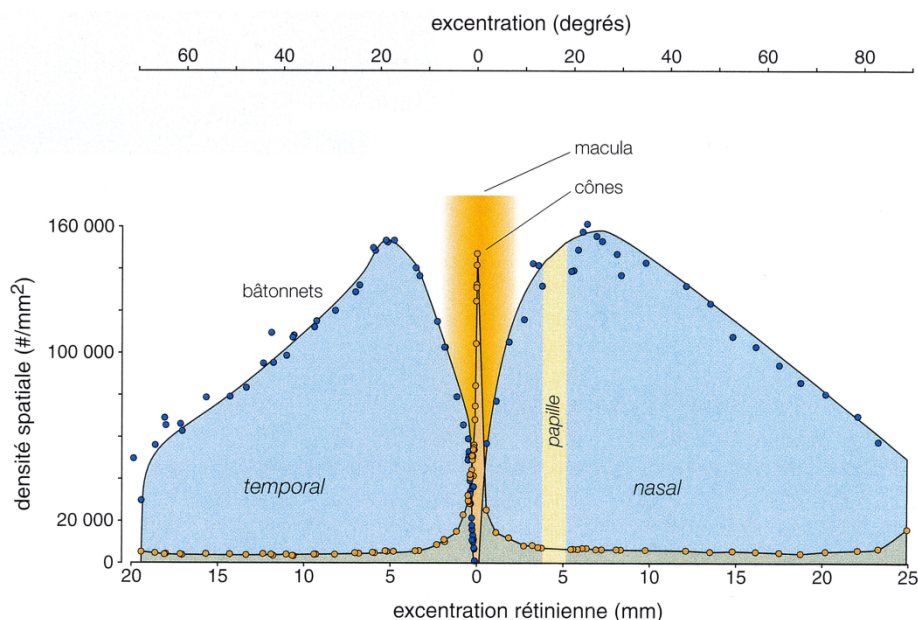


Figure 14. Densité spatiale des bâtonnets en surimpression de celle des cônes.¹⁷ En jaune et en gris, densité spatiale des cônes. En bleu, densité spatiale des bâtonnets. La macula est représentée par le dégradé jaune foncé.

La vision scotopique est donc aveugle dans le centre du champ visuel et maximale en vision parafovéale. Cette réalité physiologique se vérifie empiriquement sous un ciel étoilé. Nous verrons toujours plus d'étoiles dans une

¹⁷ **RODIECK, Robert W.**, *La vision*, traduction de la 1^{ère} édition américaine par Françoise Koenig-Supiot et Olivier Thoumine, De Boeck Diffusion, 2003. D'après Østerberg, 1935.

zone donnée du ciel si nous n'observons pas directement cette zone, mais en plaçant au contraire notre regard juste à côté.

Les trois variétés de cônes ont chacun une sensibilité spectrale qui leur est propre. Ainsi, ils réagissent différemment aux stimuli colorés. Les sensibilités des cônes M, pour *medium wavelength*, et des cônes L, pour *long wavelength*, sont proches tandis que la sensibilité des cônes S, pour *short wavelength*, se démarque davantage. Toute stimulation visuelle sera à l'origine d'une réponse de chacun des photorécepteurs, mais avec une importance variable dépendant de la stimulation pour chacun des trois cônes : c'est la base de la trivariance visuelle, grâce à laquelle nous discernons les couleurs du monde diurne.

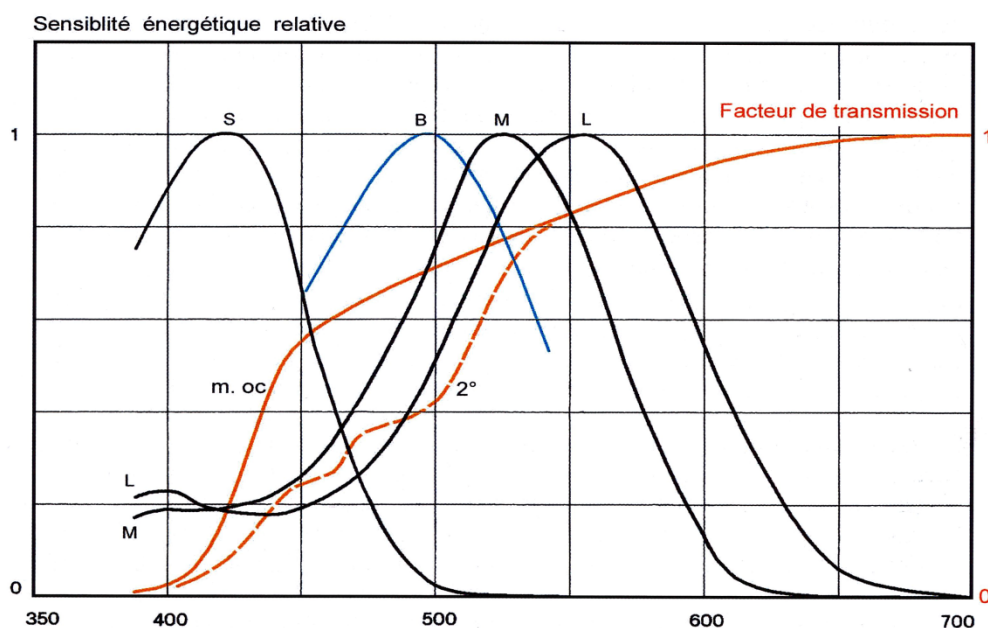


Figure 15. Courbes de sensibilité relative des photorécepteurs rétiniens en fonction de la longueur d'onde.¹⁸

Cônes S pour *short wavelength*, M pour *medium wavelength*, L pour *long wavelength*. En bleu, courbe indicative pour les bâtonnets. En orangé pointillé, facteur de transmission des milieux oculaires. En orangé continu, facteur de transmission de la macula (2° d'angle de champ visuel pour une personne jeune).

¹⁸ SÈVE, Robert, *Science de la couleur, Aspects physiques et perceptifs*, Chalagam Édition, 2009.

Si les sensibilités spectrales des trois cônes permettent la vision des couleurs, ce n'est pas seulement par combinaison additive des trois réponses. Les couleurs sont interprétées selon un antagonisme spectral, qui permet d'opposer le bleu au jaune, le rouge au vert et le blanc au noir.

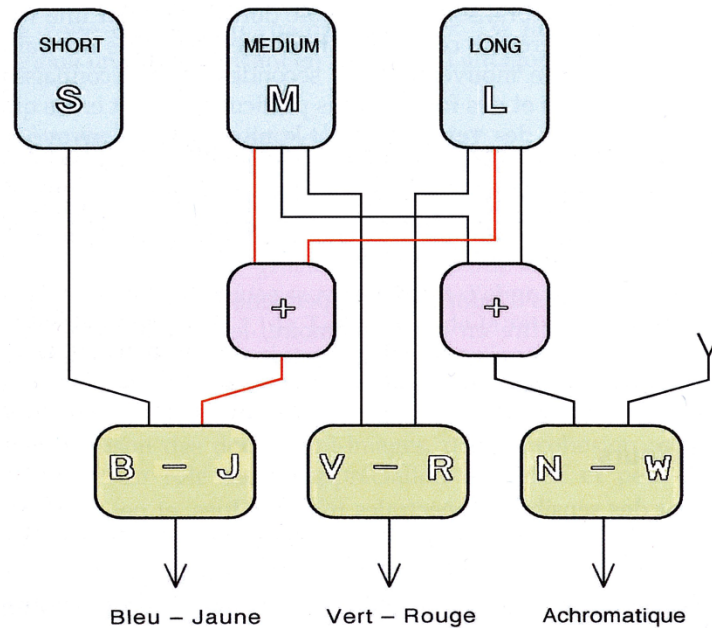


Figure 16. Schéma de principe du processus de vision des couleurs.¹⁹

Sous forme d'un réseau logique, ce schéma représente les processus additifs et antagonistes qui entrent en jeu dans la vision des couleurs. Les cônes, récepteurs de la lumière, sont représentés en haut.

Les bâtonnets sont responsables de notre vision nocturne, dite scotopique. Ils ont tous la même et unique sensibilité spectrale. Les bâtonnets n'offrent pas la possibilité de trivariance des cônes puisqu'ils ont tous une seule et unique sensibilité spectrale. Ils ne permettent donc pas la détection des couleurs. En vision scotopique, nous ne pouvons discerner que des différences de niveaux de luminance.

¹⁹ SÈVE, Robert, op. cit.

Entre vision photopique et vision scotopique, c'est le domaine de la vision mésopique dans lequel les réponses des cônes et des bâtonnets se partagent le réseau de l'appareil visuel. Ce domaine est celui de la vision des scènes de pénombre. La vision mésopique est un moment de transition physiologique naturel, provoqué par la tombée du jour. C'est un moment perturbant et éprouvant pour l'appareil visuel, car il se place à la croisée de deux systèmes visuels différents.

La vision mésopique est un lieu de basculement. Nous devenons peu à peu aveugles aux couleurs tandis que leur leucie²⁰ se déplace. L'effet Purkinje en est la manifestation la plus flagrante. Les bâtonnets, insensibles aux grandes longueurs d'onde qui correspondraient aux couleurs les plus rouges, impose à notre perception la vision d'un objet rouge comme noir. Durant la progression de notre adaptation et de la tombée du jour, la rose rouge perd de sa pureté²¹ et s'assombrit.



Figure 17. Simulation de l'effet Purkinje sur l'apparence visuelle d'un géranium. Photographie originale : Lewis Collard. Travail de l'image : Dick Lyon. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6981081>, CC BY-SA 3.0, consultation du 20/04/2016.

L'ensemble des photorécepteurs sont reliés à un réseau complexe de cellules de la rétine : les cellules ganglionnaires, les cellules bipolaires, les cellules

²⁰ Leucie : « La *leucie* (*lightness*) est la luminosité perceptive d'une surface jugée par rapport à celle d'une surface idéale, parfaitement réfléchissante (donc assimilée au diffuseur parfait), éclairée de la même façon. » (**SÈVE, Robert**, op. cit.). La leucie est le pendant psychophysique de la clarté.

²¹ La pureté peut être comprise comme la force d'une couleur. Moins une couleur est mélangée à une autre couleur, plus elle est pure. Les valeurs neutres, allant du blanc, au gris, au noir, ont une pureté égale à zéro.

amacrines et les cellules horizontales. Cet ensemble de cellules est responsable d'un premier traitement des informations visuelles perçues. De la ramification des synapses et des axones de ces cellules naît leur champ récepteur²². Si nous observons le développement d'un embryon, nous découvrons que l'œil est une extension du cerveau. Soudé à celui-ci au début du développement, l'œil s'en écarte peu à peu, tirant derrière lui le nerf optique. Les champs récepteurs de l'œil se combinent et se recombinent, se complexifiant, à mesure que les signaux visuels s'enfoncent et se répartissent dans le cerveau.

Les champs récepteurs permettent la détection des contrastes lumineux. Par excitation et inhibition, les champs récepteurs, dits à centre « on » ou à centre « off », sont réactifs à des formes contrastées, telles une ligne noire sur fond blanc. À l'inverse, ils sont très peu réactifs à des aplats homogènes. C'est l'antagonisme spatial.

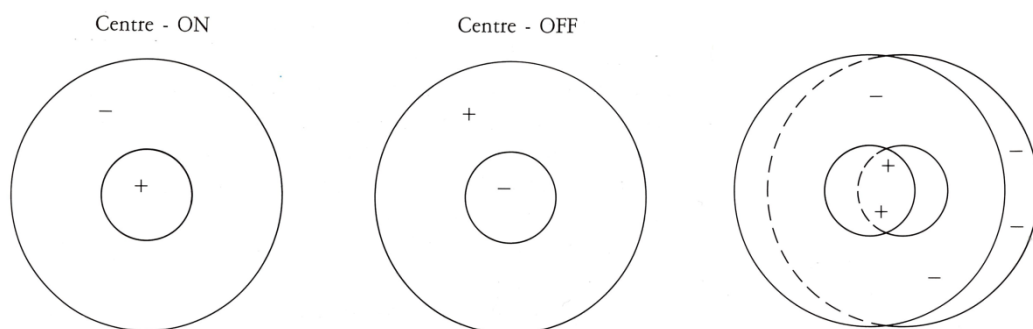


Figure 18. Cellule ganglionnaire à centre-ON (à gauche), à centre-OFF (à droite) et représentation d'un recouvrement de deux champs récepteurs.²³

Le « + » représente une région excitatrice, le « - » une région inhibitrice.

Ce fonctionnement antagoniste, entre excitation et inhibition, explique la notion de contraste simultané. Si deux plages juxtaposées diffèrent en clarté, la

²² Un champ récepteur d'une cellule est une région qui, lorsqu'elle est excitée par un stimulus donné en son sein, modifie la réponse de la cellule concernée.

²³ **HUBEL, David**, *L'œil, le cerveau et la vision - Les étapes cérébrales du traitement visuel*, Pour la Science, 1994.

perception de leur différence de clarté est magnifiée. Il en va de même pour deux plages de teintes différentes.

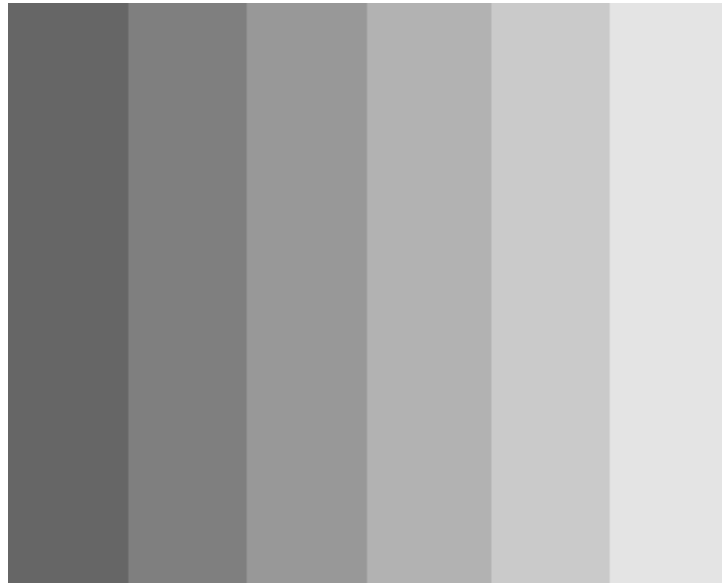


Figure 19. *Bandes de Mach.*

Le phénomène de magnification du contraste simultané se perçoit à la frontière des plages.

Très tôt, l'appareil visuel interprète et assemble les informations des photorécepteurs indépendants afin d'appréhender le monde. Nous n'avons jamais accès à l'information d'un seul photorécepteur.

La trivariance visuelle est un autre exemple de cet assemblage d'informations indépendantes. La perception des couleurs, à l'instar de la détection des contrastes lumineux, est un autre moyen pour notre appareil visuel d'enrichir son pouvoir discriminant des objets qui nous entourent. Au contraste lumineux s'ajoute le contraste chromatique.

C. La vision est un possible

Le segment externe d'un photorécepteur contient les pigments visuels dont une portion absorbe la lumière : c'est le chromophore. Le segment interne contient quant à lui les composants nécessaires au métabolisme de la cellule. La lumière traverse l'ensemble des cellules et des vaisseaux sanguins reliés aux photorécepteurs, puis l'intégralité du photorécepteur lui-même, avant d'arriver à sa partie photosensible.

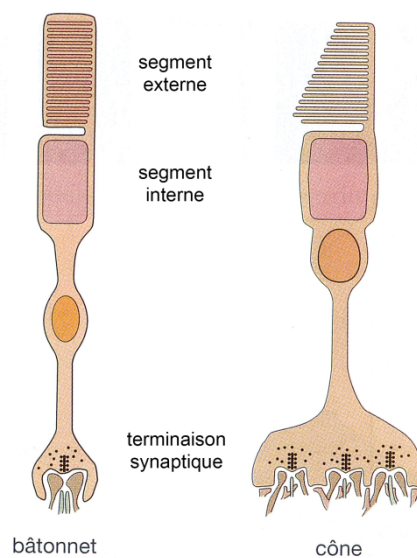


Figure 20. Représentation simplifiée d'un cône (à gauche) et d'un bâtonnet (à droite).²⁴

Lorsque la partie photosensible d'un récepteur reçoit de la lumière, il la transforme en signal électrique par polarisation : c'est le phénomène de photo-isomérisation. La grande particularité des bâtonnets est d'être capable de répondre à l'absorption d'un seul photon.

Les cônes sont capables d'une réponse graduelle au nombre de photons reçus par récepteur²⁵. Ils s'adaptent sans limite haute aux quantités de photons

²⁴ **RODIECK, Robert W.**, *La vision*, traduction de la 1^{ère} édition américaine par Françoise Koenig-Supiot et Olivier Thoumine, De Boeck Diffusion, 2003.

²⁵ **RODIECK, Robert W.**, *ibid.*

reçues. La seule limite est la cuisson, très simplement, des photorécepteurs suite à la réception d'une quantité d'énergie trop grande.

Les bâtonnets, quant à eux, offrent une réponse graduelle jusqu'à une saturation de 500 photons par seconde environ²⁶.

Intéressons-nous à l'observation d'une scène très sombre. En pleine lumière, la répartition des photons peut être considérée comme continue. Chaque cône reçoit une multitude de photons en provenance de la scène observée, focalisés par l'optique de l'œil sur la rétine. Dans l'obscurité, la lumière se rapproche davantage d'un agglomérat de parasites que sont les photons. Ils arrosent notre œil dans une quantité si réduite que leur répartition sur la rétine est disparate et discrète. Si nous considérons un aplat sombre, comme la cime d'une pinède observée dans la nuit noire, cet aplat peut être représenté davantage par un ensemble de points que comme un aplat continu. C'est alors l'analyse de la densité spatiale du nombre de photons détectés, sur une surface donnée de notre rétine, qui peut nous informer du niveau lumineux de ladite surface.

Idéalement, on pourrait imaginer qu'un cône peut « compter » le nombre de photons et comparer son résultat avec le décompte du cône voisin. Dans les conditions d'une scène très sombre, l'éclairement de la rétine peut être si faible qu'un seul photon en moyenne ne touche nos bâtonnets. Impossible de comparer la réponse d'un bâtonnet par rapport à celle d'un autre. La comparaison n'est possible qu'en étudiant une moyenne de réponses de plusieurs bâtonnets, correspondante à une surface analysée.

Considérons l'exemple simplifié suivant. Sous un éclairement E de 10^{-3} lux, nous observons un carton blanc d'un facteur de réflectance R_1 de 0,85, un carton gris d'un facteur de réflectance R_2 de 0,31 et un carton noir d'un facteur de réflectance R_3 de 0,05.

²⁶ **RODIECK, Robert W.**, op. cit.

Nous pouvons en déduire la luminance de ces cartons par la relation suivante, en supposant les cartons considérés comme des diffuseurs parfaits, c'est-à-dire qu'ils réfléchissent la lumière de manière égale dans toutes les directions :

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

$$\text{Ainsi, } L_1 = \frac{(10^{-3} \times 0,85)}{\pi} = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ cd.m}^{-2} \text{ , } L_2 = \frac{(10^{-3} \times 0,31)}{\pi} = 9,9 \cdot 10^{-5} \text{ cd.m}^{-2} \text{ et } L_3 = \frac{(10^{-3} \times 0,05)}{\pi} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ cd.m}^{-2} .$$

L'éclairement rétinien E_r , exprimé en troland (Td), est le produit de la luminance de l'objet observé par la surface de la pupille exprimée en millimètres carré. Considérons une pupille pleinement dilatée, d'une surface de 48 mm².

$$\text{Alors, } E_{r_1} = 2,7 \cdot 10^{-4} \times 48 = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ Td} \text{ , } E_{r_2} = 9,9 \cdot 10^{-5} \times 48 = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ Td} \text{ et } E_{r_3} = 1,6 \cdot 10^{-5} \times 48 = 7,7 \cdot 10^{-4} \text{ Td} .$$

D'après Rodieck²⁷, en vision scotopique et pour des bâtonnets situés à environ 10° ou 15° de l'axe visuel, chaque Troland correspond à l'absorption de 4,6 photons par seconde. En posant N le nombre de photons absorbés par seconde et par bâtonnet, on a :

$$N_1 = 1,3 \cdot 10^{-2} \times 4,6 = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ photons/sec}$$

$$N_2 = 4,8 \cdot 10^{-3} \times 4,6 = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ photons/sec}$$

$$N_3 = 7,7 \cdot 10^{-4} \times 4,6 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ photons/sec}$$

Il est impossible de couper un photon en deux. Un bâtonnet dans une région donnée de la rétine absorbera un ou plusieurs photons ou n'en absorbera aucun. Le nombre de photons par seconde détecté par un bâtonnet est une moyenne exprimée par bâtonnet sur une surface déterminée de la rétine. Afin d'étudier la répartition des photons sur la rétine, bâtonnet par bâtonnet, nous allons faire appel à une distribution de Poisson. C'est-à-dire une loi de

²⁷ **RODIECK, Robert W.**, op. cit., p155.

probabilités qui distribue le nombre d'échantillons de manière aléatoire sur une surface donnée à partir d'une moyenne du nombre d'échantillons par élément de surface. Cette distribution se fait de manière discrète, c'est-à-dire en valeurs entières positives.

Nous allons simuler sur des rectangles de 300 par 150 pixels la distribution des photons à partir du nombre de photon moyen calculé précédemment, pour la luminance de chacun des cartons, pendant une seconde. Nous supposerons donc qu'un pixel équivaut à un bâtonnet de la région considérée.

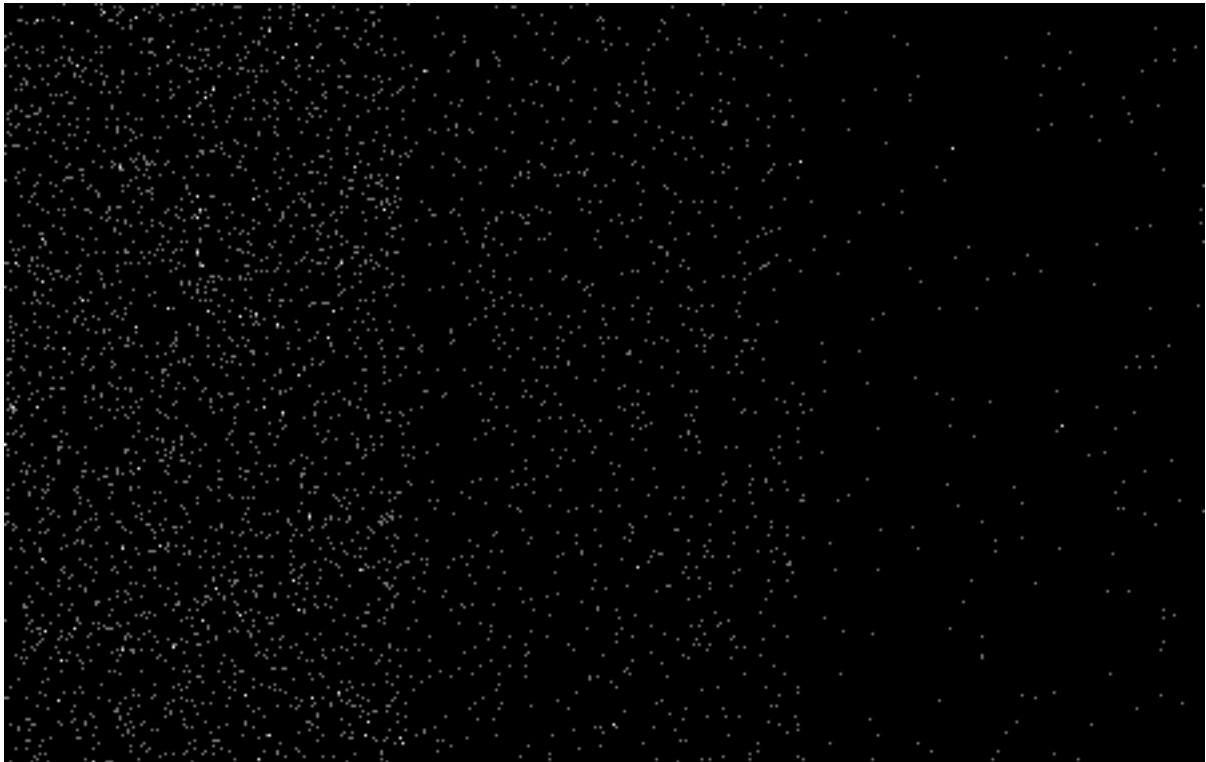


Figure 21. Simulation de la distribution des photons sur la rétine pendant une seconde.

Chaque pixel de l'image illustre un bâtonnet. Chaque pixel blanc illustre l'absorption d'un photon. Les pixels les plus clairs ont absorbé plus d'un photon (deux au maximum dans cette itération de la simulation, pour chacun des éclairagements rétiens). À gauche est représenté l'image du carton blanc 85% sur la rétine, au centre le carton gris 31%, à droite le carton noir 5%.

Pour des niveaux aussi bas, la majorité des bâtonnets ne reçoivent qu'un seul photon. Leur réponse est binaire : absorption ou non d'un photon. La limite inférieure de notre perception est alors déterminée par un phénomène de bruit qui parasite notre vision. Ce bruit est intitulé « auto-gris »²⁸, ou « gris intrinsèque », d'après la traduction de l'allemand *eigengrau*. Un bâtonnet est capable de détecter de manière certaine un seul photon. Bien que particulièrement stables, les chromophores des pigments visuels des bâtonnets peuvent changer d'état sans photo-isomérisation. Une information de détection erronée est alors transmise à l'appareil visuel. Le bruit de fond est constitué des

²⁸ RODIECK, Robert W., op. cit., p140.

informations de tous les bâtonnets qui ont réagi spontanément, sans réception de photon.

Des expériences psychophysiques ont estimé que le gris intrinsèque équivaut à l'absorption de $1000 \text{ photons} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mm}^{-2}$. Pour une densité spatiale de 160 000 bâtonnets par mm^2 , cette absorption parasite revient à un photon par bâtonnet toutes les 160 secondes. Son résultat sur la vision est l'impression d'un niveau lumineux : un gris général, soit un brouillage duquel nous ne pouvons plus extraire l'information utile.

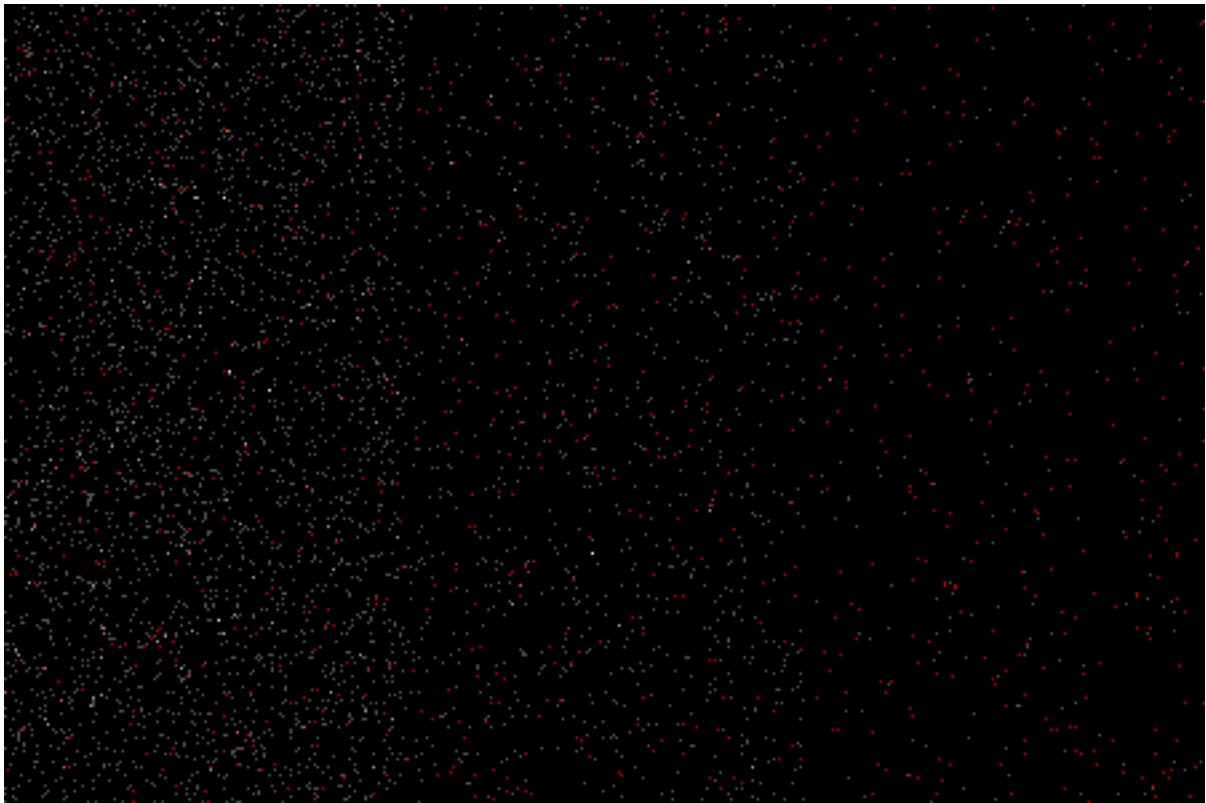


Figure 22. *Simulation de la distribution des photons sur la rétine pendant une seconde avec génération du gris intrinsèque.*

Nouvelle itération de la simulation précédente, avec génération du gris intrinsèque assimilé à la capture de 1 photon capturé par bâtonnet toutes les 160 secondes (en rouge).

La perception des contrastes, des détails et des couleurs par l'appareil visuel répond à la nécessité pour l'Homme d'extraire les informations du monde qui l'entoure. La détection des différences est le meilleur moyen pour nous de hiérarchiser la scène dans laquelle nous évoluons. Les contrastes en luminances permettent la discrimination des objets et des volumes dans l'espace, de leurs limites, de leur position, et sont intrinsèquement liés à la perception des détails. Le contraste et le détail sont les deux faces d'une même pièce.

La différenciation des couleurs nous offre un niveau supérieur de discrimination. Les contrastes chromatiques et l'information colorée ajoutent un niveau de compréhension et d'appréhension de notre monde.

Notre environnement culturel, social et individuel influe psychologiquement sur la manière dont nous utilisons les informations glanées par notre appareil visuel. Et, finalement, c'est là que nous parlons de perception, et que cette perception diffère d'un individu à l'autre bien que nos organes de captation de l'information soient les mêmes. Un Inuit qui parcourt l'Inlandsis groenlandais est capable de discriminer des nuances de blancs là où un Parisien de naissance n'y verrait qu'un blanc uniforme. Par l'apprentissage, ce même Parisien pourrait sans doute percevoir les multiples nuances de blanc, capacité nécessaire à sa survie sur le plus grand glacier du monde. Percevoir, c'est peut-être le reflet de l'organisation et du tri des informations que notre appareil visuel est capable d'aller piocher dans son environnement.

La nuit, notre perception s'appauvrit notablement. La discrimination des contrastes s'amenuise, avec elle celle des détails. La discrimination des couleurs peut aller jusqu'à disparaître complètement. Notre accès au monde se réduit. Sa lecture s'obscurcit. La nuit désoriente car l'environnement perd à nos yeux sa richesse. L'information est dégradée.

3. Les images de la nuit au cinéma

Nous appréhendons mieux le comportement de notre appareil visuel face à un environnement nocturne tel qu'une nuit extérieure rurale peut le proposer. Nous avons pu estimer les différences perceptives qui existent entre l'observation d'une scène diurne et l'observation d'une scène nocturne.

Il paraît évident que pour représenter la nuit au cinéma, nous nous inspirons de nos impressions du monde nocturne. La création cinématographique s'affranchit bien sûr de la nécessité de véracité. Un choix est donc fait pour s'approprier une partie de nos sensations de la nuit pour en rendre l'impression à l'écran. Logiquement, certains choix pas nécessairement véridiques s'imposent aussi à nous aujourd'hui, sous la forme de codes communément admis par le spectateur et par les créateurs.

A. La nuit noire : *Pola X* et *Rencontres du troisième type*

Qu'est-ce qu'une image nocturne ? Quelles sont les caractéristiques qui nous permettent de l'identifier comme étant l'image de la nuit plutôt que celle du jour ?

Intéressons-nous à une scène diurne de *Pola X*, de Leos Carrax.



Figure 23. *Pola X*, réalisé par Leos Carrax et photographié par Eric Gauthier (1999).

Capture du DVD.

L'image tire globalement sur les jaunes. C'est un choix artistique : la scène est solaire, chaleureuse. Les niveaux lumineux sont élevés. Nous sentons l'éclat d'une journée d'été. La scène est assez contrastée, la lumière étant dirigée, bien que les ombres ne soient pas bouchées.

Nous avons donc une image assez riche, en couleurs, en contrastes, malgré un choix d'une teinte de sable, tant dans le décor, dans les costumes ou dans la lumière. La lecture y est aisée. Les personnages sont désignés par la lumière et par leurs costumes : chemises blanches et pantalons clairs. La limite du gazon nous aide à envisager l'espace, la bâtisse en arrière-plan nous présente ses perspectives, mises en valeurs par le jeu de la lumière qui en dessine les ombres.

Nous pouvons utiliser divers outils pour analyser plus précisément cette image. Nous souhaitons interroger son contraste et donc la répartition des valeurs, du noir au blanc : ce sera un histogramme exprimé en clarté L^* de l'espace CIELUV. La clarté L^* est une échelle psychométrique exprimée en

valeurs relatives de 0 à 100. Cette échelle épouse notre propre hiérarchisation des valeurs de luminances les unes par rapport aux autres.

Nous souhaitons aussi interroger la répartition des couleurs, de leur teinte et de leur pureté. Nous utiliserons un histogramme en teinte h de l'espace CIELUV auquel se superpose des barres de chroma C^* pour la pureté moyenne de chaque angle de teinte considéré. L'échelle de teinte h s'étale de 0° à 360° . Dans nos histogrammes en teinte, nous placerons une barre des teintes CIELUV pour aider à l'association des valeurs h à une couleur indicative connue. À 0° se trouve le rouge, à 120° le vert, à 240° le bleu, tandis qu'à 60° se trouve le jaune, à 180° le cyan et à 300° le magenta. La chroma est sans unité. Plus sa valeur est haute, plus la couleur est pure. Nous pouvons relier la chroma à la saturation par la relation suivante afin de faire référence à une grandeur plus connue :

$$s_{uv} = \frac{C_{uv}^*}{L^*}$$

La chroma est donc une grandeur indépendante de la clarté alors que la saturation lie les deux.

Nous utiliserons aussi des images transformées en valeurs CIELUV de clarté L^* et de chroma C^* . Ces images seront représentées en nuances de gris, les tons les plus clairs correspondant aux valeurs de clarté ou de chroma les plus élevées.

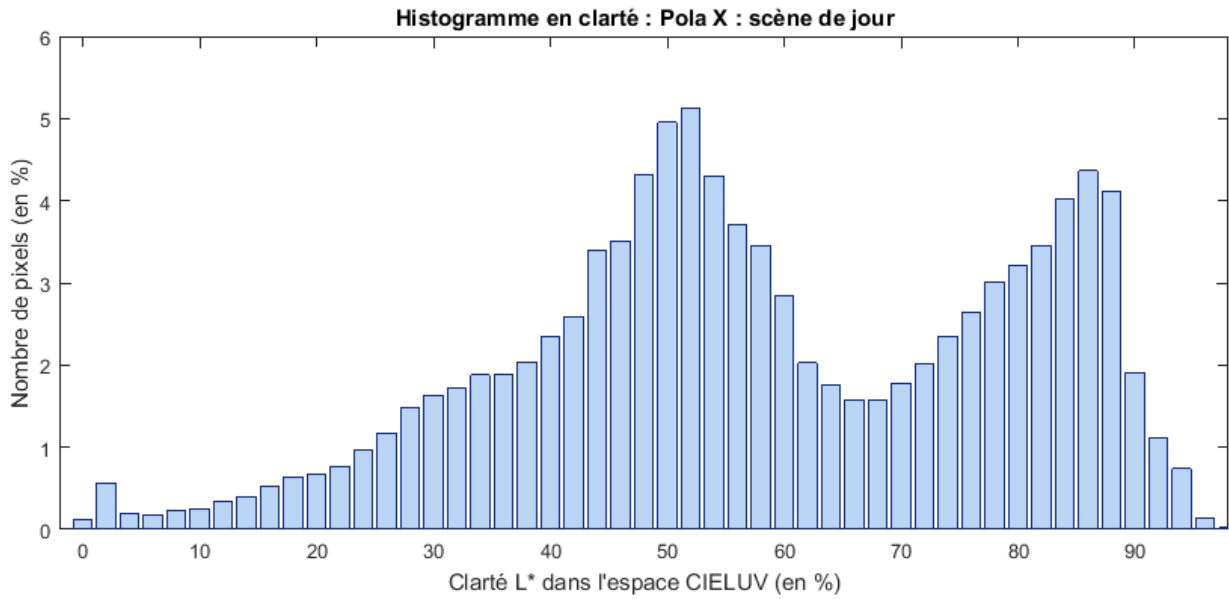


Figure 24. Histogramme en clarté L^* pour la scène de jour de Pola X.

L'ensemble de l'image de cette scène diurne de Pola X s'étale uniformément en clarté, avec une prédominance pour les valeurs allant de 40% à 90%. L'image est donc claire, lumineuse, et contrastée : toutes les valeurs sont représentées, même les plus basses bien que dans une moindre mesure.

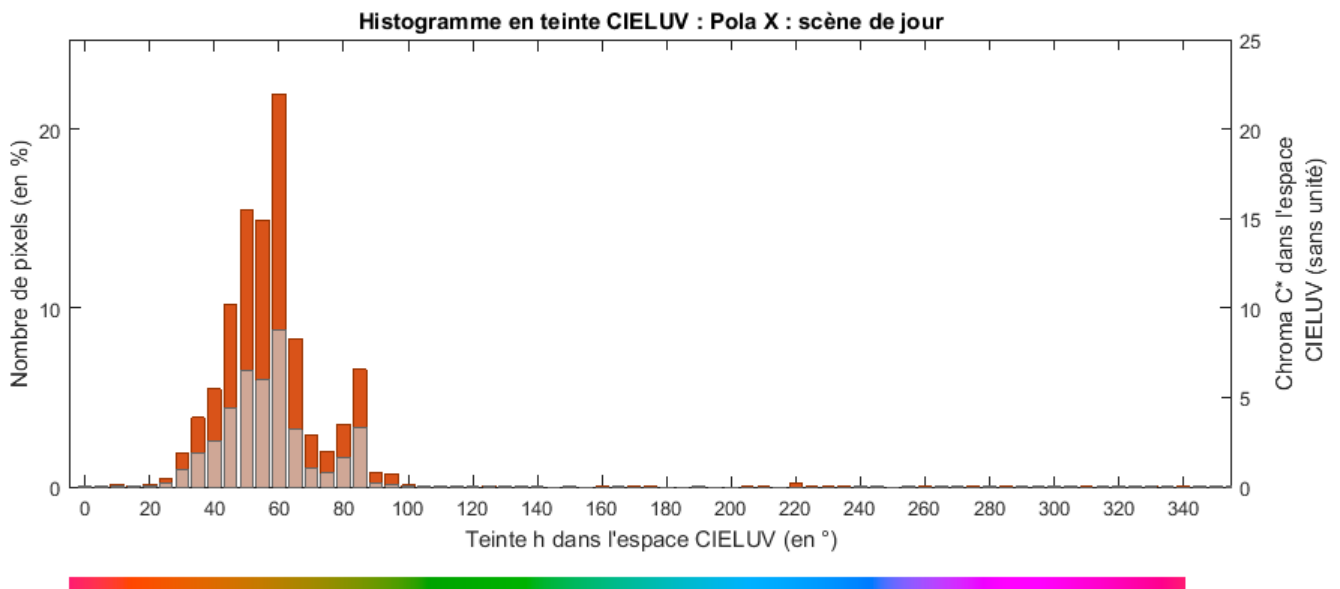


Figure 25. Histogramme en teinte h et en chroma C^* pour Pola X.

L'histogramme en teinte appuie l'impression chaude et jaune que nous pouvons avoir de l'image. Le contraste chromatique est assez faible. Cependant, la chroma est relativement élevée : les couleurs sont assez fortes.

La première scène nocturne de *Pola X* est un moment de bascule dans le récit du film. Pierre croise Isabelle à la lisière d'une forêt, de nuit, et décide de la suivre. Traversant un espace sans repères, plongé dans l'obscurité, Pierre amorçe le virage de sa vie. Dans le noir, les intentions se redessinent, la réalité se métamorphose.



Figure 26. *Pola X*, réalisé par Leos Carrax et photographié par Eric Gauthier (1999).
Capture du DVD.

La caméra en mouvement cadre serré. Les fonds flous et difformes se déplacent derrière les personnages tandis que le spectateur est bercé par le discours d'Isabelle, aussi hypnotisé que Pierre. Les yeux sont creusés, se perdent dans l'ombre. La peau a une texture plastique, artificielle. Les expressions des visages se lisent péniblement. Nous ne percevons pas le détail. La lumière ne

hiérarchise pas bien les objets. Le regard glisse sans bien accrocher les éléments dignes d'intérêt, tels les visages, un sourire, un regard.

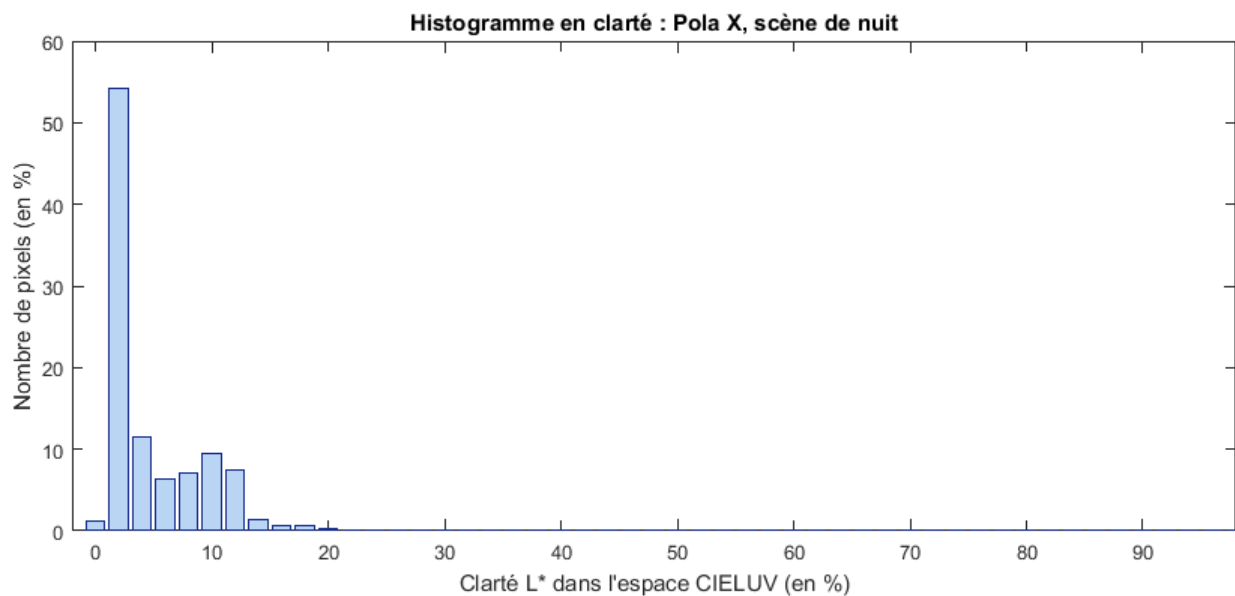


Figure 27. Histogramme en clarté L^* pour la scène de jour de Pola X.

Le contraste s'affaïsse complètement et, par conséquent, le détail de la scène avec. De plus, les valeurs les plus hautes de l'image s'arrêtent à 20% de clarté, soit un cinquième de l'image diurne analysée précédemment. Le contraste aussi est cinq fois inférieur. Voici le premier signe de la nuit. Une pauvreté de la gamme des luminances, ramassée vers les plus basses valeurs, offrant toute sa place au sombre et aux noirs.

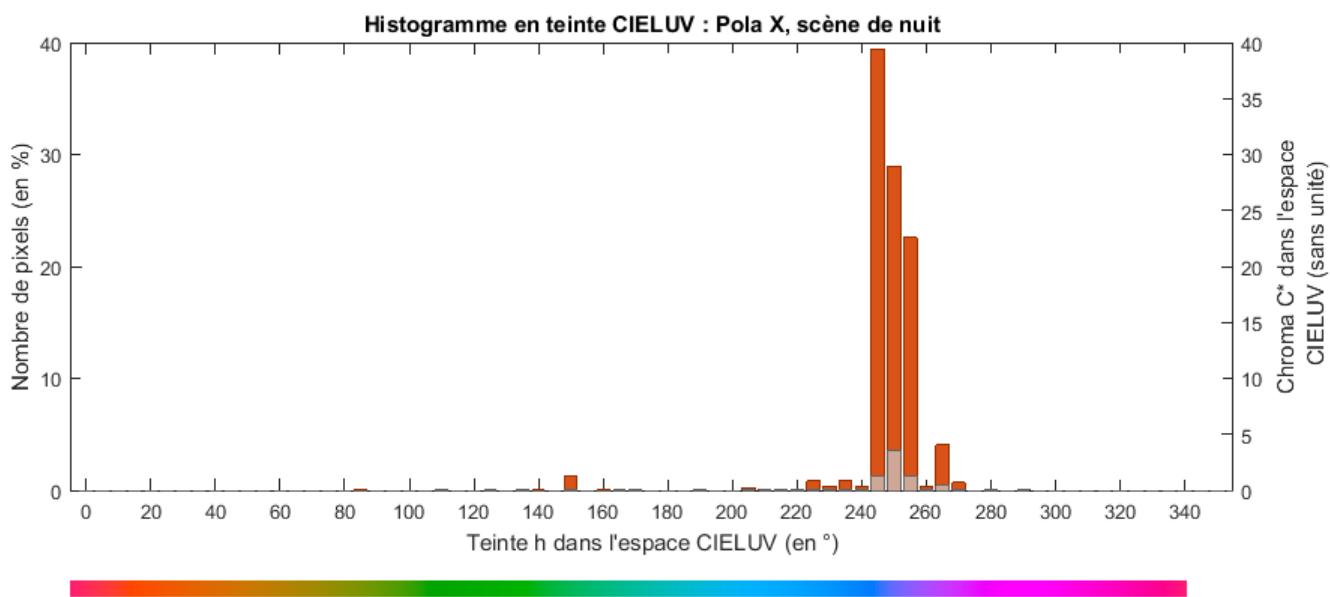


Figure 28. Histogramme en teinte h et en chroma C^* de Pola X.

La scène diurne analysée précédemment était assez pauvre en contraste chromatique. L'image nocturne l'est encore plus. Toutes les couleurs se ramassent autour d'un bleu tirant légèrement vers le magenta. Par ailleurs, la pureté s'écroule complètement. La couleur est là, mais mélangée au noir, neutralisée par l'obscurité.

Nous pouvons comparer l'image représentée en pureté de la scène diurne à celle de la scène nocturne, en normalisant les valeurs des deux images par rapport au maximum de pureté de la scène diurne. La scène nocturne décrit bien moins de nuances de pureté que la scène diurne.



Figure 29. Représentations en valeurs de chroma C^* d'une scène diurne et d'une scène nocturne de Pola X.

Valeurs de chroma normalisées dans les deux représentations par rapport au maximum de chroma de l'image diurne.

Rencontres du troisième type, réalisé par Steven Spielberg, présente plusieurs scènes nocturnes. Nous allons étudier deux photogrammes, représentant tous deux un paysage plongé dans l'obscurité de la nuit. Mais deux types de choix les opposent.





Figure 30. Rencontres du troisième type, réalisé par Steven Spielberg et photographié par Vilmos Zsigmond (1977).
Captures du Blu-ray.

Ce sont deux images de paysages dans la nuit. La première image donne à voir le paysage, tandis que la deuxième image donne à voir le ciel étoilé avec, en ombre chinoise, le paysage.

La situation est binaire. Soit nous voyons le ciel mais pas le paysage, soit c'est le paysage que nous pouvons voir mais le ciel est d'un noir d'encre, seulement piqueté de quelques étoiles.



Figure 31. Représentations en clarté des deux photogrammes de Rencontres du troisième type.

Nous sommes de nouveau confrontés à la retranscription de l'appauvrissement de notre vision en milieu nocturne. Si le paysage est visible, le ciel se représente plus sombre, comme une toile noire. Il ne sera pas représenté comme plus clair que le paysage sous peine de trahir l'ambiance nocturne. À

l'inverse, quand le ciel est visible dans des tons bleus profonds, le paysage s'enfonce dans un noir d'encre. C'est une manière de focaliser l'intention sur un élément choisi, trahissant l'intention de ne pas vouloir donner à voir l'ensemble de la scène, sans quoi nous ne serions plus vraiment dans une représentation de la nuit.

Regardons de quel couleur est représenté le ciel du deuxième photogramme :

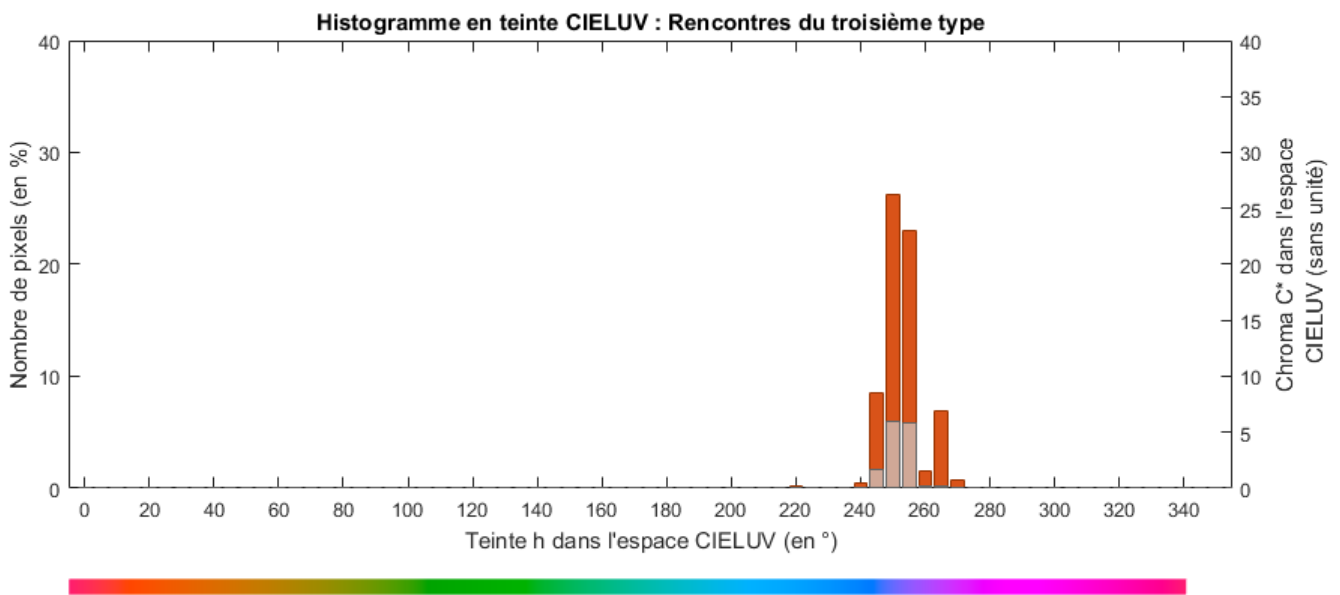


Figure 32. Histogramme en teinte h de Rencontres du troisième type.

Nous retrouvons des teintes bleues tirant très légèrement vers le magenta. La couleur est présente et assez pure. C'est bien le reflet de notre sensation quand nous regardons cette image de la nuit.

B. La nuit lunaire : *Tropical Malady*

Dans *Tropical Malady*, d'Apichatpong Weerasethakul, la forêt est encore un lieu d'initiation et la nuit un temps de passage. Mais cette nuit est très différente. Alors que *Pola X* semble représenter une nuit noire, sans effet de lune, pour une scène tournée en plein jour et traitée en post-production, la nocturne de *Tropical Malady* a été tournée en pleine nuit, avec beaucoup d'effets de contrejour par éclairages additionnels.



Figure 33. *Tropical Malady*, réalisé par Apichatpong Weerasethakul et photographié par Jean-Louis Vialard, Vichit Tanapanitch et Jarin Pengpanitch (2004).

Capture du DVD.

Le personnage est esquissé par une lumière latérale rasante qui permet d'appréhender le volume. Tout ce qui l'entoure est complètement noir, plongé dans une obscurité insondable. Nous reconnaissons son visage, son épaule, par le contour dessiné par la lumière à contrejour. Nous sentons son regard, apercevons sa bouche entrouverte, nous pouvons imaginer son inquiétude.

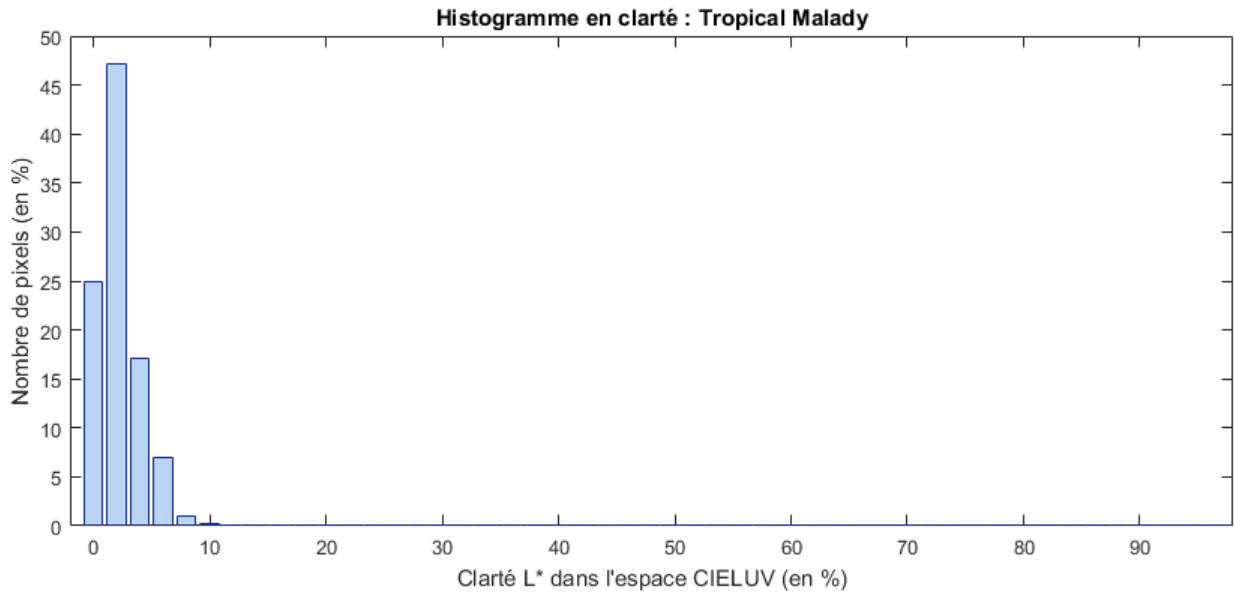


Figure 34. Histogramme en clarté L^* de l'image de Tropical Malady

Encore une fois, tout l'histogramme est ramassé dans les plus basses valeurs. Seulement, l'échelle qui nous permet de lire la quantité de pixels qui correspondent à moins de 10% de clarté (plus de 95% de l'image !) ne nous permet pas de lire la répartition des quelques hautes valeurs. En tronquant le haut des barres correspondant aux plus basses valeurs, nous obtenons l'histogramme suivant :

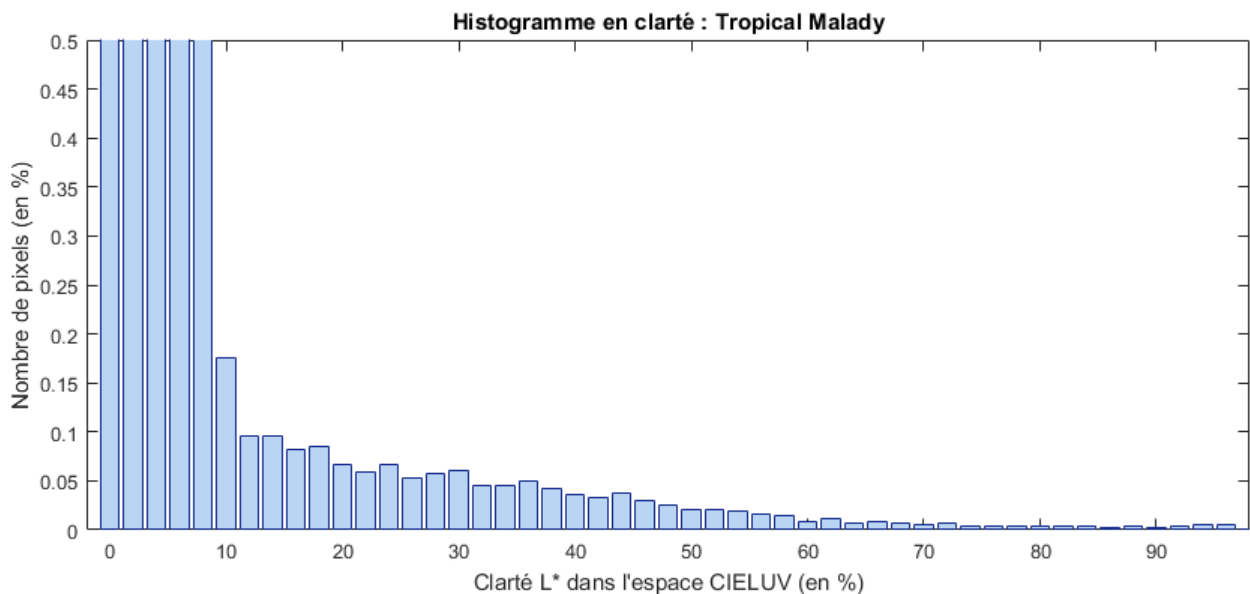


Figure 35. Histogramme en clarté L^* de l'image de Tropical Malady, limité pour un maximum de 0,5% de pixels.

Nous découvrons les valeurs que nous avons pu observer dans l'image. Une palette de nuances s'ouvre, mais pour un ratio de pixels par rapport au total de l'image très faible (moins de 0,10% de l'image dans la majorité des cas). C'est une illustration de l'éclairage à contrejour. Beaucoup de noir, un fin liseré lumineux qui représente une très faible portion de l'image. Mais c'est bien suffisant pour lire l'image d'une manière bien plus précise, identifiant immédiatement le centre d'intérêt, comprenant tout à fait la forme du visage et la position du personnage. Le contraste, finalement, est très grand. Avec lui vient le détail et la compréhension de la scène.

La sensation est différente que pour *Pola X*. La hiérarchisation de l'environnement est possible. Nous sentons la réalité nocturne par l'invisibilité de l'espace dans lequel évolue le personnage, mais nous l'acceptons car lui se détache, par un fort effet de contraste, de la noirceur. L'appauvrissement de notre vision nocturne s'exprime ici par un contraste excessif, que l'œil ne peut pas résoudre. Nous voyons le personnage : alors que nous ne pouvons rien observer d'autre.

Une autre nuit de pleine lune célèbre est celle de *La nuit du chasseur*, réalisé par Charles Laughton et photographié par Stanley Cortez. Le personnage de Robert Mitchum, à la recherche des enfants en fuite, se détache sur le fond de ciel nocturne.

La lumière est organisée selon deux géométries distinctes dans le même cadre et différencie les deux espaces antagonistes de la scène : l'enfant dans un espace protecteur mais ouvert sur l'extérieur occupé, lui, par le cavalier menaçant. L'enfant est dans un monde réel, qui prend forme en volumes et en nuances. Le chasseur, lui, est écrasé dans une vision abstraite et fantasmée, manichéenne, propre au cauchemar que vivent les fuyards. C'est une projection de leur peur la plus terrible.



Figure 36. La nuit du chasseur, réalisé par Charles Laughton et photographié par Stanley Cortez.
 Capture tiré du Blu-ray.

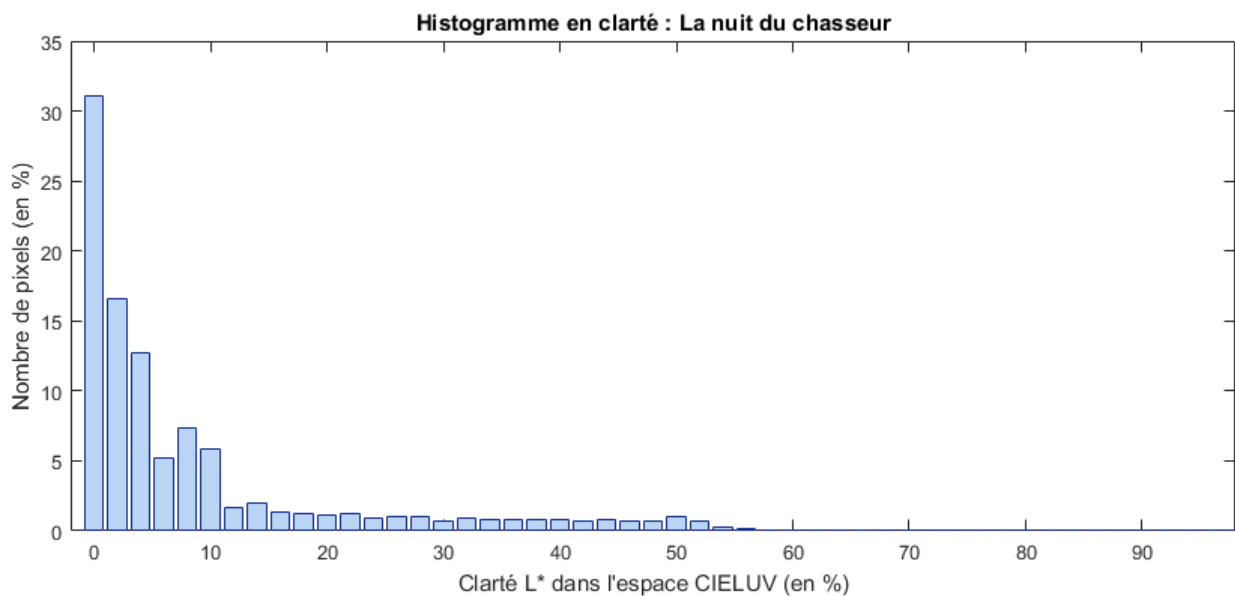


Figure 37. Histogramme en clarté L^* de La nuit du chasseur.

La forme de cet histogramme rejoint celle de la scène de *Tropical Malady*. Les valeurs se rassemblent vers le bas de l'histogramme, mais la direction latérale de la lumière qui touche l'enfant, qui permet d'en identifier les formes et les

volumes, se trahit de 10% à un peu plus de 50% de l'histogramme en clarté. Il en va de même pour le fond clair qui entoure la silhouette du chasseur.

C. La nuit moderne : *Twixt* et *Mad Max : Fury Road*

Tournons-nous vers deux films plus récents, aux choix artistiques singuliers pour représenter la nuit. *Twixt*, de Francis Ford Coppola et éclairé par Mihai Malaimare Jr., raconte l'histoire d'un écrivain qui va rencontrer Edgar Allan Poe durant ses errances nocturnes à moitié rêvées. La nuit que le personnage de Val Kilmer traverse est un espace mental, un passage à nouveau contre lequel les scènes diurnes résonnent.



Figure 38. *Twixt*, réalisé par Francis Ford Coppola et photographié par Mihai Malaimare Jr. (2011).
Capture du Blu-ray.

Le personnage s'extrait de son environnement, plus sombre que lui. La lumière qui l'éclaire est douce, bien qu'on sente une direction latérale forte qui dessine sa silhouette et aide à l'identifier plus clairement, compensée par une autre direction latérale opposée qui révèle le visage. Il est aisément visible, bien que certains détails nous échappent, sur son visage, dans ses vêtements. Le choix du costume est remarquable, la valeur de la parka plus haute permet

encore une bonne lecture de la silhouette du personnage de Val Kilmer, tandis que sa chemise et son veston noirs perdent de nouveau notre regard.

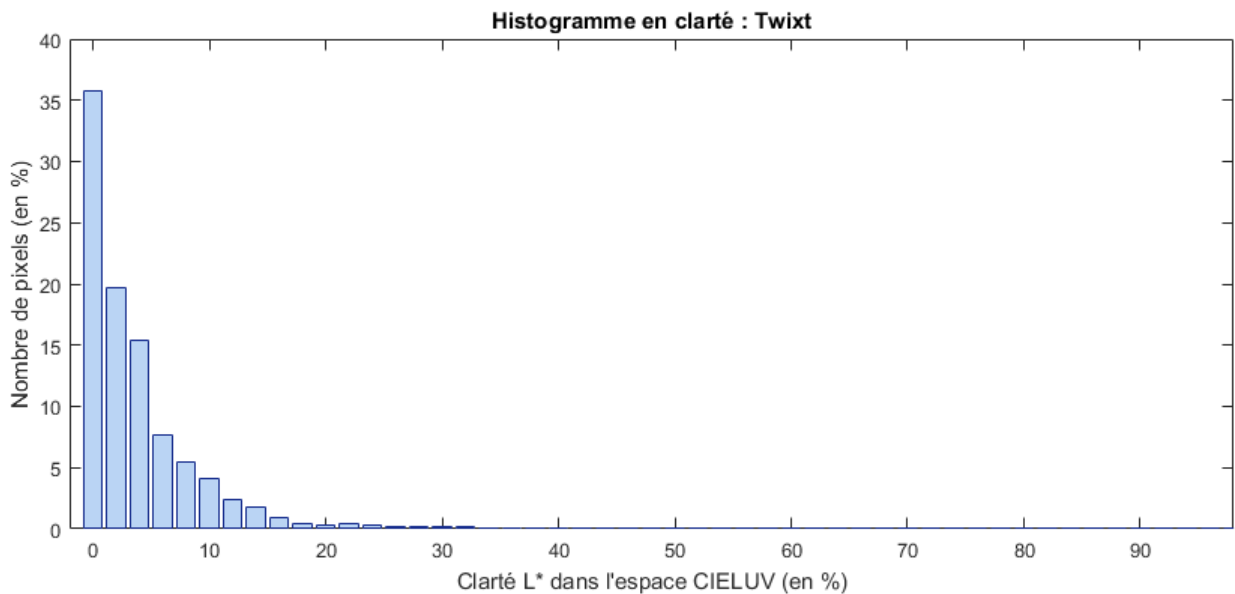


Figure 39. *Histogramme en clarté L* de Twixt.*

Les mêmes caractéristiques dénoncées précédemment apparaissent aussi dans le film de Coppola. Le contraste est faible, les valeurs sont ramassées vers les noirs.

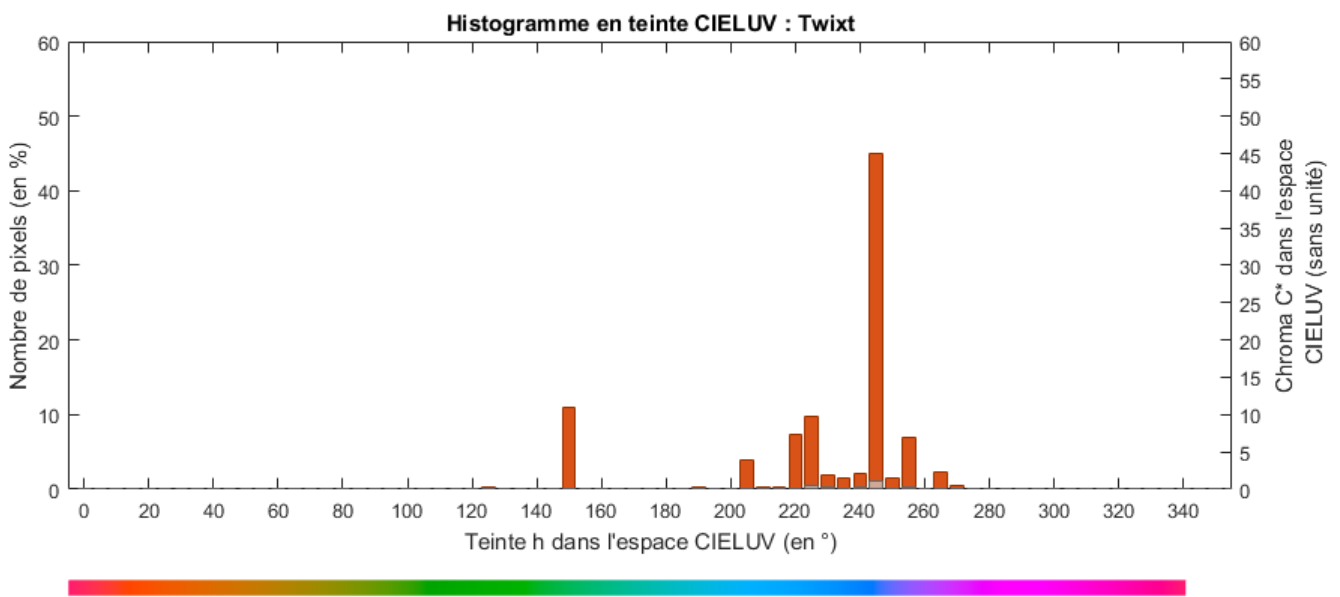


Figure 40. *Histogramme en teinte h de Twixt.*

La nuit est ici aussi vue d'une teinte bleutée, mais avec une pureté très faible. L'image est quasi monochromatique.

Dans *Twixt*, la jeune fille vampire est habillée en blanc. Au sein de cette nuit onirique, elle semble illuminée de l'intérieur. Elle irradie. Le choix du costume est une véritable écriture en lumière. La même remarque s'applique à son maquillage, très pâle et souligné d'un rose vif.



Figure 41. *Twixt*, réalisé par Francis Ford Coppola et photographié par Mihai Milamair Jr. (2011).

Capture du Blu-Ray.

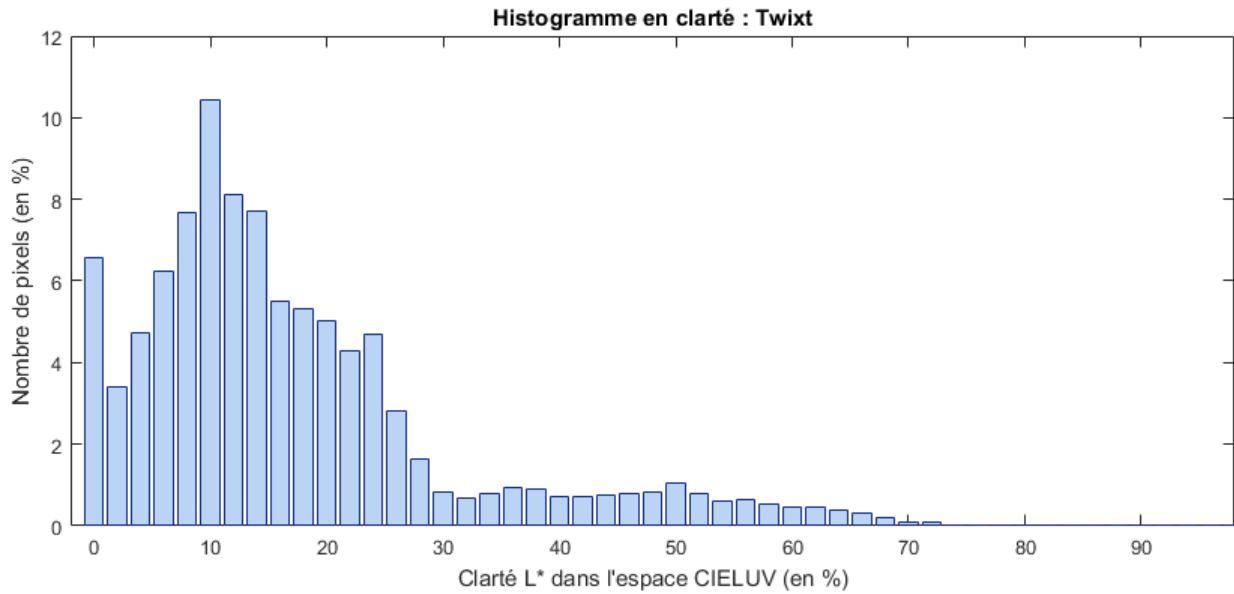


Figure 42. Histogramme en clarté L^* de Twixt.

Étudions le cas particulier de *Mad Max : Fury Road*, sorti en salles en 2015.

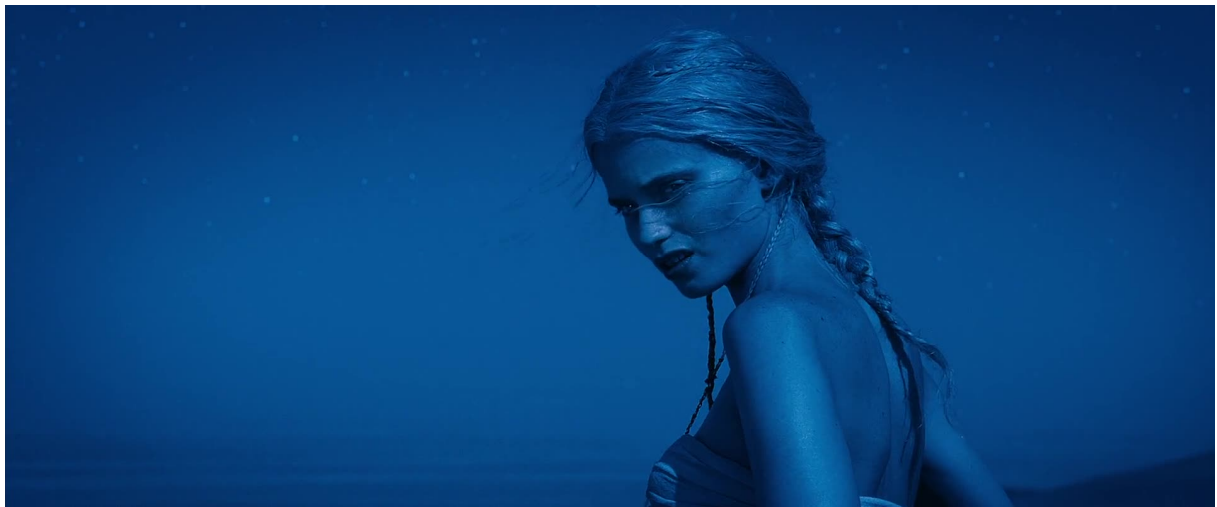


Figure 43. *Mad Max : Fury Road*, réalisé par George Miller et photographié par John Seale.
Capture du Blu-ray.

La nuit est électrique. L'environnement traversé par les héros de ce récit post-apocalyptique est un monde désespéré. La planète est décimée. La vie s'essouffle et n'est plus qu'un ersatz. Ainsi, la nuit a le droit de se travestir à l'excès. Malgré son évidente artificialité, dans le contexte du *Mad Max*, cette nuit

est acceptée. Elle est même reconnue, accueillie. L'artifice nous flatte. Son bleu intense nous convainc.

Les scènes nocturnes ont été tournées en plein jour. Il s'agit d'une nuit américaine extrême et numérique, post-traitée. Encore une fois, le contraste est compressé. Cependant, le niveau est plus élevé. Nous ne nous perdons pas dans l'obscurité, le bleu vibrant est là pour nous extraire du néant. De même, les directions de lumière sont affirmées sans honte. Le ciel se permet d'être présent à l'image en même temps que le décor ou que les personnages.

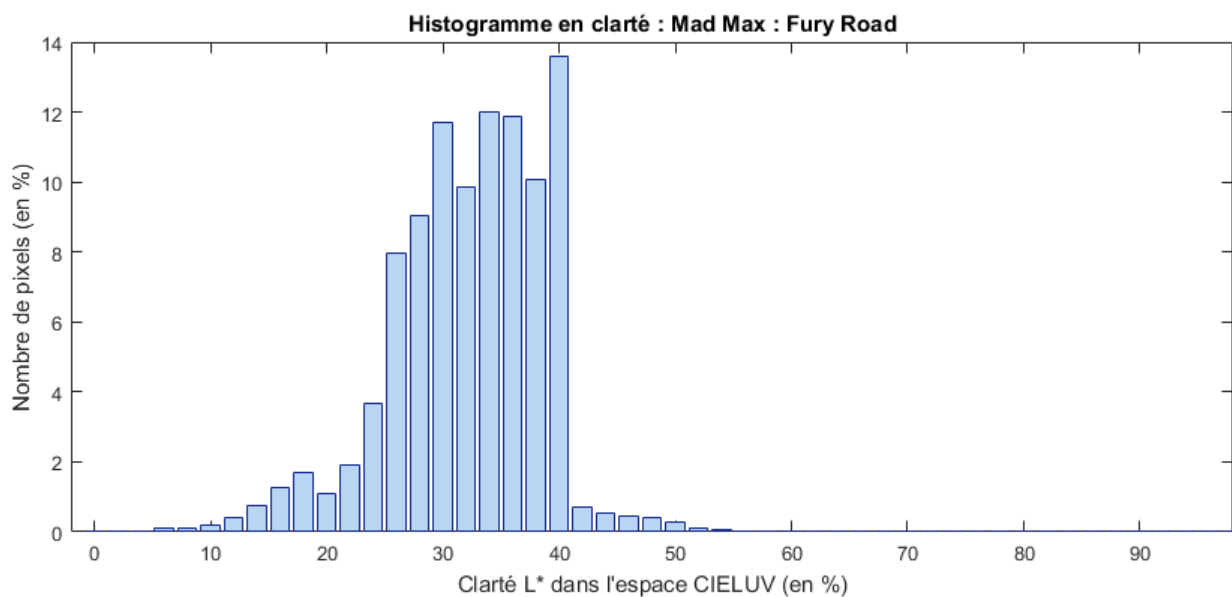


Figure 44. Histogramme en clarté L^* d'une scène nocturne de Mad Max : Fury Road.

La grande majorité de l'image occupe seulement 20% de l'histogramme bien que les niveaux soient relativement hauts : on ne colle pas au zéro. Nous pouvons comparer cette scène nocturne à une image d'une scène diurne du même film :



Figure 45. Mad Max : Fury Road, réalisé par George Miller et photographié par John Seale.
Capture du Blu-ray.

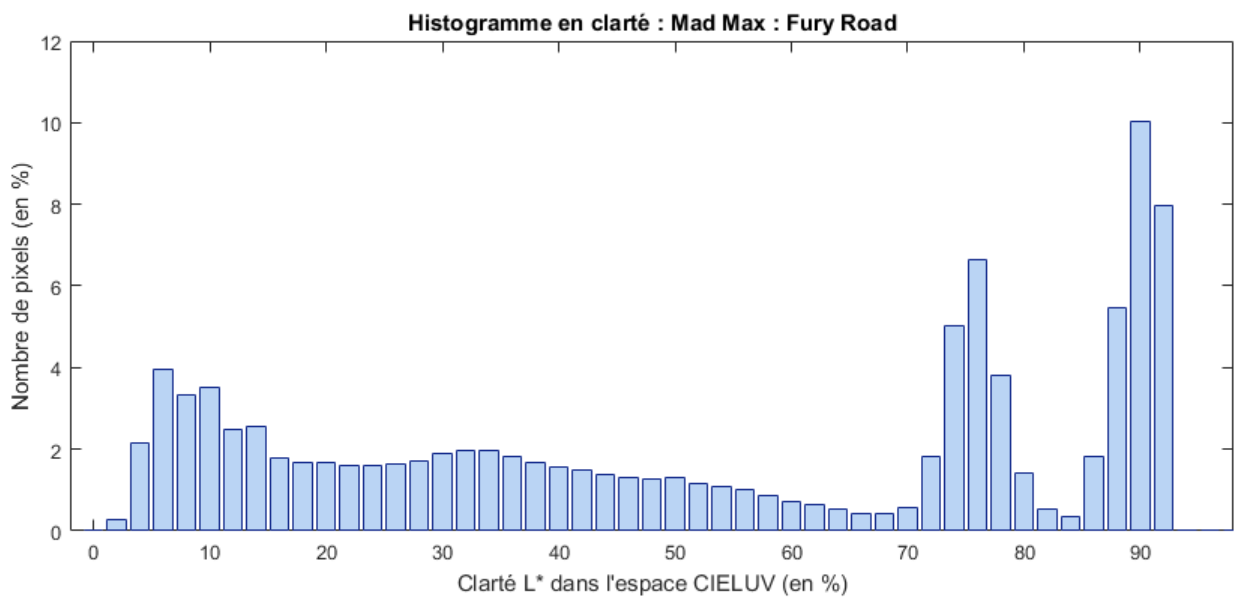


Figure 46. Histogramme en clarté L^* d'une scène diurne de Mad Max : Fury Road.

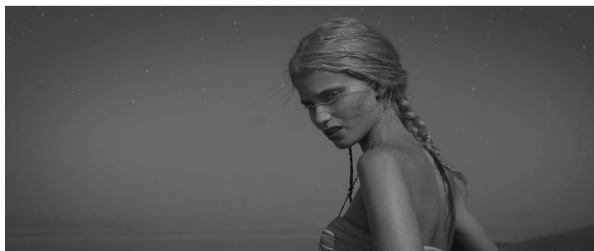


Figure 47. Représentation en clarté L^* d'une scène nocturne de Mad Max : Fury Road (à gauche) et d'une scène diurne (à droite).

L'histogramme en clarté de la scène diurne couvre l'intégralité des valeurs. Il est plutôt homogène, bien que le ciel et le paysage désertique occupe une place importante dans les hautes valeurs, le personnage s'en détachant en étant plus sombre. Les représentations des deux images en clarté dévoilent aussi la répartition plus large des valeurs de la scène diurne par rapport à la scène nocturne.

Les couleurs de la nuit de *Mad Max : Fury Road* sont riches d'enseignement sur ce que nous sommes prêts à accepter comme étant les couleurs de la nuit. Nous semblons plus proches du code que de la réalité : nous souhaitons accepter cette nuit pour ce qu'elle est.

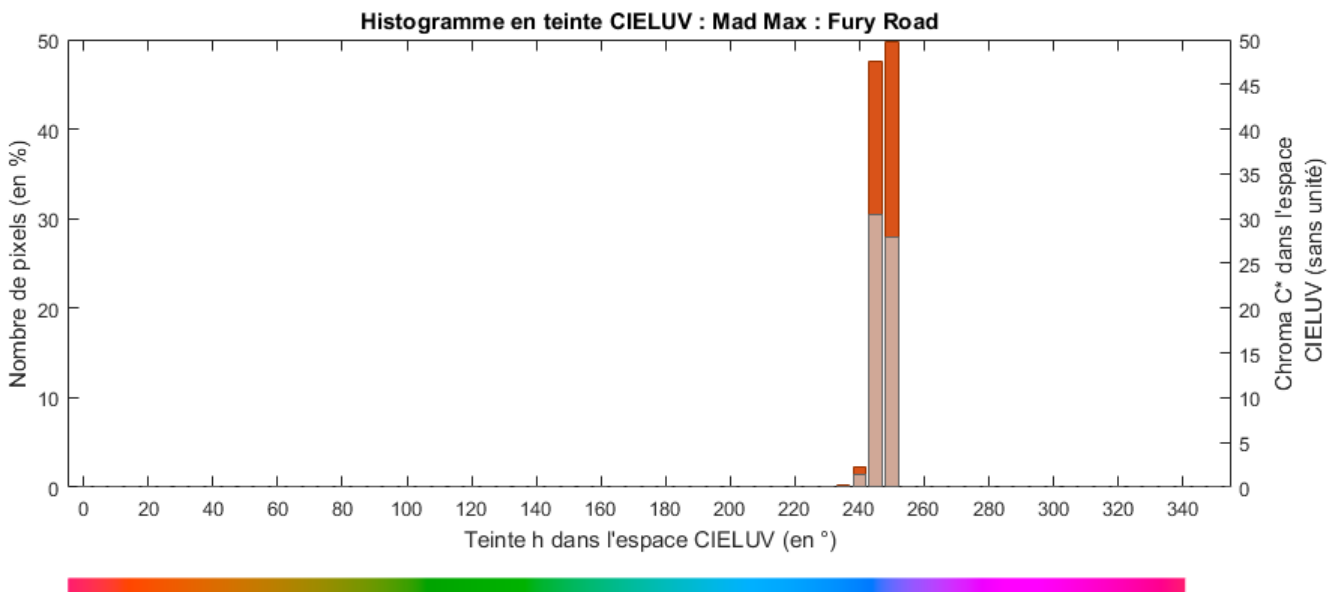


Figure 48. Histogramme en teinte h de *Mad Max : Fury Road* pour une scène nocturne.

Nous sommes de nouveau en plein dans les bleus, tirant très légèrement vers les magentas. Regardons l'histogramme en teinte h de la scène diurne :

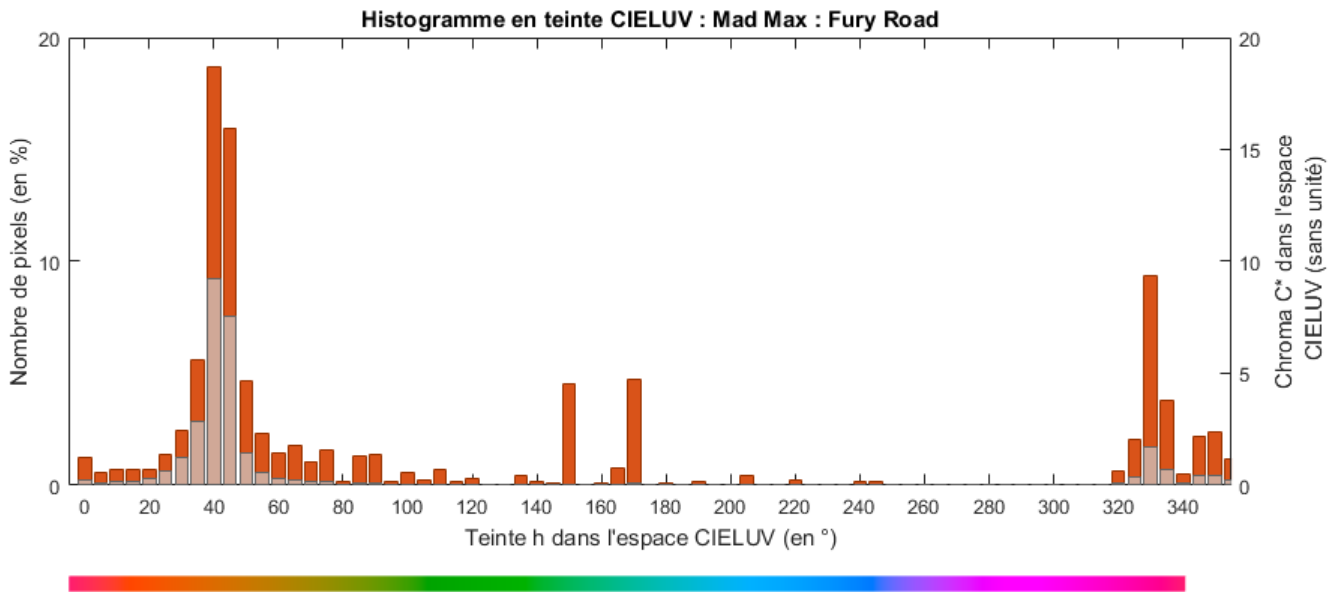


Figure 49. Histogramme en teinte h de Mad Max : Fury Road pour une scène diurne.

L'appauvrissement de la palette de couleurs nocturne est flagrant. La nuit, seuls une dizaine de degrés de teinte CIELUV sont représentés, tandis que de jour une majorité du spectre est représenté, malgré les tons uniformes du décor désertique de *Mad Max*.

D. La nuit en plein jour : *Sombre* de Philippe Grandrieux

Un dernier cas est intéressant à étudier. Il s'agit de *Sombre*, réalisé par Philippe Grandrieux et photographié par Sabine Lancelin. Nous nous intéressons plus particulièrement aux scènes diurnes du film, volontairement photographiées sous-exposées, selon le désir du réalisateur pour refléter l'immersion dans la pensée d'un psychopathe.



Figure 50. *Sombre*, réalisé par Philippe Grandrieux et photographié par Sabine Lancelin.
Capture du DVD.

L'image, bien que représentant une scène de plein jour, appelle nos sensations de la pénombre et de la nuit. Les raisons de cette impression se retrouvent immédiatement attachées à la gestion du contraste.

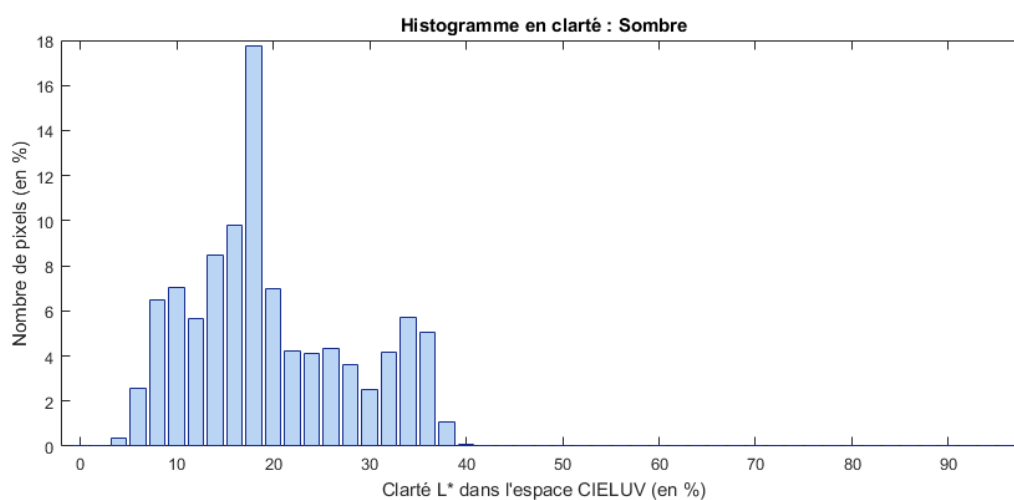


Figure 51. *Histogramme en clarté L* de Sombre.*

Toutes les valeurs de l'image se ramassent dans la moitié basse de l'histogramme. Seules les couleurs de la scène, variées bien que passées, trahissent la réalité du jour.

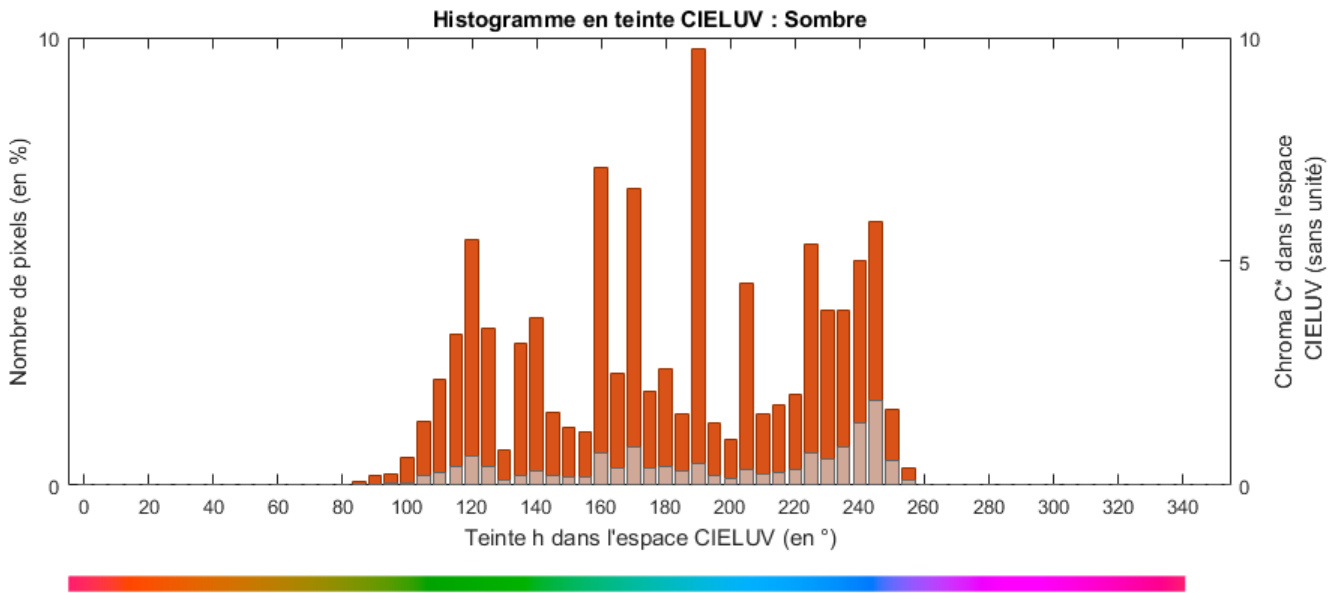


Figure 52. *Histogramme en teinte h de Sombre.*

Nous pouvons étudier un deuxième photogramme du même film, d'une scène représentant un paysage filmé en plan général :



Figure 53. *Sombre*, réalisé par Philippe Grandrieux et photographié par Sabine Lancelin.
Capture du DVD.

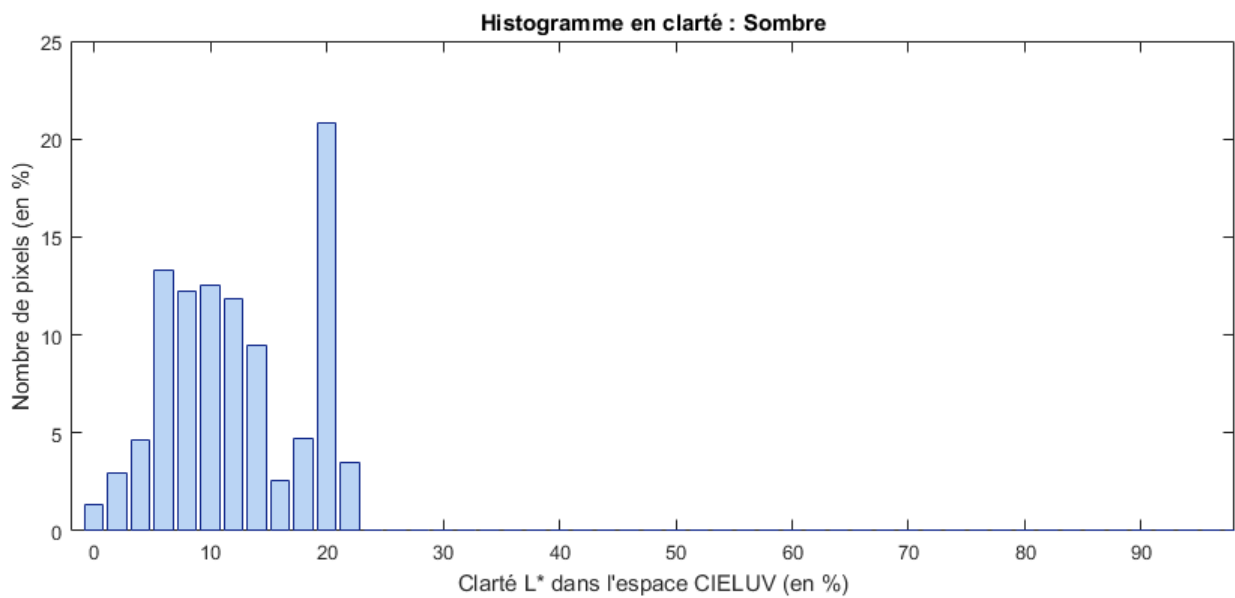


Figure 54. *Histogramme en clarté L* de Sombre.*

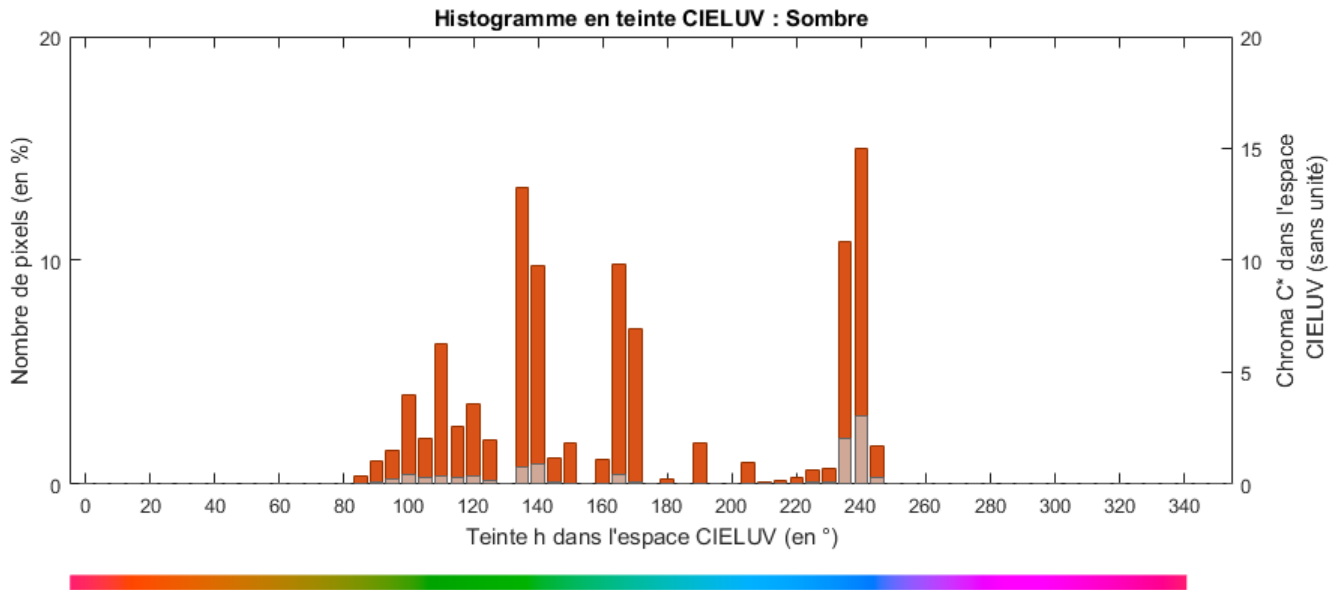


Figure 55. Histogramme en teinte h de Sombre.

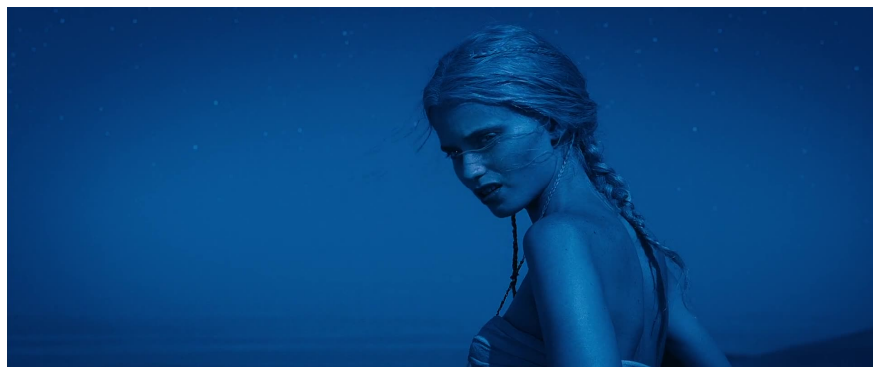
L'image de la nuit est donc bien une image appauvrie. Pauvre en contraste, pauvre en nuances de couleurs autant dans leur teinte que dans leur pureté. Cet appauvrissement correspond à la perte de repères que nous ressentons face au monde nocturne.

Comment réduire la richesse colorée d'une image ? Il est possible d'en retirer toute la chroma, la rendant ainsi en valeurs de noirs et de blancs. Mais au sein d'un film en couleurs, ce n'est pas le choix qui sera le plus soutenu par le spectateur. En filtrant l'ensemble de l'image par une seule teinte et en en réduisant sa pureté, nous obtenons une image qui a perdu de ses nuances colorées sans pour autant s'abandonner à l'image en noir et blanc.

Le choix de la couleur bleue est récurrent. En termes de valeurs, il permet de garder les tons bleus initiaux de l'image clairs tandis que, naturellement, par filtrage, les tons rouges vont s'assombrir. Nous retrouvons le comportement de notre appareil visuel en pleine nuit.

La question de la force de la couleur et de sa teinte exacte reste un choix purement artistique. Les nuits de *Pola X*, de *Twixt* et de *Mad Max : Fury Road* sont toutes celles de leur propre monde et de leur propre diégétique.

La teinte bleu nuit pourrait être celle d'un ciel nocturne clair, aperçu entre les étoiles. Un bleu profond, vibrant bien que peu saturé. Et très dense.



Le bleu est la couleur élue de la nuit. Son emploi est connu. Les filtres caméra de la nuit américaine, qui permettent de capturer l'image d'une scène tournée en plein jour avec des valeurs propres à la nuit, tels que le filtre *Day for Night*, utilisent eux-mêmes cette couleur comme dominante de leur filtre. Avec cependant une pointe de rouge, qui permet de garder un naturel aux teintes chair.

Les nuits numériques de *Twixt*, *Mad Max* ou même *Pola X*, retouché en postproduction après scan de la pellicule, ne gardent pas ce naturel de la peau. Ce choix rend les visages artificiels, comme faits de cire, mais c'est aussi l'impression que nous avons durant une nuit noire : notre peau devient grise, presque argentée. Nous ne retrouvons plus la couleur de la vie qui coule dans nos veines.

À l'ère des films muets noir et blanc, la pellicule était souvent teintée pour dénoter l'heure et l'atmosphère de la scène. Une teinte ambrée pour les intérieurs éclairés de soirée, une teinte bleutée pour les nuits extérieures éclairées seulement par la lune.

Le bleu est le code historique de la nuit extérieure rurale au cinéma.



Capteur caméra et œil humain: caractéristiques

La perception visuelle humaine est d'un fonctionnement complexe et d'une efficacité redoutable. La découverte de la photosensibilité des cristaux d'halogénures d'argent a permis le développement de la photographie et de la cinématographie. Ces outils ont donné l'espoir de mimer le fonctionnement de l'appareil visuel. Mais nous ne pouvons finalement que dresser des ponts d'un système vivant et intelligent à un système de captation simple et linéaire.

Le virage numérique récent a modifié profondément les métiers du cinéma et ses moyens, mais les principes sensitométriques restent les mêmes : un capteur est capable d'enregistrer les modulations lumineuses sous la forme de modulations électriques (modulations en densités pour une émulsion argentique).

Comment pouvons-nous caractériser la caméra numérique et sa réponse afin d'estimer son comportement face aux valeurs et aux couleurs de notre environnement ?

Nous aborderons aussi dans cette partie des expériences menées afin d'approcher une estimation des discriminations des contrastes, des détails et des couleurs dans la vision scotopique. Ceci dans l'espoir d'obtenir des quantités applicables à la fabrication de nos images nocturnes.

Enfin, nous étudierons certains outils à notre disposition qui servent l'image en devenir et en dressent la dernière passerelle avant la projection en salles.

Car si nous avons une perception spécifique du milieu nocturne, les conditions de visionnage en salles est imposé et normé. Nous ne cherchons pas à reproduire des conditions nocturnes au cinéma, cela n'aurait pas de sens. Nous cherchons plutôt à déterminer quelles sont les caractéristiques de l'image qui doivent être approchées et maîtrisées afin de rappeler le spectateur à ses sensations de la nuit profonde. Le cinéma s'adresse à la mémoire des sens. C'est la raison pour laquelle nous devons connaître nos outils et déterminer nos intentions d'image, afin d'arrêter les choix nécessaires à cette adresse au spectateur.

1. Caractérisation de la caméra numérique

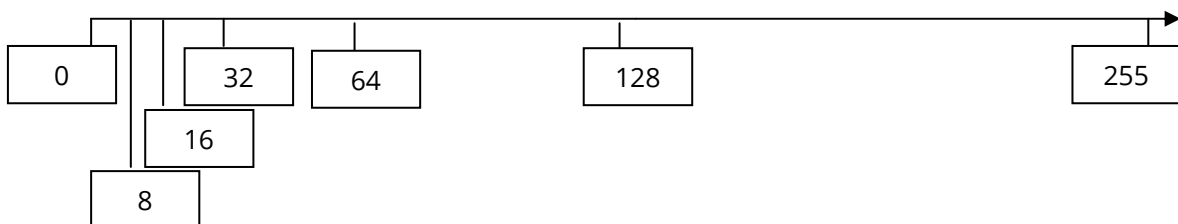
Comment les contrastes d'une scène, la perception que nous en avons et la capacité d'un capteur à en enregistrer les modulations s'articulent-ils ?

A. Contrastes et étendue utile

L'œil de la caméra numérique est son capteur. Dans le cas de l'Arri Alexa, il s'agit d'un capteur CMOS, qui exploite l'effet photoélectrique du silicium dont il est constitué pour transformer les photons récoltés en charges électriques. Ces charges électriques sont ensuite converties en tensions puis amplifiées. Dans un capteur CMOS, à la différence d'un capteur CCD, cette conversion et cette amplification se déroulent au sein de chaque photosite ²⁹.

Derrière ce capteur, un ensemble de circuits électroniques traite l'image de nombreuses manières avant même d'enregistrer les valeurs, même dans un format dit RAW, soit le format le plus brut possible délivrable par une caméra.

Le capteur est un compteur de charges, issues de la captation d'un photon, photosite par photosite. Sa réponse est linéaire. Pour une quantité de lumière reçue doublée, la quantité de charges convertie est aussi doublée. La tension délivrée est ensuite transformée par le convertisseur analogique/numérique en une valeur numérique, caractérisée par sa profondeur de codage, exprimée en bit. Une profondeur de codage x signifie que la valeur numérique encodée peut prendre une des 2^x valeurs entières disponibles pour encoder le signal, en partant de 0. Une valeur encodée sur 8 bit peut prendre la valeur de 0 à 255.

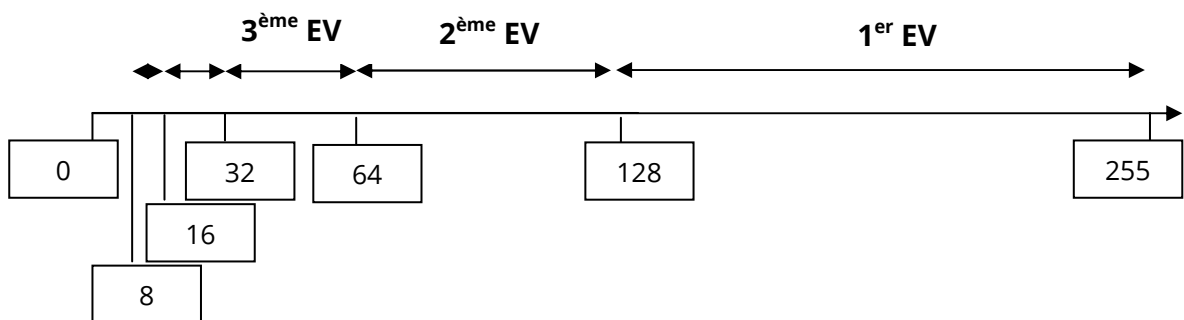


²⁹ BELLAÏCHE, Philippe, *Les secrets de l'image vidéo*, 8^{ème} édition, Eyrolles, 2012.

En revanche, le fonctionnement de l'appareil visuel humain a une réponse plutôt logarithmique : nous sommes sensibles au doublement de la quantité de lumière. C'est à cette réponse que correspond l'échelle des indices de lamination, utilisée en photographie et en cinématographie.

L'échelle des indices de lamination IL^{30} (EV en anglais, pour *Exposure Value*) est une échelle logarithmique de base 2 qui lie ensemble diaphragme, vitesse d'obturation, sensibilité ISO du capteur et luminance du sujet mesuré. Une augmentation d'un EV correspond à une lamination doublée. C'est l'outil privilégié pour mesurer le contraste d'une scène et en déduire les choix de poses nécessaires à une bonne exposition de notre image.

Nous pouvons observer que la réponse linéaire du capteur n'échantillonne pas ces valeurs EV de manière égale : moins de valeurs sont adressées aux valeurs EV inférieures.



Supposons deux objets parfaitement diffusants, l'un noir (réflectance de 2%) et l'autre blanc (réflectance de 80%), éclairés uniformément par la même source de lumière. Le contraste est égal à 40, soit la luminance du blanc divisée par celle du noir. En appliquant le logarithme base 2 à ce contraste, nous obtenons le résultat suivant :

$$\log_2(40) = 5,32$$

³⁰ La lamination est égale à la quantité d'éclairissement E_i (en lux) reçu par le capteur en un temps t (en secondes) donné. C'est une grandeur qui représente la quantité de lumière reçue par le capteur, qui dépend de la luminance du sujet capté, du diaphragme de l'objectif et de la vitesse d'obturation de la prise de vue.

Cette valeur est celle du contraste statistique standard. Soit un contraste moyen entre les objets habituels que nous rencontrons dans notre environnement. Rares sont les blancs à plus de 80% et les noirs à moins de 2%. Cela correspond donc à un contraste de 5,32 EV, soit environ 5+1/3 EV.

Le convertisseur analogique/numérique de l'Alexa encode les valeurs sur une profondeur de 16 bit. Le signal est ensuite encodé en 12 bit selon une gradation LogC qui reprend la technologie Kodak Cineon, qui permettait l'encodage d'un film argentique scanné. Pour analyser la courbe de réponse de l'Alexa, nous devons linéariser les valeurs enregistrées³¹.

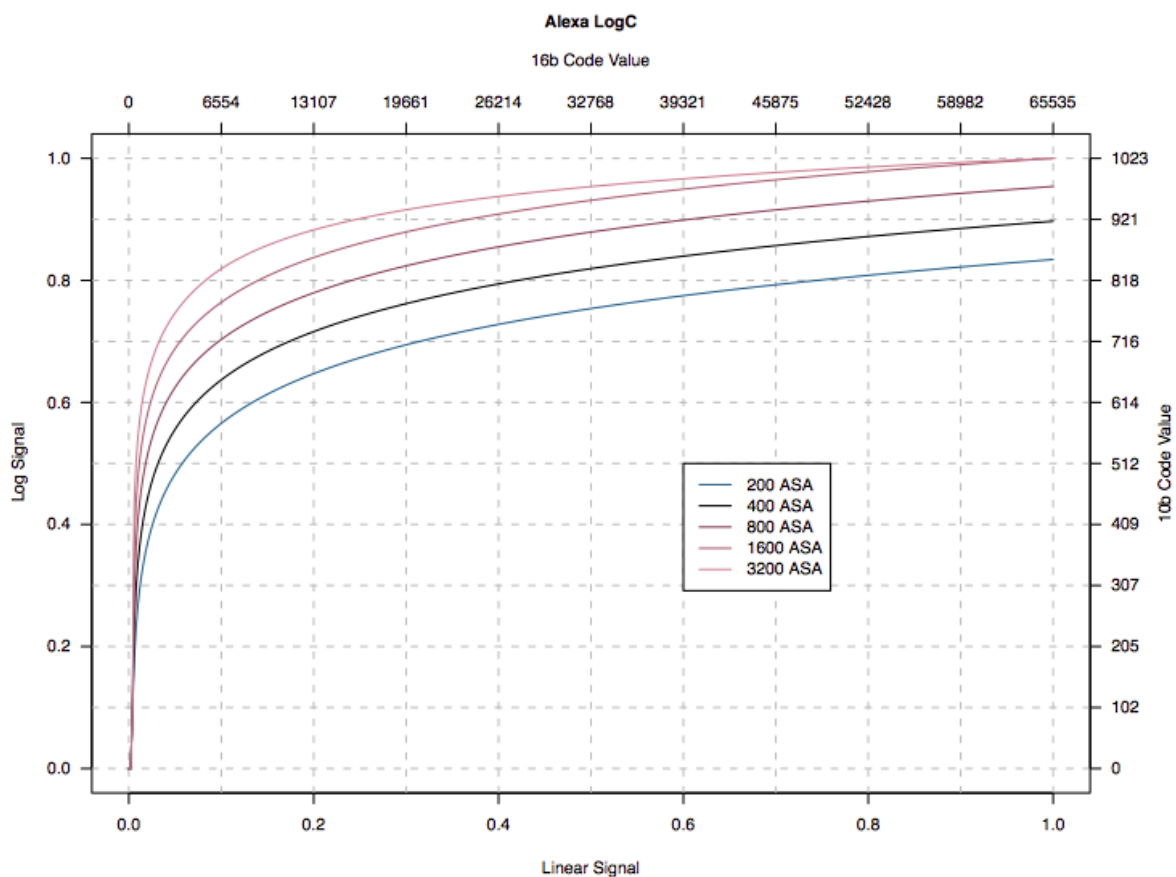


Figure 56. Signal LogC en fonction du signal linéaire d'entrée.³²

Arri propose un encodage différent par indice d'exposition.

Source : document Arri, ALEXA LOG C Curve – Usage in VFX, 2 août 2012.

³¹ Document ARRI : ALEXA LOG C Curve – Usage in VFX, 2 août 2012.

³² Document ARRI : ALEXA LOG C Curve – Usage in VFX, 2 août 2012.

En termes photométriques, le capteur reçoit un éclairement : c'est l'éclairement image. Il s'exprime en *lux*. Multiplié par le temps d'obturation *t*, il rend compte de la lamination *H* du capteur, exprimée en *lux.s*. La quantité de l'éclairement image est modulée par le diaphragme, mais le rapport existant entre l'éclairement image le plus élevé et le plus faible ne change pas et détermine le contraste image. Ce contraste image, pour être enregistré sans pertes, ne doit pas dépasser l'étendue utile du capteur que nous avons caractérisée précédemment.

L'éclairement image, exprimé en *lux*, est défini par la relation suivante :

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

A : nombre d'ouverture photométrique de l'objectif (sans unité),

L : luminance du sujet (en *cd.m⁻²*),

E_f : éclairement du flare (en *lux*).

Et la lamination : $H = E_i \times t$.

Connaître la courbe de réponse d'une caméra, c'est connaître la modulation des valeurs numériques enregistrées en fonction d'une modulation de luminations, avec un point remarquable correspondant à la lamination de saturation. À la différence de la pellicule argentique, dont la réponse dans les hautes lumières s'adouçissait avec « l'épaule », un capteur électronique sature abruptement à une lamination donnée. C'est-à-dire qu'il n'y a plus aucune modulation au-delà de cette lamination : la valeur reste la même peu importe l'augmentation en quantité de lumière captée.

Nous cherchons à caractériser ici l'ensemble caméra et objectif. Nous disposons d'une sphère d'intégration, dont le but est de réfléchir la lumière d'une source tungstène de manière homogène dans toutes les directions. Nous plaçons devant cette sphère un modulateur, soit une plaque transparente

recouverte de plages de différentes densités³³ échelonnées de manière régulière. L'incrément est communément de 0,10, 0,15, 0,20 ou 0,30 pour 21 plages³⁴.



Figure 57. *Modulateur en incréments de 0,15 points de densité.*

En filmant ce modulateur uniformément éclairé et mesuré, nous pouvons établir pour chacune des plages la valeur numérique enregistrée par la caméra en fonction de leur luminance et donc, par calcul et par intégration du nombre d'ouverture de l'objectif et du temps d'obturation de la caméra, de leur lamination du capteur.

Nous devons relier l'exploitation de ces essais avec la pratique de la pose, qui consiste à modérer les quantités reçues par le capteur de façon à moduler correctement une réponse en fonction des luminances du sujet.

L'outil privilégié du directeur de la photographie est son spotmètre, qui convertit la luminance mesurée du sujet en une valeur EV d'après la relation suivante :

³³ La densité est le logarithme base 10 de l'opacité. L'opacité est le rapport de la lumière incidente traversant une surface transparente sur la lumière transmise à l'issue de cette traversée. Une augmentation de 0,30 points de densité correspond à une réduction d'un EV, soit à une quantité de lumière transmise réduite de moitié.

³⁴ **FOURNIER, Jean-Louis**, *La sensitométrie, les sciences de l'image appliquées à la prise de vues cinématographique*, Éditions Dujarric.

$$2^{EV} = \frac{L \times S}{k} = \frac{A^2}{t}$$

L : luminance du sujet (en $cd.m^{-2}$),

S : sensibilité ISO du support photosensible,

k : constante égale à 12,5

A : nombre d'ouverture photométrique de l'objectif,

t : temps d'obturation (en s).

Le spotmètre permet de lier un couple vitesse/diaphragme à la luminance du sujet et à la sensibilité ISO du support photosensible. La norme ISO, valide pour un support argentique, amène à choisir une lamination du support telle que le sujet capté prenne les valeurs d'un gris neutre moyen d'une réflectance de 18%. À l'opérateur de savoir à quel endroit par rapport à ce gris moyen il veut poser ce qu'il est entrain de mesurer.

En combinant la relation de la lamination, $H = E_i \cdot t = 0.64 L \cdot t / A^2$ et celle de l'échelle EV, et en supposant l'éclairement du flare E_f nul, nous obtenons :

$$H_{GN_{18\%}} = \frac{k}{S}$$

La lamination du gris moyen et, par conséquent, la répartition du reste des valeurs de la scène, ne dépend que de la sensibilité choisie.

En réglant l'Alexa à EI 200³⁵ et en y accordant le réglage du spotmètre, les choix d'Arri amène à choisir un couple vitesse/diaphragme tel que la lamination d'un gris moyen à 18% soit égale à 0,04 lux.s.

La courbe de réponse est représentée pour les trois canaux colorés, sous la forme de trois courbes exprimant le logarithme base 2 des valeurs numériques relatives enregistrées en fonction du logarithme base 2 de la lamination. L'application en ordonnées et en abscisses du logarithme base 2 revient à exprimer un niveau dans la profondeur de codage en fonction d'un EV.

³⁵ EI : « Exposure Indice », indice d'exposition issu de la norme argentique photo ISO.

Courbe de Réponse : ARRI Alexa Studio (TC expo. : 3165K - log2)

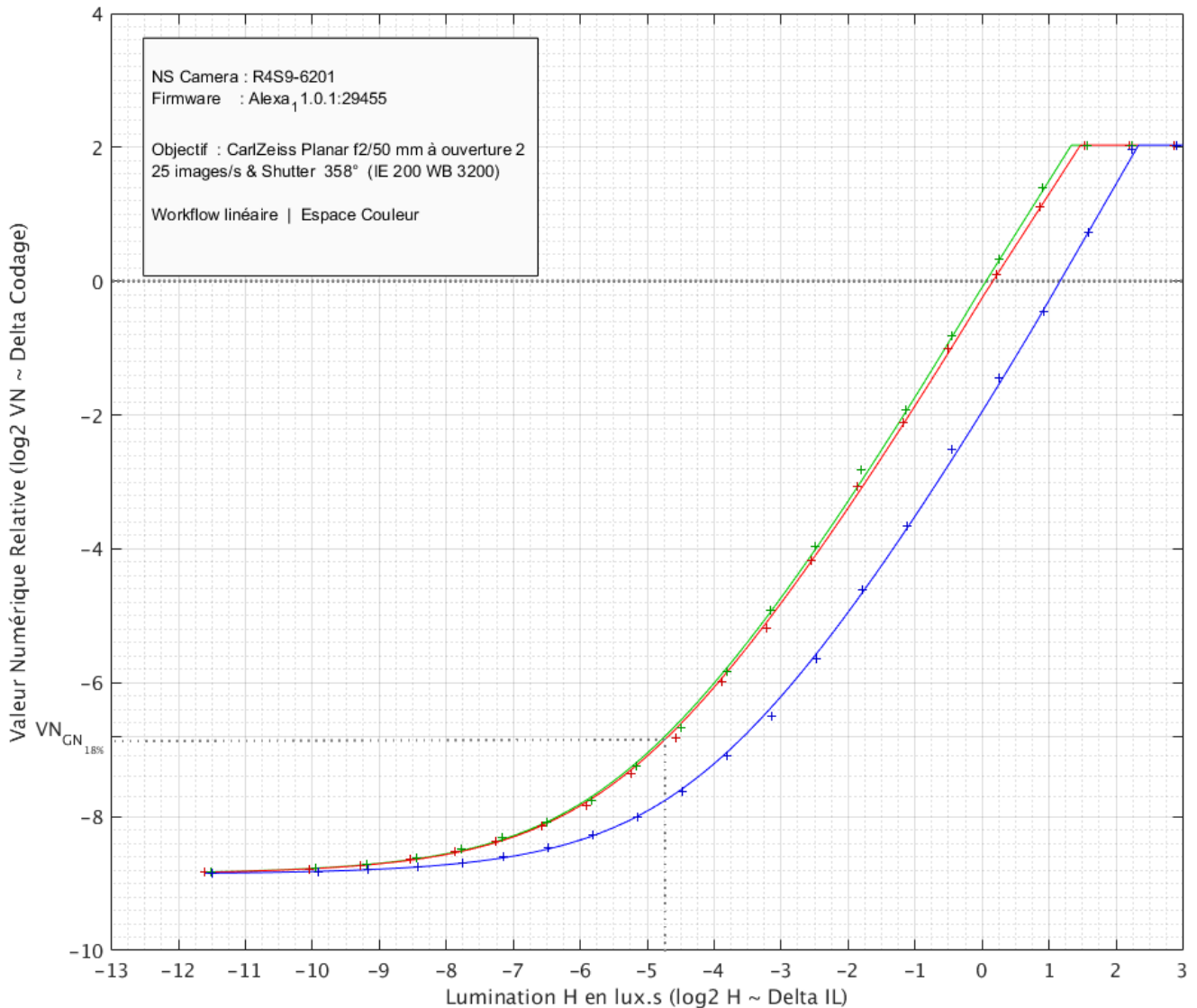


Figure 58. Courbe de réponse de l'ARRI Alexa Studio #K1.71200.0-6201.
 Représentation pour les trois canaux R, V, B.

Les trois courbes disposent d'une partie rectiligne et d'un pied avant de ne plus moduler pour les plus basses luminations. Ces résultats offrent une estimation de l'étendue utile de la caméra. L'étendue utile correspond à la partie durant laquelle la caméra répond en modulations de valeurs numériques à une variation de la lumination reçue.

La lumination de saturation des trois canaux est, d'après ces résultats : 2,8 lux.s en rouge, 2,5 lux.s en vert et 4,8 lux.s en bleu. Nous avons représenté

sur la courbe du canal vert un blanc de réflectance 80%, un gris neutre de réflectance 18% et un noir de réflectance 2% et leurs valeurs numériques correspondantes pour une pose à EI 200.

Nous pouvons voir que les choix d'Arri amène à poser le gris moyen 18% 42,5 fois en-dessous de la lumination de saturation du capteur. C'est-à-dire que nous posons le gris moyen environ $5+1/3$ EV ($\log_2 42,5 = 5,4$) en-dessous de la saturation.

B. Analyse trichromatique, sensibilité spectrale et température d'équilibre

Le capteur CMOS est recouvert d'une matrice dite de Bayer. Il s'agit d'une mosaïque qui recouvre tous les photosites du capteur d'un schéma coloré permettant une analyse trichromatique de la scène captée. Bryce E. Bayer est l'inventeur de ce schéma.

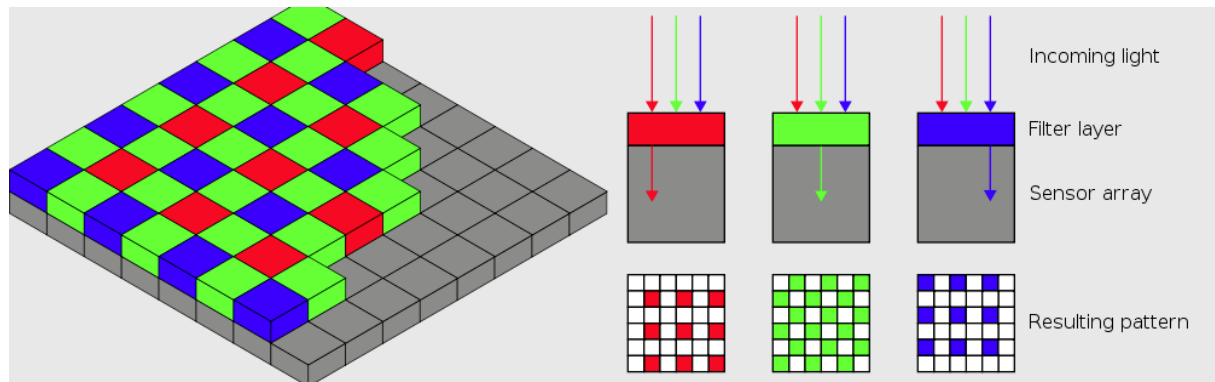


Figure 59. Représentation de la matrice de Bayer.³⁶

La lumière incidente est filtrée par cette matrice aux trois couleurs primaires rouge, verte, bleue, avant d'atteindre le photosite. La cellule photosensible du capteur, cachée sous le filtre de Bayer, ne retranscrit l'information lumineuse qu'en tension, sans aucune information de couleur. Cependant, les coordonnées de chaque cellule étant connue et le schéma de Bayer décrivant un motif

³⁶ THOMSON, Jonathan, <https://jethomson.wordpress.com>, consultation du 10 mai 2016.

répétitif toutes les deux lignes et toutes les deux colonnes, nous savons quelle couleur du filtre correspond à quel photosite.



Figure 60. *Image RAW agrandie : Arri Alexa.*

Nous remarquons la grille correspondant à la matrice de Bayer. L'image est en nuances de gris puisque seules les valeurs sont enregistrées.

La matrice de Bayer permet une analyse trichromatique de la lumière. Cela signifie que la caméra opère une simplification drastique du spectre lumineux. L'image résultante n'est qu'un mélange additif d'une quantité de rouge, d'une quantité de vert et d'une quantité de bleu. Ce mélange trichromatique permet la reproduction des couleurs selon les lois de la colorimétrie.

Nous pouvons caractériser la qualité des filtres de la matrice de Bayer et donc de l'analyse trichromatique conséquente en étudiant la réponse de la caméra à un ensemble de rayonnements le plus pur possible et couvrant l'ensemble du spectre visible. Dans l'idéal, il faudrait couvrir une partie des rayonnements UV (ultraviolet, vers les plus courtes longueurs d'onde) et une grande partie des rayonnements IR (infrarouge, vers les grandes longueurs d'onde), le silicium étant sensible aux rayonnements de plus d' $1\mu\text{m}$. Ainsi, cette couverture étendue permettrait de vérifier le bon filtrage des longueurs d'onde indésirables car non visibles par l'Homme. Car si le capteur module une information à partir de ces longueurs d'onde hors du domaine visible, cette information se retrouvera dans

les valeurs de notre image d'une manière ou d'une autre et conduira à des dérives d'exposition et à des dérives colorimétriques.

Les moyens dont nous disposons au laboratoire de sensitométrie et de colorimétrie de l'ENS Louis-Lumière ne nous permettent pas encore d'étudier des rayonnements en-dehors du visible. Cependant, la réponse spectrale de la caméra dans le domaine visible est déjà une information précieuse pour connaître sa qualité de discrimination des couleurs.

Nous plaçons la caméra devant une source spectrale programmable (SSP). La SSP est constituée d'une lampe à arc type HMI dont le flux lumineux est réfléchi sur une matrice DLP³⁷ après diffraction à travers un prisme. Ainsi, il est possible de piloter la réflexion d'une partie du spectre diffracté vers une sphère d'intégration. Nous sommes capables d'obtenir des couleurs particulièrement pures, au nanomètre près, avec une bande passante déterminée plus large.

La SSP est programmée pour émettre des rayonnements d'intensités variables, tous les nanomètres de 380nm à 780nm. Nous enregistrons aussi des émissions de noir par la SSP, car une fuite de lumière non contrôlée est toujours présente dans nos émissions, fuite qu'il nous faut quantifier.

Les différentes intensités pour les différentes longueurs d'onde nous permettent d'établir une interpolation linéaire des valeurs par longueur d'onde. Nous choisissons alors une valeur numérique unique et retrouvons la lamination nécessaire, à chaque longueur d'onde, pour atteindre cette valeur numérique. En inversant cette valeur de lamination, nous obtenons la sensibilité de la caméra à la longueur d'onde étudiée.

$$S = \frac{1}{H}, \text{ où } S \text{ la sensibilité, } H \text{ la lamination (en } lux \cdot s^{-1} \text{)}$$

³⁷ Une matrice DLP, pour Digital Light Processing, est une invention de Texas Instruments. C'est une grille de micro-miroirs pilotés par un signal numérique (des 0 et des 1) afin de renvoyer la lumière vers une cible ou non. C'est la technologie utilisée dans les projecteurs de cinéma numérique, la cible étant l'écran et chaque micro-miroir correspondant à un pixel de l'image.

Nous représentons la sensibilité relative S en fonction de la longueur d'onde :

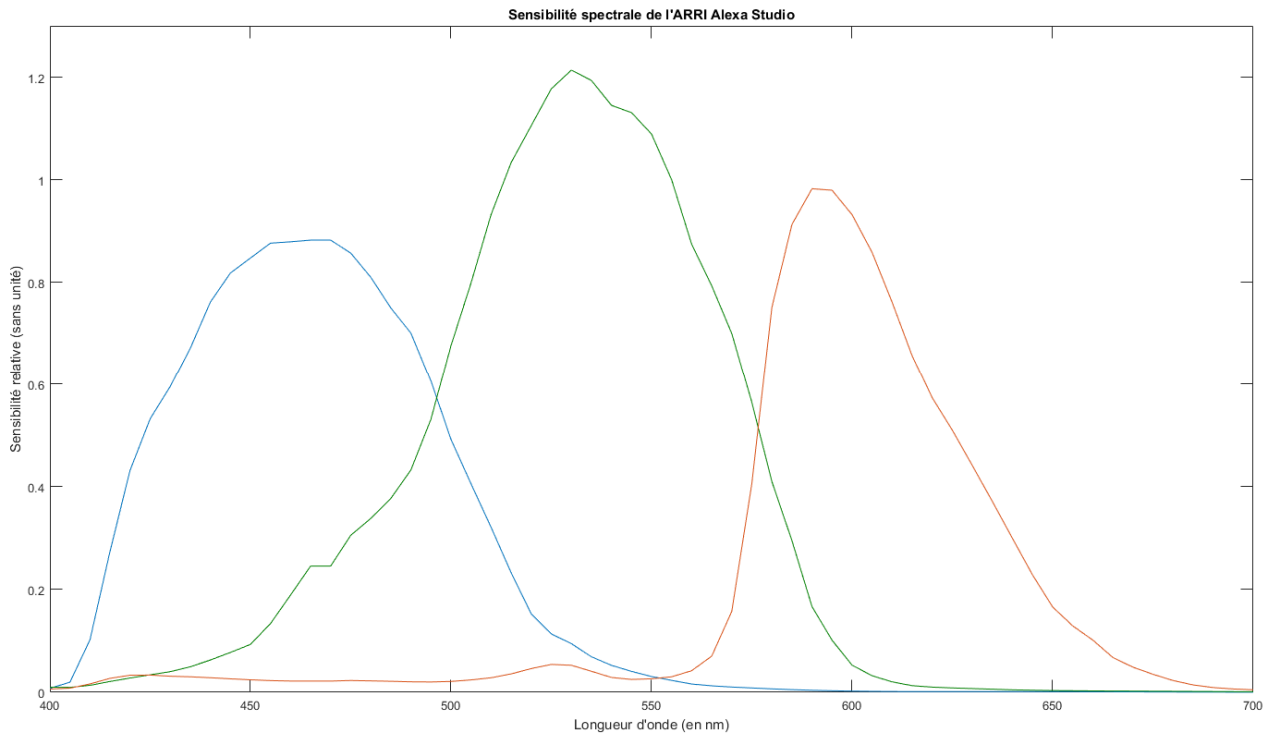


Figure 61. Sensibilité spectrale de l'ARRI Alexa Studio n°6201 en fonction de la longueur d'onde.

Sensibilité relative normalisée pour la sensibilité du canal vert à 555nm.

Les courbes des trois canaux se recouvrent chacune légèrement. Cela permet une analyse correcte des couleurs. L'information de sensibilité spectrale est particulièrement intéressante lorsque les conditions de prise de vues impliquent des éclairagements à raies, typiques par exemple des éclairages urbains. Ce pourrait être le cas dans notre étude si nous cherchions à enregistrer l'éclairage du ciel nocturne. Mais nous utilisons au contraire un éclairage diurne, riche et continu.

L'information des trois canaux colorés est mélangée afin de rendre une palette de couleurs. Mais il faut aussi rendre le blanc qui dépend de la température de couleur corrélée.

À une source lumineuse d'une température de couleur élevée, qualifiée de froide, l'éclairement reçu par les photosites filtrés bleu sera supérieur que pour les photosites filtrés rouge et inversement pour une température de couleur plus faible, qualifiée de plus chaude.

Notre hypothèse est la suivante : la caméra dispose d'une température d'équilibre unique, à laquelle les valeurs des canaux rouges et des canaux bleus sont égales (sans aucun traitement ou balance des blancs).

Pour vérifier cette hypothèse, nous utilisons de nouveau la source spectrale programmable. Mais cette fois, nous cherchons à émettre des spectres riches correspondant à de la lumière blanche. Nous utilisons le modèle des illuminants D de la CIE. Ce modèle permet une simulation de la pondération d'un éclairement spectrique, à différentes températures de couleur, d'après la répartition spectrale de la lumière du jour (D pour *Daylight*).

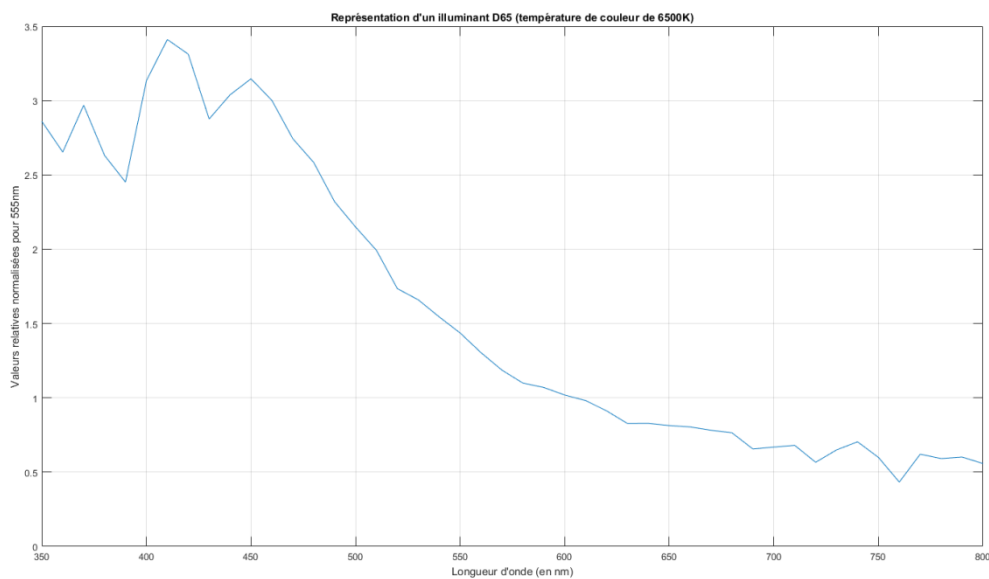


Figure 62. Représentation d'un illuminant D65.

Nous choisissons d'émettre un échantillon d'illuminants, échelonnés sur l'échelle mired. Un même écart en mired correspond à une égale différence de couleur perçue.

$$M = \frac{10^6}{T}, \text{ M en mired, T en Kelvin}$$

Après linéarisation des valeurs numériques enregistrées par l'Alexa et normalisation, pour chacun des échantillons enregistrés, par rapport au canal vert, nous pouvons tracer deux courbes correspondant aux régressions linéaires de degré deux des points de mesure des canaux rouge et bleu. Nous exprimons une valeur relative normalisée à 1 par rapport au canal vert en fonction de la température d'équilibre exprimée en mired.

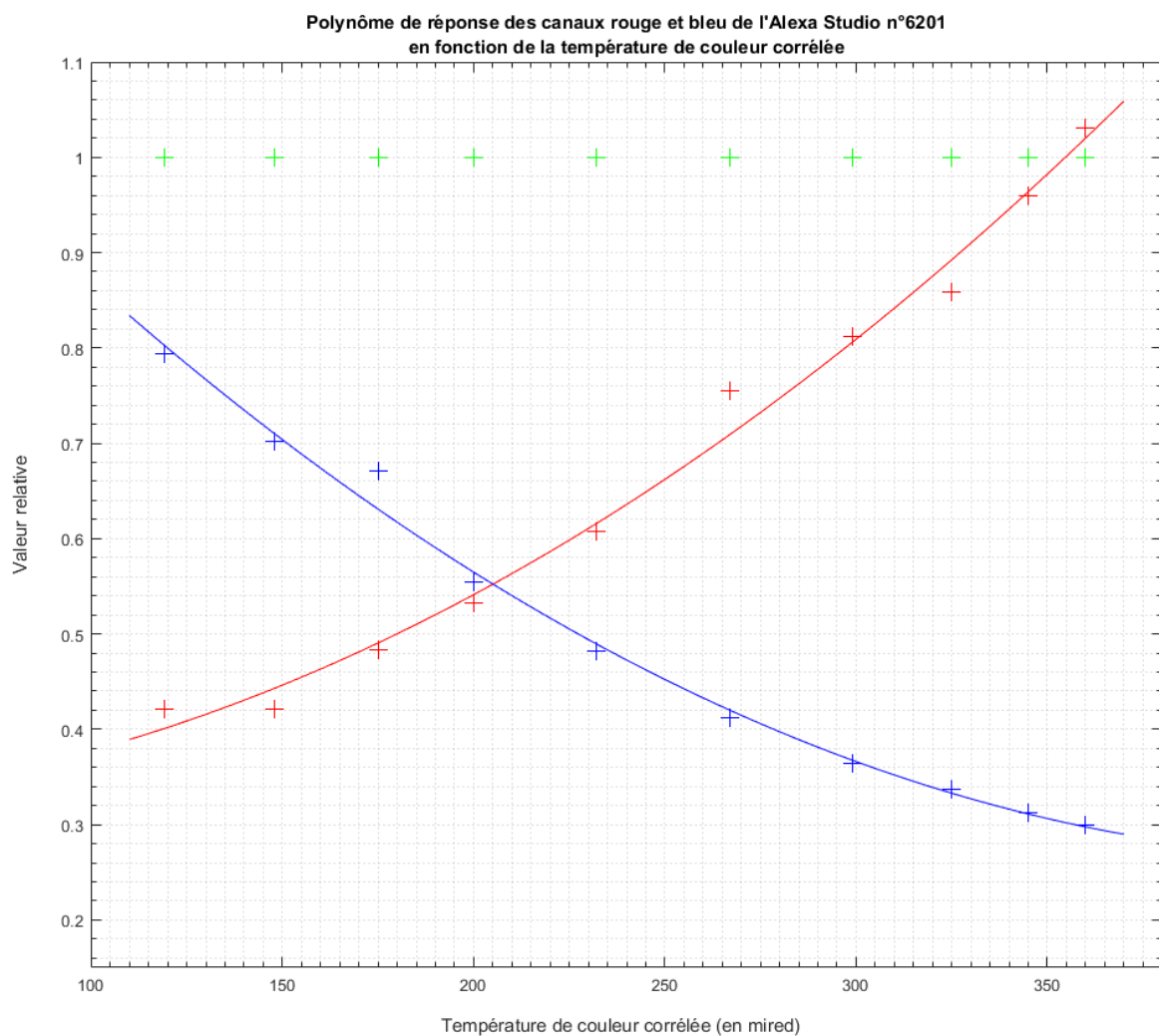


Figure 63. Courbe des polynômes des canaux rouge et bleu en fonction de la température corrélée.

La température d'équilibre de l'Alexa Studio n°6201 est de 205 mired, soit 4878 K.

La température d'équilibre de l'Alexa est de 4878 K et les courbes sont décrites par un polynôme de degré deux qui, pour une température de couleur donnée, donne des coefficients applicables aux canaux rouge et bleu afin de balancer l'image et de rendre le blanc de la scène blanc à l'image.

C. Résolution spatiale, débayerisation et texture d'image

La caméra et son système optique sont capables de résoudre un détail déterminé. Pour traduire le plus petit détail possible, il faut deux pixels, après débayerisation.

La débayerisation, terme francisé d'après la *debayerisation* qui est lui-même un barbarisme issu du nom de Bayer et de sa matrice, consiste à mélanger les informations des photosites des trois canaux et à interpoler les pixels manquants afin de construire une image couleur en trois couches d'une résolution définie.

Le capteur de l'Alexa Studio est un capteur de format 4/3, mais nous l'utilisons en 16/9. L'image est enregistrée sur 2880 par 1620 photosites à une cadence choisie de 25 images par seconde. Le format des pixels, avant et après débayerisation, est carré.

Nous choisissons comme résolution de sortie le format HD 16/9, d'une définition de 1920 par 1080 pixels. Des algorithmes de débayerisation sont implémentés au sein de la caméra, qui est capable d'enregistrer une image couleur trois couches HD. Nous préférons enregistrer en RAW et réaliser la débayerisation en postproduction, sur ordinateur.

L'algorithme de débayerisation joue un rôle majeur dans la résolution finale de l'image, en particulier à cause de l'interpolation. La résolution native de la caméra étant découpée en quatre canaux, un pour le rouge, un pour le bleu et deux pour le vert, des pixels sont créés par calcul afin d'obtenir la définition HD recherchée. Arri a même mis au point un algorithme de débayerisation

permettant d'obtenir une définition 4K, soit un nombre de pixels supérieur au nombre de photosites existant sur le capteur.

Nous utilisons le dernier algorithme de débayerisation développé par Arri, intitulé ADA-5 en mode *software*, à la différence du mode *hardware* implémenté au cœur de la caméra et simplifié en raison des capacités de calcul limitées des microprocesseurs de la caméra qui traitent l'image. Nous paramétrons le curseur de netteté à 0 (la valeur par défaut étant de 100). Ce curseur semble contrôler des paramètres de l'algorithme qui influent sur le contraste local, soit l'acutance de l'image. Des réglages fins sont aussi disponibles sur les trois canaux qui ont aussi un effet sur l'acutance mais qui semblent jouer sur le contraste chromatique local.

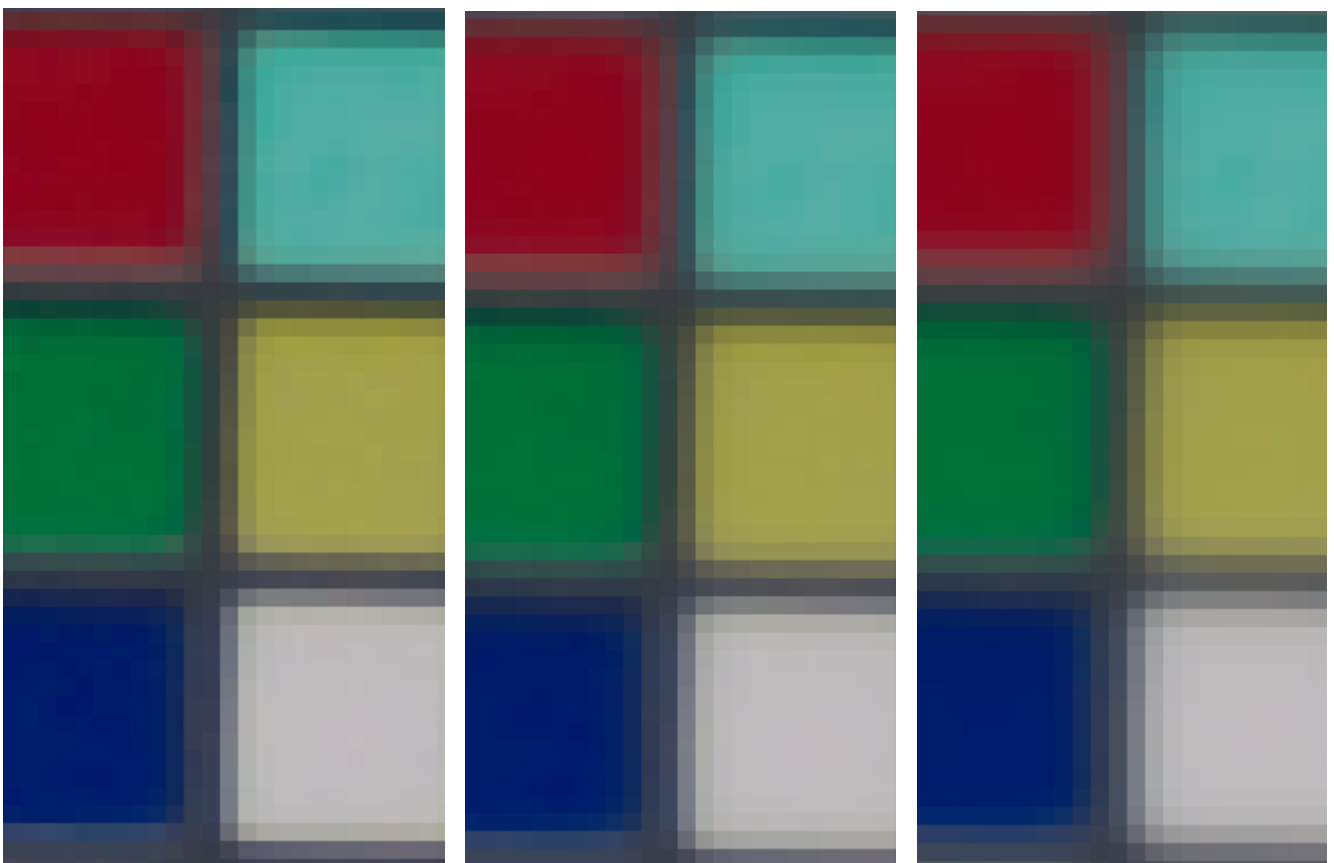


Figure 64. Agrandissement d'une image débayerisée par ARRIRAW Converter. Algorithme ADA-5 SW (*software*). De gauche à droite : netteté 100, R 100 V 100 B 50 ; netteté 0, R 100 V 100 B 50 ; netteté 0 R 0 V 0 B 0.

C'est après débayeurisation que nous pouvons étudier une autre caractéristique de la texture d'image : le bruit. Nous savons déjà qu'il y a un bruit intra-image. Le bruit dans une image, bien qu'il en gêne la lecture, donne une sensation de détail. Le bruit s'exprime dans un seul pixel à la fois. Aussi, un bruit important nous permet de percevoir la grille des pixels d'une image. Il trahit alors la résolution limitée de l'image numérique. Bien que le bruit anéantisse l'information de l'image, il renforce notre impression de détail.

Le bruit le plus visible à l'écran est le bruit inter-image. Les valeurs d'un pixel d'une image à l'autre fluctue même si la scène filmée est immobile.

Revenons sur le modulateur installé sur la sphère d'intégration et étudions, dans le temps, la vie d'un pixel sur une plage du modulateur. Le modulateur et son éclairage sont constants dans le temps.

Les valeurs linéaires de l'image ARRIRAW sont converties en clarté CIELUV L* afin de représenter une grandeur cohérente avec la gêne que nous pouvons percevoir à la lecture des images.

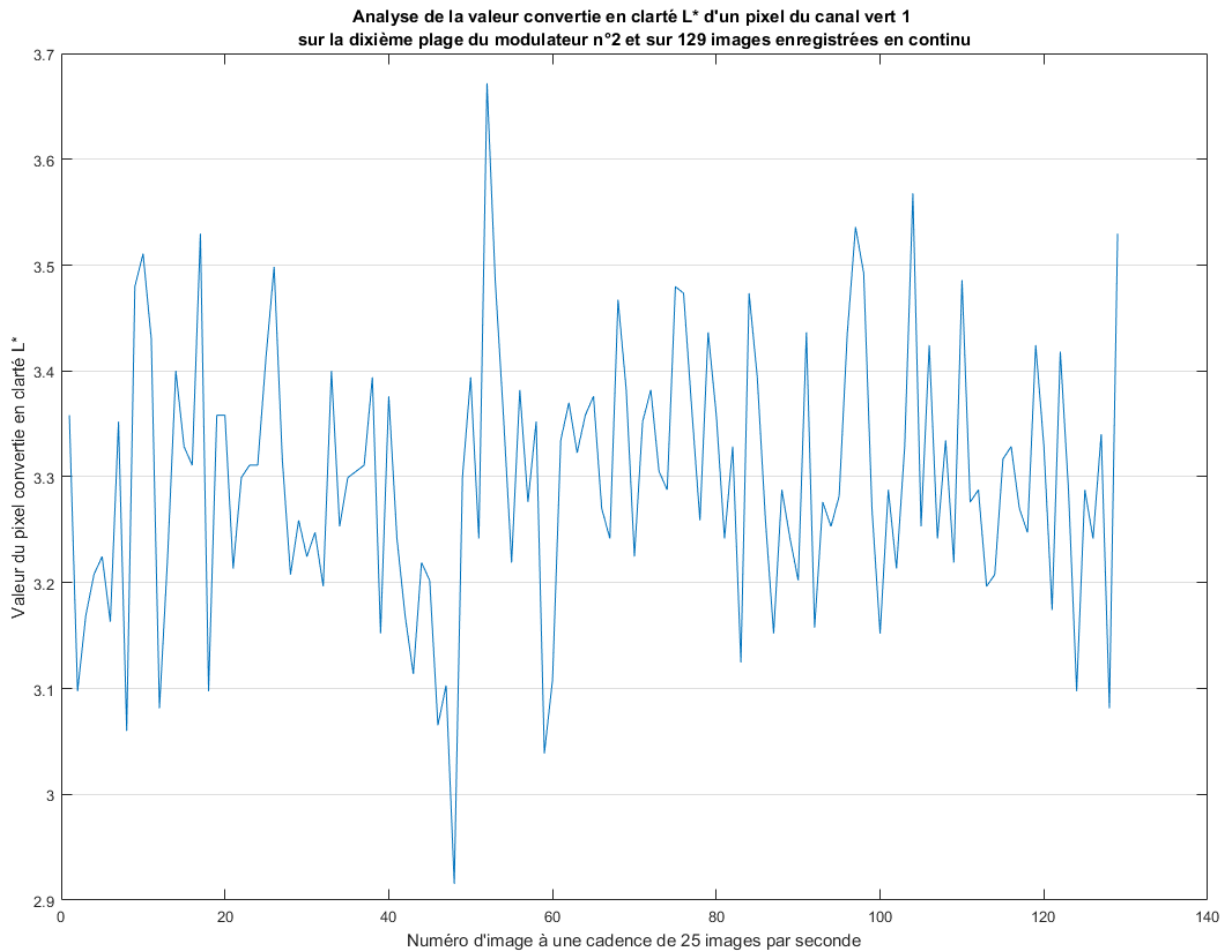


Figure 65. Analyse du bruit inter-images pour un pixel du canal vert n°1 dans la dixième plage du modulateur n°2.

La clarté moyenne du pixel est de 3,30 et son écart-type est de 0,12. En supposant que la dispersion des valeurs suit une loi normale, alors 95% des valeurs se trouvent entre une clarté de 3,06 et de 3,54³⁸. Un scintillement d'une demi-unité de clarté est percevable.

³⁸ Propriété d'une fonction gaussienne de moyenne m et d'écart-type σ : 95% des valeurs sont réparties dans l'intervalle $[m - 2.\sigma ; m + 2.\sigma]$.

2. Quantifier la vision des détails, des contrastes et des couleurs en milieu nocturne

Nous avons étudié dans la première partie le comportement de notre appareil visuel en milieu nocturne. Nous sommes capables de mener, dans des conditions d'éclairage nocturne, des expériences psychophysiques³⁹ permettant de quantifier l'appauvrissement de notre perception.

Sous un éclairage de $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ lux}$, treize sujets se sont prêtés à une expérience psychophysique dont les objectifs étaient d'estimer l'affaiblissement du système visuel dans la discrimination des contrastes et des détails, ainsi que d'estimer la disparition de la vision des couleurs.

A. Retour d'expérience : la discrimination des contrastes et des détails

Nous pouvons déduire de nos études qu'en environnement nocturne, la perception du détail s'appauvrit. En effet, les contours s'estompent, comme nous pouvons l'observer dans nos simulations d'images rétiniennes du chapitre 1.2.C. De manière contingente, la perception du contraste s'estompe aussi. Dans l'exemple de nos trois cartons, bien que leurs frontières physiques soient nettes, la dispersion des quelques photons qui atteignent notre rétine dans un temps donné ne rend pas compte de ces frontières aussi nettement. Nous comparons une plage générale à une autre : en considérant une surface suffisamment large, nous sommes capables d'en déduire que l'une est plus lumineuse que l'autre. Notre discrimination est plus grossière que dans un environnement diurne.

Nous sommes capables de proposer une expérimentation qui permette de quantifier cet appauvrissement de la discrimination des contrastes et des détails.

³⁹ Une expérience psychophysique a pour but de proposer une métrique permettant de quantifier la perception, par nature subjective, d'un phénomène physique.

Nous avons dessiné, par ordinateur, une mire qui décrit dans sa largeur une fréquence spatiale de plus en plus haute et dans sa hauteur un contraste de plus en plus faible.

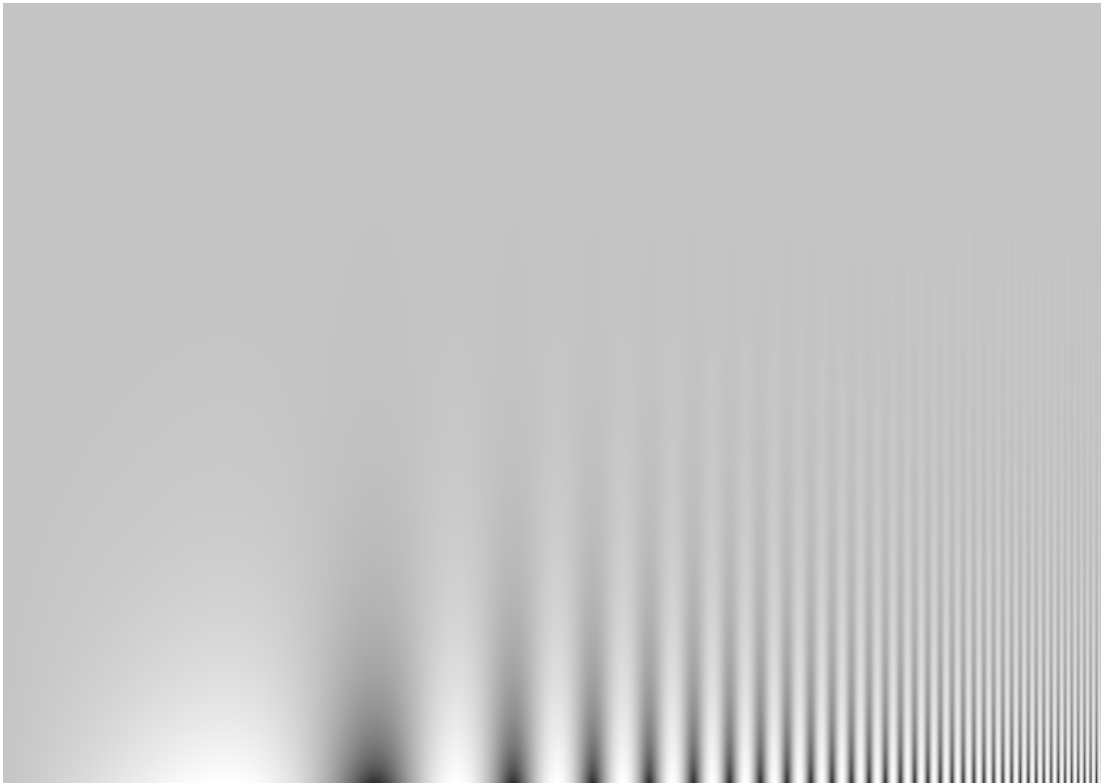


Figure 66. *Mire de sensibilité au contraste et aux détails.*

La forme dessinée est le résultat d'une sinusoïde. En hauteur, la sinusoïde décrit un contraste de plus en plus faible entre sa valeur la plus sombre et sa valeur la plus claire (de 18 à 1). En largeur, la fréquence de la sinusoïde augmente (de 0,33 cycles par cm à 28 cycles par cm).

Si nous demandons à un sujet de dessiner la frontière entre ce qu'il parvient à discriminer et ce qu'il ne parvient plus à discriminer, nous obtenons un tracé en forme de cloche, qui atteint un maximum pour une fréquence spatiale et un contraste donnés.

Dans un environnement nocturne, ce tracé se déplace vers des contrastes plus bas et vers une fréquence spatiale inférieure, soit vers des détails plus grossiers.

Nous avons étudié les résultats de la population qui s'est prêtée à l'expérience, soit un total de 13 personnes. L'analyse a été portée sur le déplacement, entre un environnement diurne et un environnement nocturne, de quatre points remarquables représentés ci-après :

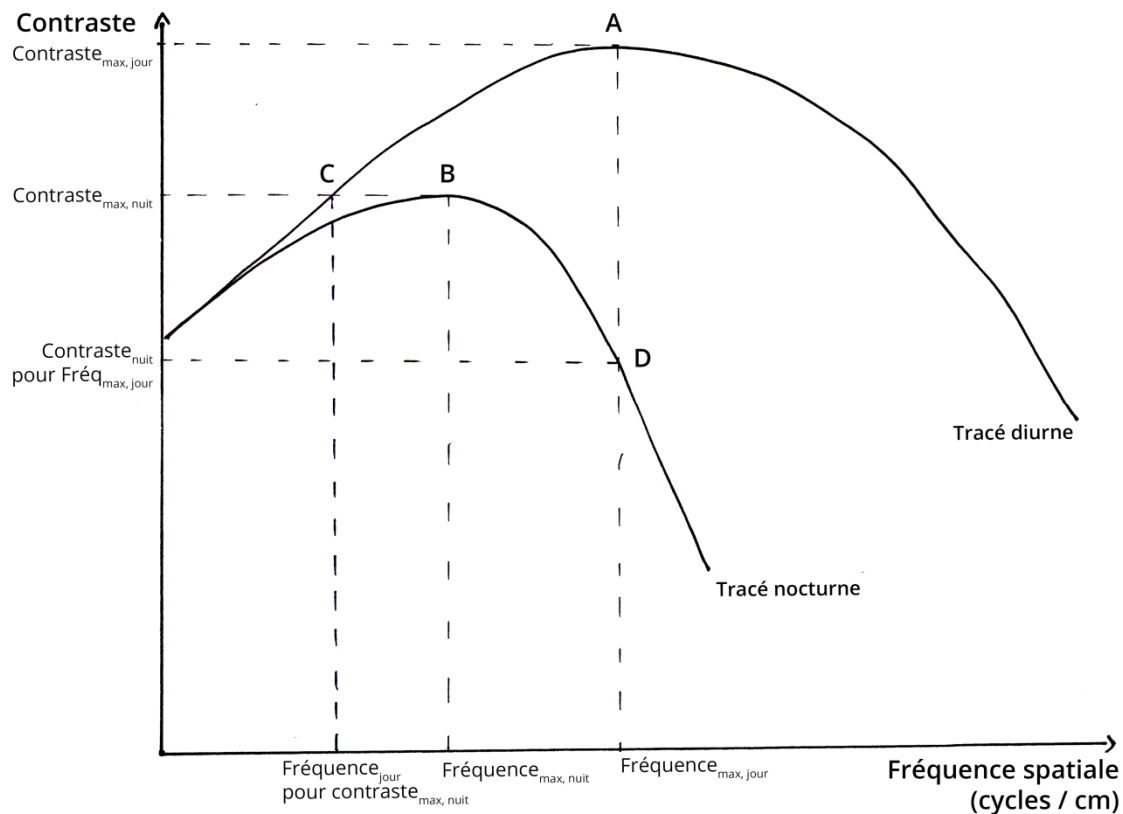


Figure 67. Exemple de tracé des courbes de sensibilité au contraste et aux détails.

Les deux premiers points sont les maximums de chacune des courbes, A et B. Nous avons ensuite, par construction, déterminé la limite de contraste discriminé de nuit correspondant à la fréquence spatiale optimale vue de jour, D. Enfin, par construction, nous déterminons la limite de fréquence discriminée de jour pour un contraste de nuit correspondant optimal, C, en allant vers les valeurs de fréquences inférieures.

Les résultats moyennés sur la population sont les suivants :

	Contraste	Fréquence
Rapport de B/A (moyenne)	1,07	0,27
Rapport de B/A (écart-type)	0,05	0,09
Rapport de D/A (moyenne)	1,72	-
Rapport de D/A (écart-type)	0,73	-
Rapport de C/B (moyenne)	-	0,66
Rapport de C/B (écart-type)	-	0.28

Nous remarquons que la baisse en vision optimale des contrastes est très faible, la limite de contraste perçue étant de 1,07 fois seulement supérieure à celle de jour. Cependant, la résolution spatiale en condition nocturne est divisée par 4, avec un résultat exact de 0,27.

À même fréquence spatiale égale à la fréquence spatiale optimale de la vision diurne, le contraste limite perçu doit cette fois être 1,72 supérieur en moyenne. Cependant, l'écart-type de cette mesure est élevé et rend ce résultat peu exploitable.

À même contraste égal au contraste optimal de la vision nocturne, la fréquence limite perçue de jour est 0,66 fois inférieure en moyenne à celle perçue de nuit. La limite perçue de nuit correspond donc à celle perçue de jour pour un détail bien plus grossier. Encore une fois, la valeur d'écart-type est très élevée.

Ces résultats sont peu probants et pas exploitables. C'est une déception. Les tracés étaient très variables d'un expérimentateur à un autre. Il aurait sans doute fallu soumettre les sujets à un apprentissage afin de réduire les disparités de résultats. En effet, la frontière que nous demandions de dessiner est soumise à un certain arbitrage que nous aurions dû chercher à niveler.

Cependant, nous confirmons bien par cette expérience l'appauvrissement en discrimination des contrastes et des détails : pour chacun des sujets testés, le tracé nocturne se déplace par rapport au tracé diurne en suivant la même tendance.

B. Retour d'expérience : la vision des couleurs

Avec l'appauvrissement de notre perception du détail et des contrastes disparaît complètement notre discrimination des couleurs. En vision scotopique, nous sommes complètement aveugles aux couleurs. Seule notre mémoire nous aidera à imaginer les couleurs d'un objet connu. Bien que dans un environnement nocturne, nous sommes souvent confrontés à des niveaux lumineux qui correspondent encore à la vision mésopique, nous avons cherché à établir une expérimentation qui permette de démontrer la disparition de la perception des couleurs dans un environnement obscur ainsi que de proposer un modèle de la métamorphose des valeurs colorées en valeurs de densités variables selon la teinte considérée, métamorphose liée à la sensibilité spectrale des bâtonnets différente de celle des cônes.

Nous avons choisi de réaliser quatorze cartons imprimés d'après la classification de l'atlas de couleurs de Munsell⁴⁰. Dix cartons sont d'égale valeur 7 et d'égale chromaticité 8. Quatre cartons ont été créés afin de représenter des couleurs plus pures, avec une chromaticité égale à 12, mais la valeur n'a pas pu être maintenue égale. Pour les dix premiers cartons du panel de test, seule la teinte varie de manière isométrique dans l'atlas de couleurs de Munsell.

⁴⁰ Albert H. Munsell proposa en 1909 un système d'identification et de classification des couleurs. C'est un espace couleur tridimensionnel, avec une échelle de valeur (assimilable à la clarté), une échelle de chromaticité (assimilable à la pureté) et une échelle de teinte.

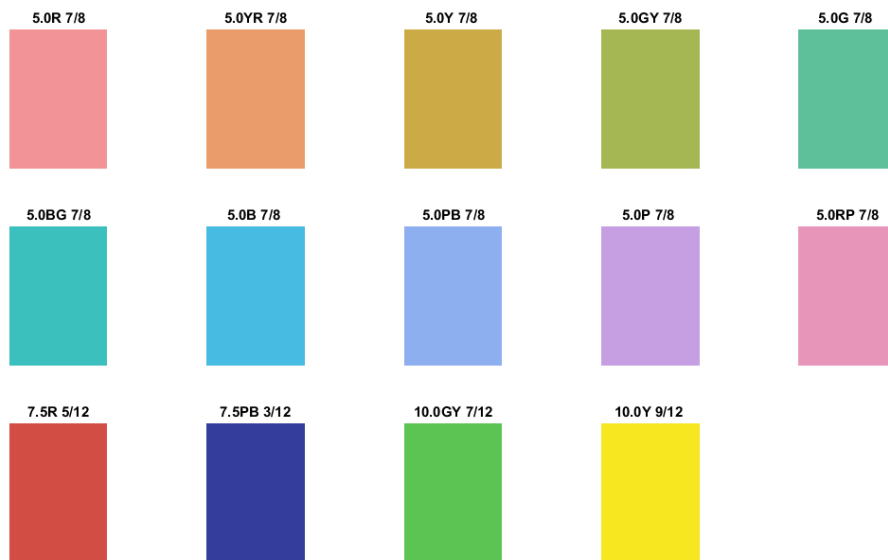


Figure 68. Échantillons de test dans l'espace sRGB, identifiés selon l'atlas de couleur de Munsell.

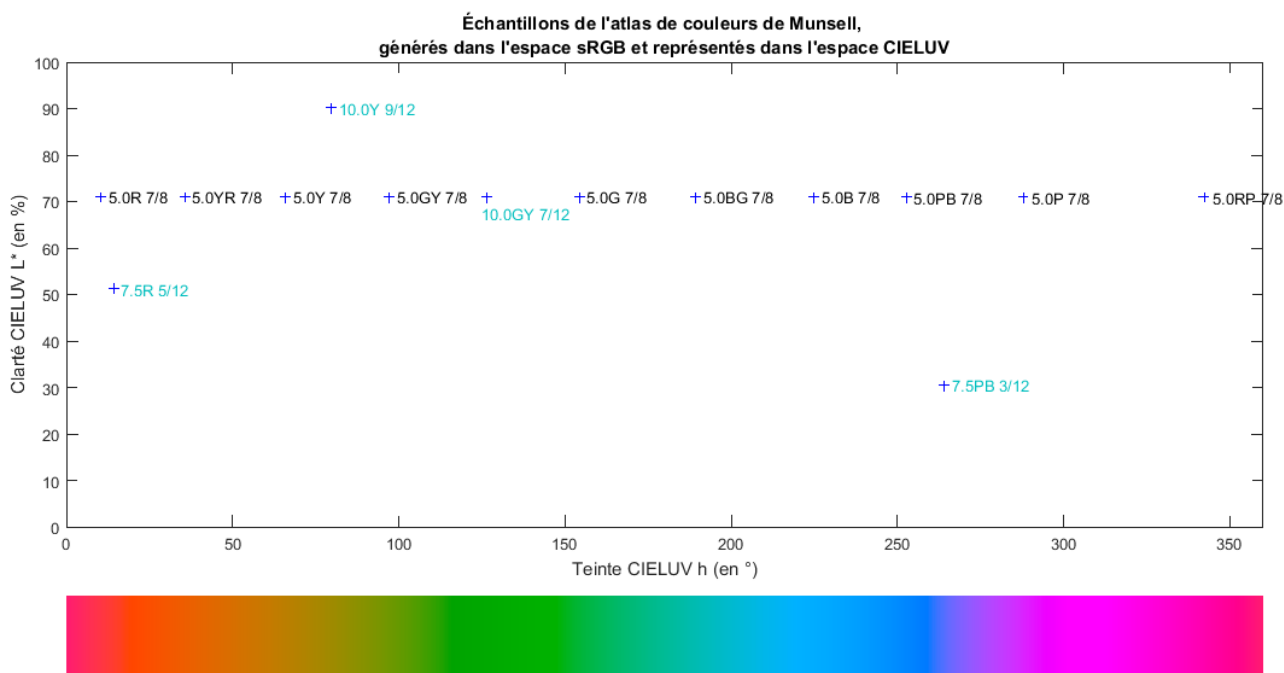


Figure 69. Représentation dans l'espace CIELUV des échantillons de test.

Les valeurs de teinte h sont réparties dans l'espace CIELUV de manière très homogène. De même, la clarté reste égale pour les dix premiers échantillons. Les quatre échantillons à part de la série sont représentés en bleu.

Les échantillons sont observés dans le même environnement que décrit précédemment. L'éclairement sur la table d'expérimentation est de $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ lux}$ et est induit par un projecteur KinoFlo à tubes fluorescents donc le spectre est majoritairement continu, avec une température de couleur de 5900K pour un d_{uv} de +0,002. C'est donc une source suffisamment assimilable à un illuminant pour ne pas influencer sur la leucie des couleurs observées.

Nous demandons aux expérimentateurs d'associer à chacun de ces échantillons colorés un carton neutre choisi parmi une large population de cartons d'une clarté allant de 22,21% à 96,47%. Sous un éclairage aussi faible que celui de notre expérience, il n'a pas été difficile pour chacun des sujets de confondre un de ces cartons gris avec un échantillon coloré, dont la couleur n'était plus perceptible.

Nous représentons dans le graphique suivant, pour l'angle de teinte h de chacun des cartons colorés, l'écart Δ_{L^*} entre la clarté L^* mesurée de l'échantillon coloré et la clarté L^* du carton neutre.

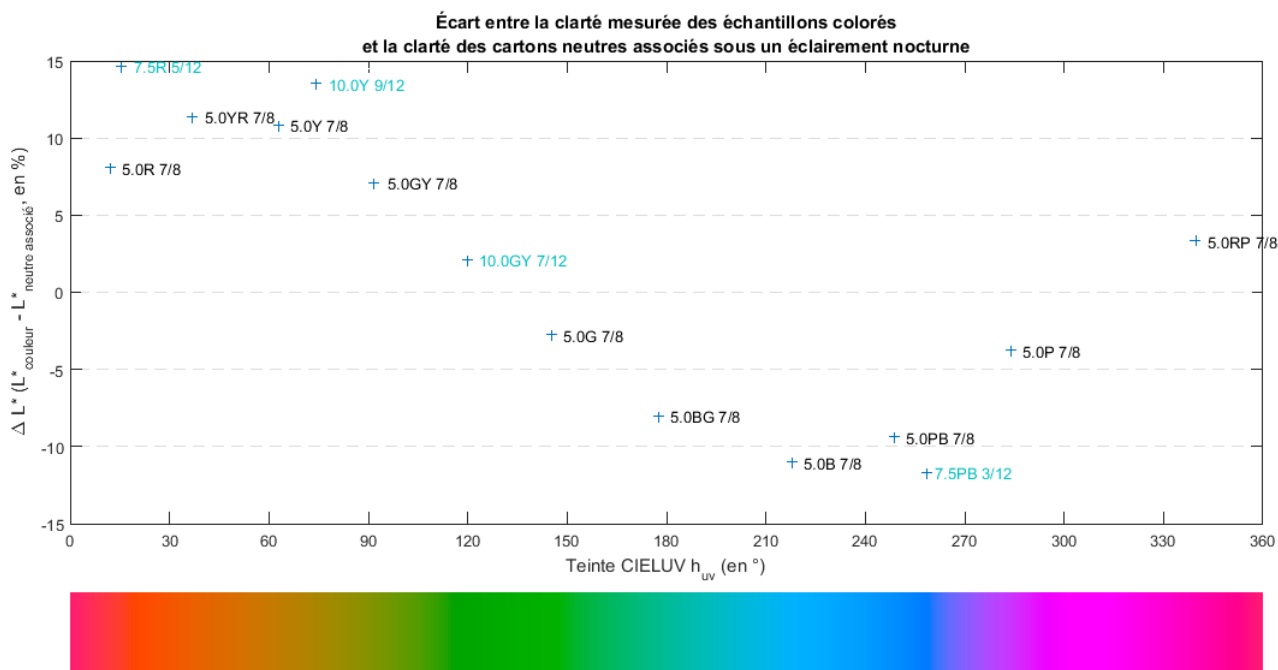


Figure 70. Écart de clarté entre les mesures des échantillons colorés et les clartés des cartons neutres associés.

Mesures des échantillons pour un illuminant D50 et l'observateur standard CIE 1931 2°. Les valeurs négatives dénotent un carton neutre associé d'une clarté supérieure à la clarté mesurée de l'échantillon coloré. Inversement, les valeurs positives dénotent un carton neutre associé plus sombre.

Nous cherchons à présent à simplifier par une analyse trichrome les réflectances spectrales mesurées de chacun des échantillons colorés (sont exclus les quatre cartons plus purs). Ainsi, nous obtenons trois composantes R, V et B. Nous cherchons un jeu de trois coefficients r , v et b qui permettent, en multipliant respectivement les trois composantes R, V et B, d'obtenir un mélange égal à la clarté du carton neutre associé expérimentalement à l'échantillon coloré.

$$r \cdot R + v \cdot V + b \cdot B = L^*_{associée}$$

Nous représentons, pour chacun des 14 échantillons colorés, les trois composantes R, V, B, la clarté du carton neutre associé ainsi que le mélange des trois composantes multipliées par leur coefficient respectif, sous la forme de 14 histogrammes de barres.

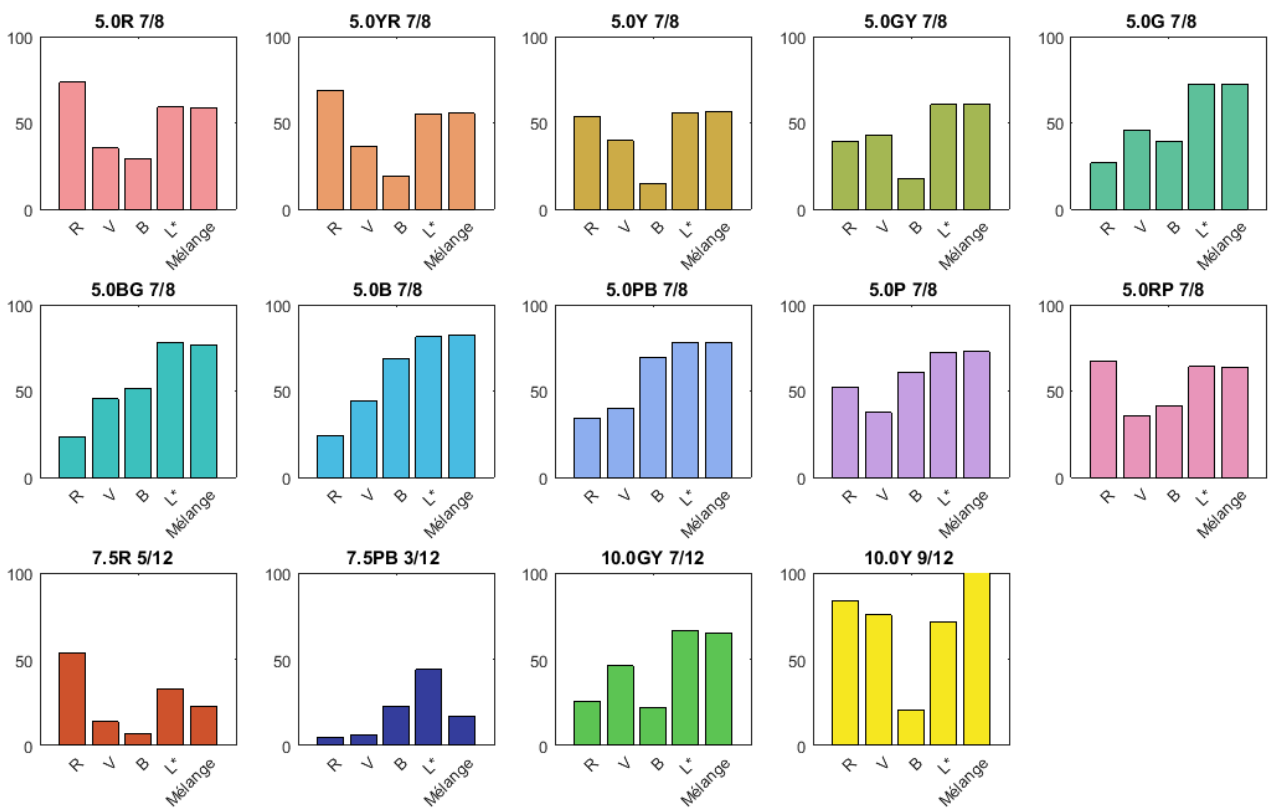


Figure 71. Histogrammes pour chacun des échantillons colorés.

Réflectances spectrales pondérées et moyennées (R : de 400nm à 550nm, V : de 470nm à 630nm, B : de 550nm à 700nm, en %), clartés L* des cartons neutres associés expérimentalement (en %), mélange pondéré par les coefficients $r=0,0653$, $v=1,1862$, $b=0,4113$ des trois composantes R, V et B afin d'égaliser la clarté L* du carton neutre associé.

Le mélange obtenu présente un écart moyen avec la clarté du carton neutre associé de 0,0013 pour un écart-type de 0,6336. Le modèle est fonctionnel.

Encore une fois, les quatre échantillons les plus purs ont été exclus de cette étude. Ils ne sont présentés qu'à titre de curiosité. Nous pouvons voir que le mélange ne fonctionne pas pour eux. Nous en déduisons qu'il faudrait déterminer un jeu de trois coefficients par valeur de pureté. Ce n'est pas l'objet de notre recherche.

Avec cette expérience, nous confirmons la disparition de l'information colorée en vision scotopique et nous expérimentons la modulation de la clarté

perçue en fonction de la teinte de l'objet : les rouges s'assombrissent tandis que les bleus s'éclaircissent. De plus, les coefficients trouvés pour obtenir un mélange satisfaisant peuvent être appliqués à une image. Nous n'obtiendrons pas une correspondance rigoureusement exacte avec notre perception scotopique. Encore une fois, ce n'est pas l'objet de l'expérience. Nous trouvons une tendance que nous pouvons appliquer dans la recherche d'une image achrome dont les valeurs, selon chaque couleur, varient en accord avec la métamorphose de notre perception des objets colorés.

3. Développement RAW, workflow et étalonnage

Le tournage a été réalisé selon nos intentions de rendu nocturne. Cependant, l'image n'est pas du tout celle de la nuit. Nous n'avons qu'ébauché une direction. Si l'image n'est plus latente comme elle l'était à l'époque de l'image argentique, nous pouvons associer l'idée d'image numérique en devenir, que les étapes de la postproduction vont révéler. La destination de nos images est la salle de cinéma, normée en France par la norme AFNOR NF-S-27100 qui donne un contraste image de 1200 pour une luminance du blanc de 48 cd. m^{-2} .

Un tournage numérique se caractérise par une chaîne entièrement numérique, depuis la prise de vues jusqu'à la projection. Ce type de chaîne s'est imposé depuis plus d'une demi-décennie maintenant. Avant la généralisation des tournages numériques, un tournage argentique conduisait aussi à une postproduction numérique avant de revenir sur un support argentique en projection.

Ainsi, un grand nombre de caractéristiques de l'image sont accessibles aux leviers de la postproduction – virtuellement toutes. Il s'agit alors de relever les moments optimaux de certains de nos choix de rendu d'image.

Nous ne traiterons pas de la postproduction lourde type VFX, qui concerne davantage le domaine des effets spéciaux que celui de la création de l'image au sens cinématographique du terme. Nous nous arrêterons à l'étalonnage numérique, déjà extrêmement puissant aujourd'hui.

Dépassant de loin en souplesse l'étalonnage sur tireuse de la chaîne entièrement argentique, l'étalonnage numérique en reprend l'objectif initial : ajuster l'image, ses contrastes et ses couleurs. Le traitement numérique offre de très larges possibilités sélectives selon les valeurs de l'image (basses, moyennes et hautes) et ses couleurs. Il est aisé, à partir d'une image dite neutre, de teinter

les ombres, de la contraster ou de la décontraster, de renforcer la vibrance d'une carnation.

Face à cet outil protéiforme d'une efficacité redoutable, nous devons déterminer plus que jamais avec fermeté notre intention d'image avant sa création.

A. Développement de l'ARRIRAW et *workflow*

La première étape consiste à développer l'image RAW et à effectuer la débayerisation, c'est-à-dire la répartition en trois couches rouge, verte, bleue de l'image en valeurs répartie sur la mosaïque de Bayer. Nous utilisons le logiciel ARRIRAW Converter avec les paramètres de netteté réduits au minimum.

Par ailleurs, les informations de couleur sont traitées. L'image est balancée, des coefficients sont appliqués aux trois canaux afin d'équilibrer les couleurs selon la température de couleur corrélée de la source d'éclairage de la scène. Nous choisissons une balance cohérente, qui rend les blancs, gris et noirs neutres.

Nous n'effectuons pas de changement d'espace colorimétrique lors de la débayerisation et gardons alors les primaires ARRI WideGamut. La gradation de l'ARRIRAW, en LogC, est convertie en une gradation linéaire.

Avant d'aller plus avant dans notre flux de travail, nous allons chercher à traiter le détail d'une manière qui épouse le fonctionnement de notre appareil visuel. Une première approche est l'application d'une matrice de convolution sur l'ensemble de l'image dans le but d'adoucir les contrastes locaux, de réduire l'acutance de l'image. Ensuite, image par image, nous sélectionnons aléatoirement, selon la distribution de Poisson étudiée au chapitre I.2.C, des pixels dont nous supprimons l'information. Ces pixels manquants sont alors recalculés par une moyenne de leurs proches voisins. Cette action permet de

réduire le détail de l'image selon une manière aléatoire qui correspond à la pluie de photons réparties sur la rétine de notre œil dans un environnement nocturne.

De la même manière, nous préparerons des images au format TIFF de même résolution que notre image définitive cible, remplie de pixels générés aléatoirement, encore selon une distribution de Poisson. Ces pixels seront gris, c'est-à-dire que les valeurs de leurs trois couches seront égales. Nous essaierons ainsi de générer un bruit similaire au bruit existant au sein de notre œil, le gris intrinsèque.

Ces actions seront réalisées via le logiciel Matlab, en lignes de code.

Le *workflow*, ou flux de travail, se définira ainsi. Nos images sont encodées linéairement dans l'espace couleur ARRI WideGamut. Nous appliquons alors en étalonnage, pour visualisation, une LUT de transfert de l'espace WideGamut à l'espace DCI⁴¹. Cet espace est celui du cinéma numérique, dans lequel sont encodés les DCP⁴² projetés en salle. Cette LUT de transfert transformera aussi la gradation des valeurs selon le gamma 2,6 du DCI.

Ainsi, les curseurs de nos outils d'étalonnage agiront sur des valeurs linéaires encodées dans l'espace WideGamut, tandis que nous visualiserons nos images dans l'espace DCI sur un écran calibré.

⁴¹ DCI : *Digital Cinema Initiative*.

⁴² DCP : *Digital Cinema Package*.

B. Étalonnage

Considérons les outils proposés par le logiciel DaVinci Resolve de la société BlackMagic Design. Nous utilisons pour nos tests la version 11 Lite. Nous tâcherons d'estimer l'action des différents curseurs proposés par le logiciel.

La première action envisageable en étalonnage sur une image est la modification de ses contrastes. Prenons une image générée informatiquement d'un dégradé, du noir au blanc :

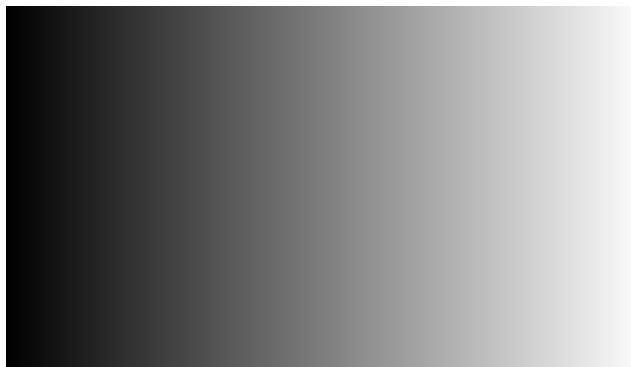


Figure 72. *Dégradé linéaire du noir au blanc.*

Nous pouvons étudier l'effet des différents outils de DaVinci Resolve sur ce dégradé et ainsi déterminer le champ d'action de ces outils. L'outil le plus simple et le plus représentatif est l'outil « Courbes ». Dans un cadran où les abscisses correspondent aux valeurs en entrée de l'image et les ordonnées aux valeurs de sortie, soit au résultat de l'action de l'outil « Courbes », un tracé est ajustable afin de modifier les valeurs de notre image d'origine.

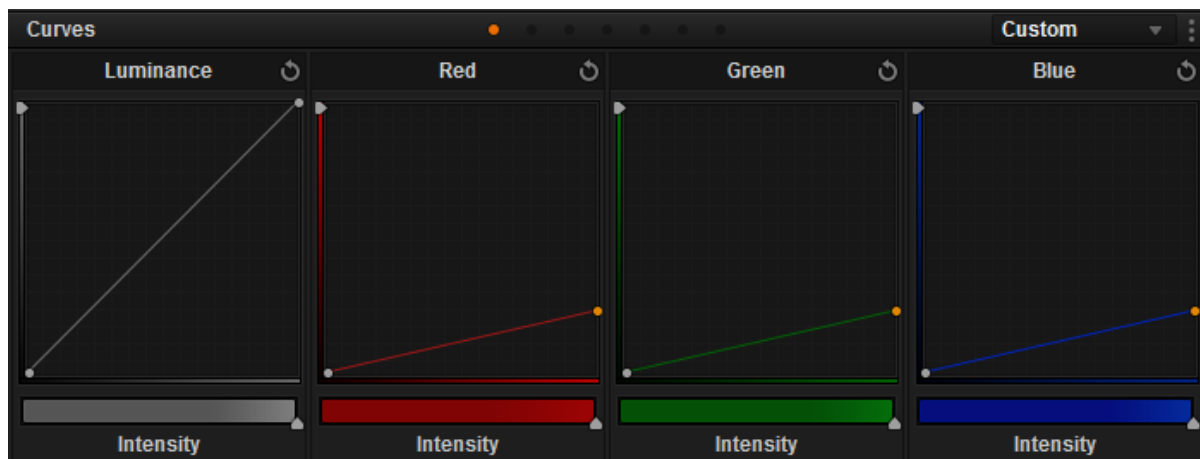


Figure 73. L'outil « Courbes » de DaVinci Resolve 11 Lite.

Les courbes agissent sur les trois canaux rouge, vert et bleu de l'image ainsi que sur le mélange résultant en luminance. Il est possible de travailler les quatre courbes de concert ou de les travailler individuellement. Selon le manuel du logiciel, renforcer le contraste d'une image uniquement à travers le canal de luminance aura comme effet de la désaturer⁴³.

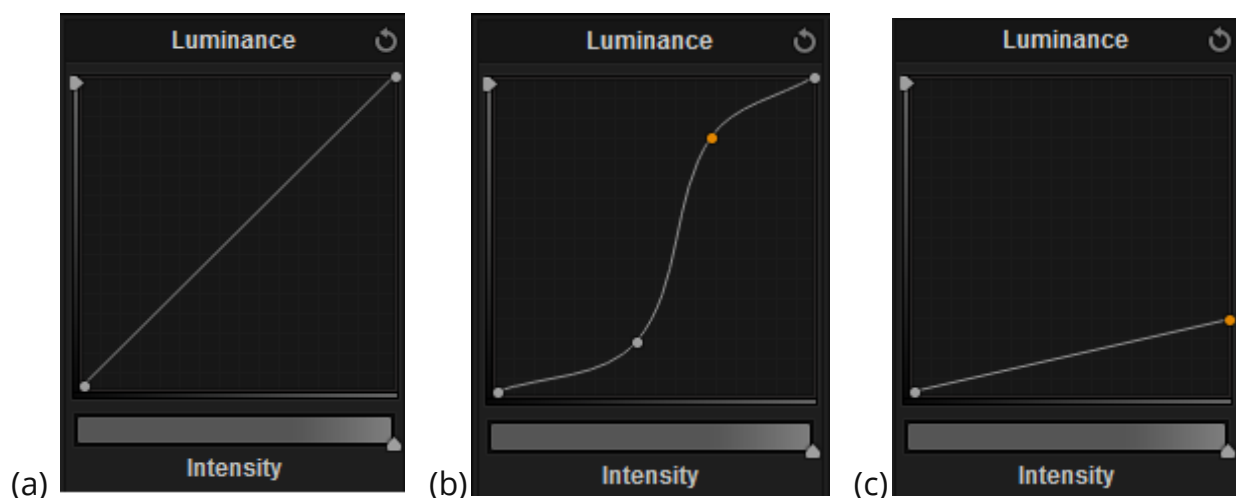


Figure 74. Courbe neutre, sans effets (a), courbe modifiée (b), courbe modifiée correspondant à une baisse de contraste (c).

Observons l'effet des deux courbes modifiées sur notre dégradé linéaire :

⁴³ « When making this type of adjustment, increasing luma contrast results in a perceptual decrease of image saturation », manuel de DaVinci Resolve 11 (version du 24 mars 2015).

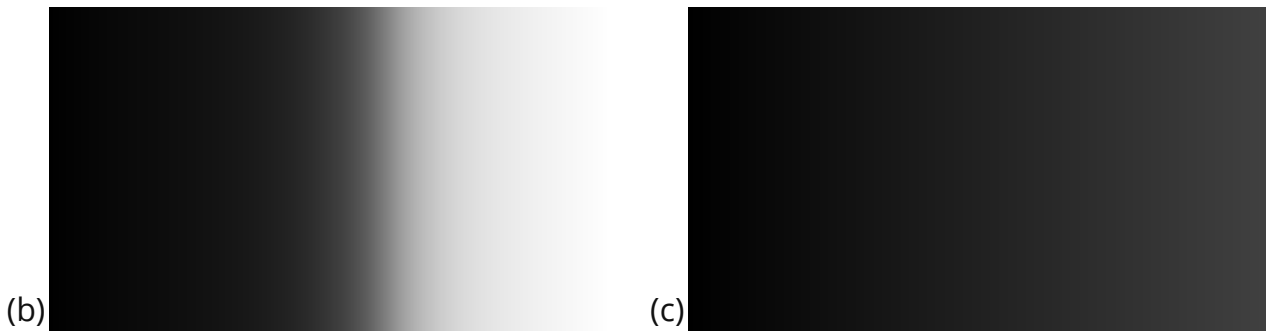


Figure 75. Dégradé linéaire modifié par les courbes présentées à la figure 74.

La courbe (c) donne exactement le même résultat que le curseur de contraste (valeurs allant de 0 à 1) présent dans le logiciel. Associé au curseur de pivot (valeurs de 0 à 1), l'outil de contraste permet de décontraster l'image autour d'un point pivot. Le résultat donné par la courbe (c) de la figure 60 peut aussi être obtenu par une valeur de contraste à 0,250 et un pivot de 0.



Figure 76. Curseur de contraste et de pivot (a), image modifiée par un contraste de 0.250 et un pivot de 0 (b), image modifiée par un contraste de 0.250 et un pivot de 0.500 (c).

D'autres outils, tels les « Color Wheels », ou roues de couleurs, sont très utilisés. Ils permettent d'agir sur les basses valeurs de l'image (« Lift »), sur les valeurs moyennes (« Gamma ») et sur les valeurs hautes (« Gain »). Pour un réglage du *lift* de -0.20, nous sommes capables d'obtenir le même résultat en appliquant l'équation suivante à l'image : $y = 2.a(x - 1) + 1$, où a est la valeur affichée par le logiciel (soit ici -0.20), x la valeur d'entrée et y la valeur de sortie. Le *lift* applique donc un coefficient sur l'image en prenant comme pivot le blanc. Le *gain* applique simplement le coefficient affiché par le logiciel à l'image et correspond donc au gain vidéo que nous connaissons. Le *gamma* applique à

l'image une valeur de puissance x^{γ} . Enfin, un réglage global existe (« Offset ») qui soustrait ou ajoute à l'ensemble de l'image une valeur.



Figure 77. Outils « Color Wheels » de Davinci Resolve.

L'outil Color Wheels existe aussi dans un mode différent, où l'action sur les basses, les moyennes et les hautes valeurs est plus sélective et dont le champ d'action est ajustable.

Nous avons décrit ces outils en termes de valeurs, mais il nous faut imaginer étendre cette étude au traitement des couleurs. Les outils fonctionnent de la même manière, sur les mêmes domaines de valeurs, mais en travaillant sur les couleurs (et donc indépendamment sur les canaux rouge, vert et bleu).

Ce rapide survol de l'organisation des outils de DaVinci Resolve 11 Lite nous donne à voir les actions sur le contraste de l'image auxquelles nous pouvons aspirer. N'oublions pas qu'il s'agit toujours d'appliquer des coefficients à l'image d'une manière ou d'une autre. Dans un monde numérique où les données s'échelonnent de manière finie (en 8bit, le noir est égal à 0 et le blanc à 255, le reste des niveaux étant décrit de manière entière sur 254 valeurs exactement), appliquer des coefficients trop grands entraînera nécessairement une dégradation de l'image, là où l'information finira par manquer. Comme si nous cherchions à étaler du beurre sur une tartine trop grande.

Nous devons estimer en amont nos besoins à l'étalonnage, en-dehors des quelques ajustements fins propres justement au travail d'étalonnage. Dans notre recherche de rendu d'image nocturne à partir d'une scène diurne, nous avons vu que nous devons chercher à décontraster l'image. Cette action sur le contraste de l'image peut-elle être amenée à l'étalonnage ? Qu'en est-il de l'appauvrissement des couleurs ?

En ce qui concerne les couleurs, nous pouvons envisager d'appliquer les coefficients de mélange trouvés à l'aide de nos expériences psychoperceptives directement dans DaVinci Resolve. En combinant l'image non traitée à la même image achromatisée selon ces coefficients appliqués grâce au mélangeur de couches du logiciel, nous obtiendrons une image appauvrie colorimétriquement parlant, dans le sens de nos observations et avec une force ajustable à l'étalonnage. De nouveau, cette force doit être estimée. Si la vision scotopique est totalement achromate, la vision mésopique, elle, ne l'est que partiellement. Et le spectateur de cinéma ne recevra pas aisément une séquence nocturne achrome dans un film par ailleurs en couleurs. Nous devons conduire des essais, étalonnés puis visionnés afin de décider de la force de cet appauvrissement ainsi que de la teinte globale à donner à l'image, ce qui reste un choix artistique.



Figure 78. « RGB Mixer » ou mélangeur de couches de DaVinci Resolve 11 Lite. Les valeurs du mélangeur sont déterminées pour la luma vidéo, soit 71% de vert additionné à 21% de rouge et à 7% de bleu.

C. Interaction entre tournage et postproduction

La postproduction d'une image est liée à son enregistrement par l'intention de rendu que nous déterminons. Dans notre cas, notre première intention est de rendre nocturne une scène diurne. Nous avons choisi de privilégier nos impressions nocturnes profondes, qui correspondent à un appauvrissement en contrastes, en couleurs et en détails.

Prenons une scène en plein jour, par un temps ensoleillé. Un personnage se tient face à la caméra, le soleil derrière lui l'éclairant à contrejour. Le contraste de toutes les parties de la scène qui tournent le dos au soleil sera égal à leur contraste objet, soit au maximum de $5+1/3$ EV. Nous pouvons supposer que l'effet de contrejour se caractérisera par des spéculaires⁴⁴ dans notre image. Sa luminance sera alors très forte, le contraste éclairément entre le ciel et le soleil étant grand et renforcé par cet effet de réflexion spéculaire.

Nous pouvons d'ores et déjà choisir les costumes et les décors de telle sorte à ce que le contraste objet se réduise. Ensuite, il est possible de réduire l'éclairément du soleil par un moyen de contrôle à la disposition du chef électricien.

La scène est peu contrastée et nous choisissons de la poser sur une partie de la courbe de réponse de la caméra associée au filtre Varicon, dont nous parlerons plus tard et qui recouvre l'image d'un voile lumineux, telle qu'un contraste réel de 5 EV devienne un contraste image après analyse de 3 EV (ces chiffres sont purement arbitraires). Alors, nous pourrons compter sur l'étalonnage de cette image pour en réduire encore le contraste tout en en retirant l'effet de voile lumineux du Varicon. En effet, l'éclairément uniforme du Varicon s'additionne aux noirs de l'image et doit être soustrait pour retrouver un noir cohérent en projection.

⁴⁴ Une réflexion est dite spéculaire lorsque le rayonnement réfléchi l'est dans une seule direction, à la différence d'une réflexion diffuse (dans de multiples directions) voire lambertienne (égale dans toutes les directions). La luminance pour une surface lambertienne est décrite ainsi : $L = (E \times R)/\pi$, tandis que pour une surface spéculaire elle devient : $L = E \times R$.

Nous pouvons donc estimer les coefficients que nous appliquerons en postproduction à l'image enregistrée. Cette estimation peut être reportée au tournage pour visualisation au travers d'une LUT ou d'un look. Une LUT, pour *Look-Up Table* est un tableau de valeurs qui permet l'application de coefficients aux valeurs de l'image. Une LUT 1D (à une dimension) lie une valeur d'entrée à une valeur de sortie pour chaque canal rouge, vert, bleu.

Valeurs d'entrée (IN)			LUT 1D				Valeurs de sortie (OUT)		
			IN	OUT					
50	50	50	50	70	75	65	70	75	65
50	70	50	60	80	85	75	70	95	65
50	70	60	70	90	95	85	70	95	75

Figure 79. Exemple de LUT 1D appliquée à une image RVB.

Pour chaque canal, une valeur de sortie est définie en fonction de la valeur d'entrée. Une telle LUT ne tient pas compte du mélange des trois canaux.

Une LUT 3D (à trois dimensions) tient compte du mélange des trois canaux et associe à un triplet de valeurs d'entrée $\{R_{in}, V_{in}, B_{in}\}$ un triplet de sortie $\{R_{out}, V_{out}, B_{out}\}$. Les LUT sont caractérisées par une résolution et une profondeur de codage. C'est-à-dire qu'elles ne décrivent pas toutes les valeurs possibles. Les valeurs manquantes sont calculées par interpolation entre les valeurs connues.

Une LUT a une vocation technique : changement de gradation d'une image (application d'un gamma, linéarisation d'une image Log) ou changement d'espace colorimétrique (espace couleurs caméra vers l'espace Rec.709). Un look, lui, a une vocation artistique. C'est une intention d'étalonnage. Pour des raisons pratiques et comme un look a aussi pour rôle d'obtenir une image en sortie modifiée, la structure peut être la même qu'une LUT.

Le look permet une visualisation de l'image en intégrant les intentions d'étalonnage qui seront appliquées par la suite. Le look n'est pas gravé dans l'image. Il l'accompagne. Ainsi, l'image est enregistrée telle quelle, mais elle est visualisée modifiée.

La LUT et le look sont des outils essentiels de la visualisation de l'image au tournage. La LUT permet le passage de l'image dans un espace architecturé pour être permettre la visualisation (couleurs saturées et application d'un gamma à la gradation des valeurs). Le look permet une prévisualisation du rendu de l'image. Ce sont des aides importantes sur lesquelles le cadreur ou le réalisateur peuvent s'appuyer.



Faire l'image de la
nuit extérieure rurale

À la lumière de la métamorphose de notre perception dans un environnement nocturne et avec l'appui de notre connaissance de nos moyens de prise de vues, nous sommes capables d'aborder la fabrication de l'image de la nuit à partir d'une scène diurne. De nombreux paramètres sur lesquels nous pouvons faire levier sont répartis du tournage à la postproduction en passant par l'exposition. Il s'agit d'arbitrer à quel moment et avec quelle modération il convient d'agir sur ces leviers.

1. Influencer la réponse de la caméra à la prise de vues

A. En contrastes : le filtre ARRI Varicon

Nous pouvons agir sur le contraste de l'image sans modifier les rapports d'éclairement de la scène en filtrant à la prise de vues. En-dehors des filtres type *Low Contrast*, qui diffusent la lumière reçue d'une manière qui dépend de la scène et de ses contrastes, un filtre fabriqué par Arri peut nous être très utile. Il s'agit du filtre ARRI Varicon.



Figure 80. Photographie du filtre ARRI Varicon allumé.

Le Varicon est constitué d'un filtre illuminé par des ampoules tungstène, dont l'intensité est modulable à l'aide d'un système de diaphragme, qui n'influe donc pas sur la température de couleurs du flux lumineux émis. Son intensité varie

sur une échelle indicative de 0 à 15. Un éclairage uniforme est ajouté à l'éclairage de la scène filmée. En raison de la progression logarithmique de l'échelle des EV, son effet sera plus important sur les basses valeurs que sur les hautes. Le contraste image est réduit.

« Freddie Francis BSC, est l'un de ceux qui militent pour le Varicon en extérieur nuit. Cet accessoire lui permettant de donner plus de détails dans les ombres et de diminuer les sources complémentaires (Fill Light) [...] »⁴⁵. Ici encore, il est question de contraste. Au lieu de réduire le contraste de la scène par l'éclairage (*fill light*), c'est l'éclairage du Varicon qui remplit ce rôle.

Un filtre de densité neutre ND⁴⁶ peut être ajouté en amont sur le chemin optique, ce qui donne plus d'importance à l'effet d'éclairage du Varicon dans l'image. Il peut aussi être nécessaire de placer un filtre Wratten 85 afin d'équilibrer la température de couleur de la scène avec celle de l'éclairage du Varicon. Enfin, un des objectifs du Varicon est de pouvoir teinter les ombres de l'image. Une série de filtres souples est fournie dans le but de colorer l'éclairage produit par le Varicon.

Observons son action dans le cas où nous envisageons son rôle de réduction du contraste :



Figure 81. *Photogrammes sans Varicon (à gauche) et avec Varicon (à droite).*
Image non étalonnée. LUT Arri LogC vers Rec.709 appliquée. Arri Alexa Studio, EI 200, T2.1, angle d'obturation 358°.

⁴⁵ **REUMONT, François**, *Le guide image de la prise de vues cinéma*, Éditions Dujarric, 2006.

⁴⁶ Une densité neutre d'une valeur de 0,3 réduit l'éclairage d'1 EV, une valeur de 0,6 de 2 EV. La progression est logarithmique base 10 puisqu'il s'agit de densités.

Après étalonnage simple, où nous redescendons toutes les valeurs afin d'éliminer l'effet de voile provoqué par le Varicon, l'image reste aussi décontrastée qu'à la prise de vues mais avec des valeurs naturelles, les noirs de la scène étant noirs à l'image. Les hautes valeurs sont descendues aussi, à des degrés variables selon leur hauteur. L'image est peu contrastée et cohérente.



Figure 82. Photographes étalonnées sommairement sans Varicon (à gauche) et avec Varicon (à droite).

LUT Arri LogC vers Rec.709 appliquée. Arri Alexa Studio, EI 200, T2.1, angle d'obturation 358°.

La réponse du capteur est inchangée, mais le Varicon interfère dans les rapports d'éclairéments reçus. Le poids de son action va dépendre des niveaux de luminance de la scène. Observons son effet sur un modulateur dont nous connaissons les valeurs de densité de ses plages et, ainsi, leur luminance :



Figure 83. Extraits du modulateur d'incrément 0,10 points de densité.
De haut en bas : sans Varicon, Varicon 3, Varicon 5, Varicon 15.

Nous avons D la densité d'une plage, O son opacité, $L_{sphère}$ la luminance de la sphère, L_{plage} la luminance de la plage. Nous savons que :

$$D = \log_{10} O \text{ et } O = \frac{L_{sphère}}{L_{plage}}$$

$$\text{alors } L_{plage} = \frac{L_{sphère}}{O} = \frac{L_{sphère}}{10^D}$$

Nous pouvons représenter la force de l'effet d'éclaircissement du Varicon, à quatre intensités différentes, en fonction de la luminance de chacune des plages. Cette force est le rapport des valeurs numériques de chaque plage avec Varicon sur celles de chaque plage sans Varicon :

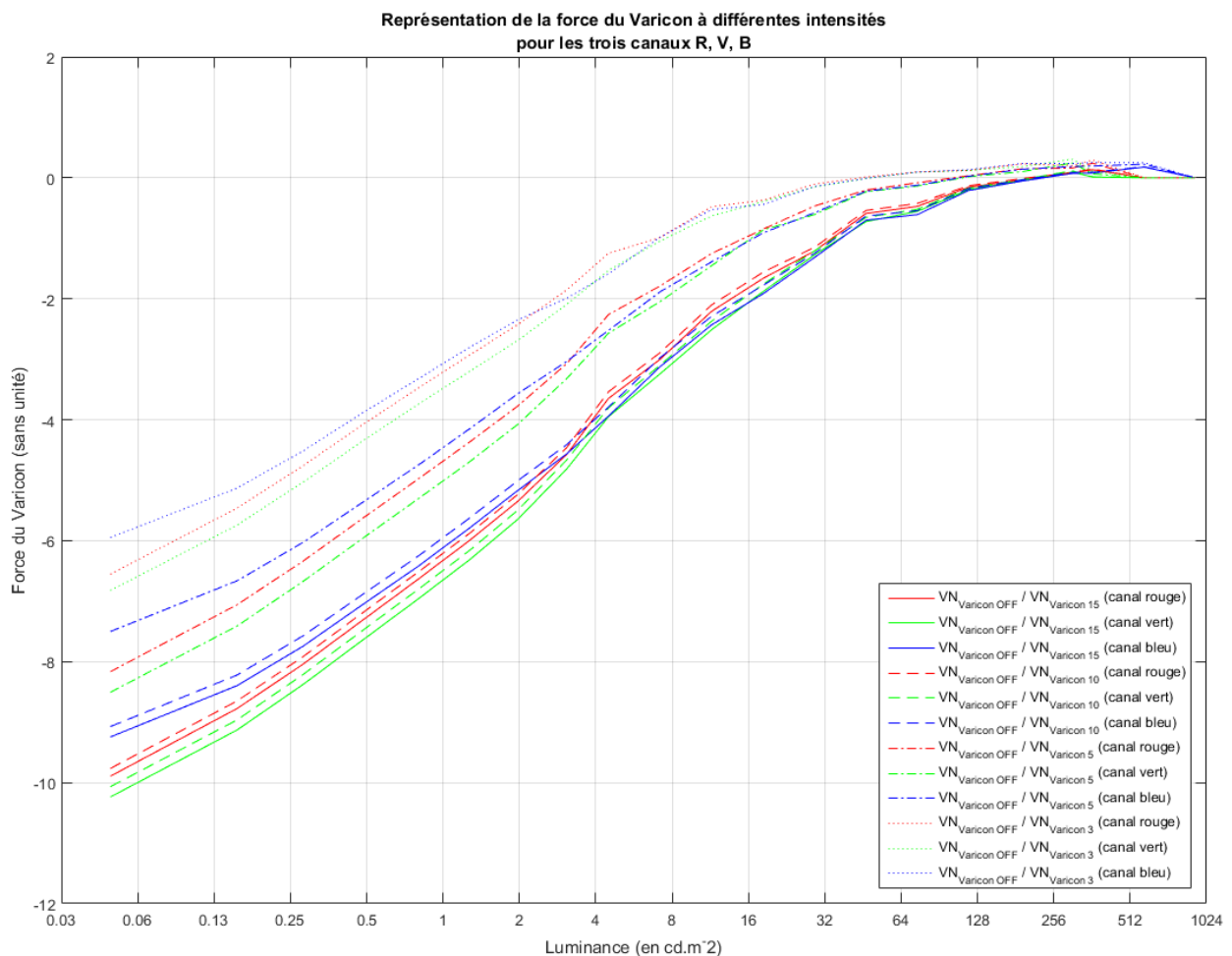


Figure 84. Représentation de la force du Varicon dans les trois canaux, à quatre intensités différentes.

Rapport des valeurs numériques sans Varicon sur les valeurs numériques avec Varicon pour chaque plage du modulateur.

Cela nous permet de déterminer quelles valeurs de luminance attendre de la scène considérée pour placer ses éléments dans les zones de force du Varicon et, ainsi, de choisir le filtre ND que nous allons mettre en amont.

Nous pouvons aussi remarquer qu'au plus grand de l'intensité du Varicon, nous sommes obligés de travailler avec des luminances du sujet très faibles pour obtenir l'effet souhaité. Cette contrainte est handicapante quant au choix du diaphragme pour obtenir une exposition du capteur correcte.

L'effet d'éclairement du Varicon est relatif à l'éclairement de la scène filmée. Pour renforcer son incidence sur l'éclairement image, nous devons utiliser des filtres de densité neutre en amont.

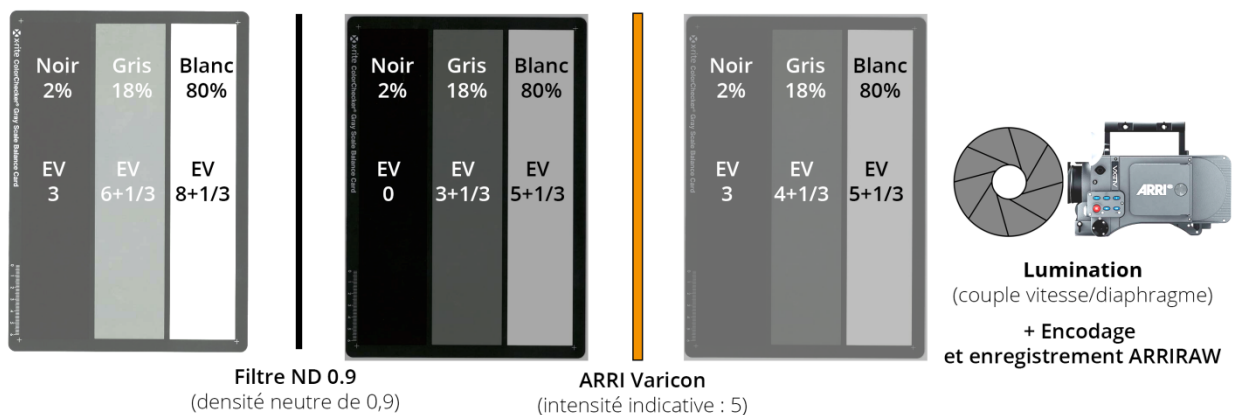


Figure 85. Schéma représentant l'évolution des luminances du sujet (sur l'échelle EV) en fonction des différents filtres, avant lumenation du capteur et enregistrement de l'image ARRIRAW.

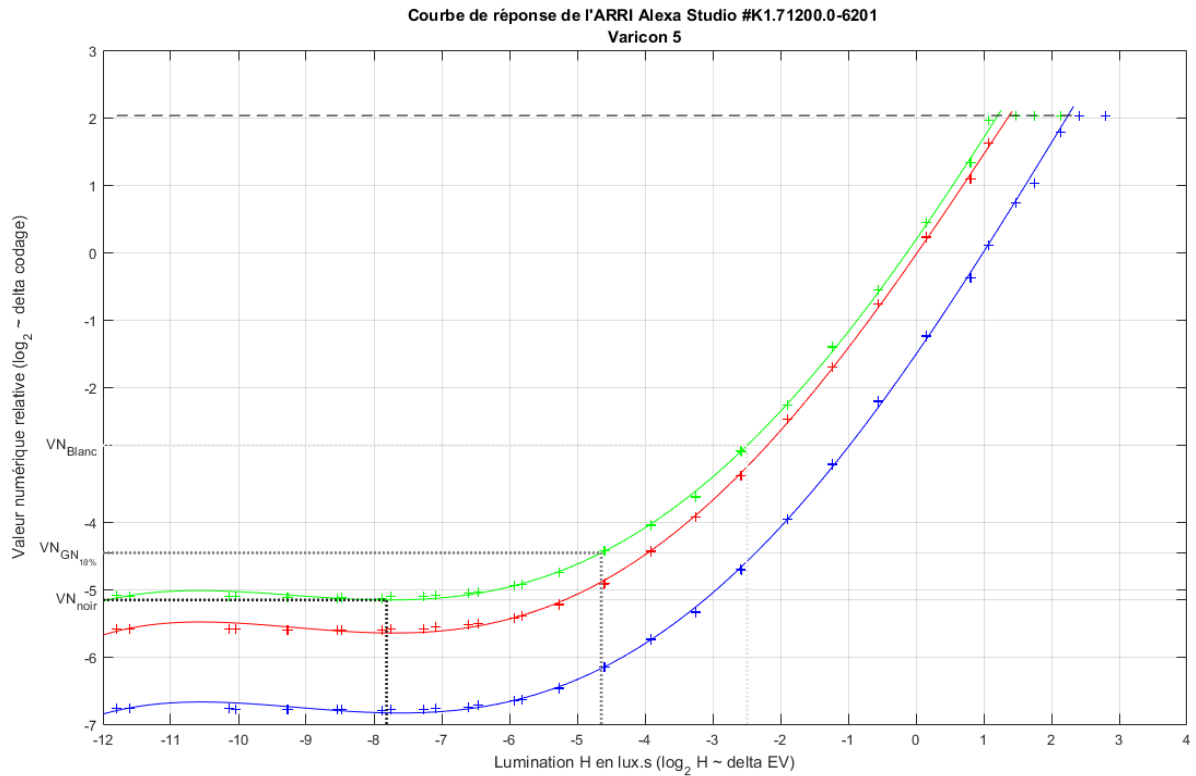


Figure 86. Courbe de réponse ARRI Alexa Studio avec ARRI Varicon à une intensité indicative de 5.

Les valeurs du sujet inférieures au gris moyen posé selon une sensibilité de 200 ISO sont largement compressées à l'enregistrement par l'effet du Varicon. Une autre possibilité que nous avons expérimentée est d'utiliser le Varicon à une intensité de 15 mais de choisir une densité neutre plus faible par rapport au sujet filmé. Nous posons ainsi les valeurs du sujet plus haut, les valeurs hautes se plaçant légèrement au-dessus de l'effet du Varicon :

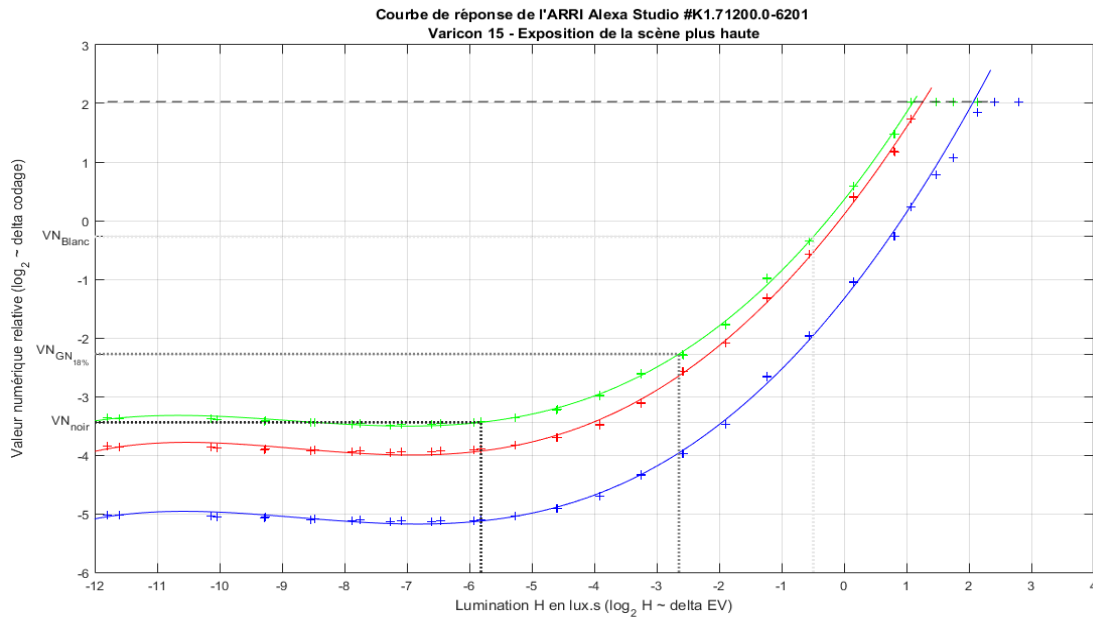


Figure 87. Courbe de réponse ARRI Alexa Studio avec ARRI Varicon à une intensité indicative de 15.

Le sujet est posé 2 EV au-dessus des indications de pose à 200 ISO.

Enfin, nous avons souhaité garder la possibilité d'agir sur le diaphragme de l'objectif afin de garder le contrôle de la profondeur de champ. L'encodage LogC de l'ARRIRAW dépend de la sensibilité indicative de la caméra (voir II.1.A.). Nos essais ayant été réalisés en laboratoire à une ouverture de T2.1, nous avons décidé de régler la caméra à EI 800 pour une ouverture de T4.0.

Le Varicon rend les choix de pose complexes, mais son effet est intéressant dans le cadre de notre étude. Nous devons filtrer la scène filmée à l'aide de densités neutres avant l'incidence du Varicon, afin que son éclaircissement s'ajoute de la manière désirée à la scène. Ainsi, nous obtenons une image décontrastée selon notre intention de rendu nocturne.

B. En couleurs : le filtre Day for Night

La vision scotopique est achromate. Cependant, rares sont les conditions, même au cœur d'une nuit extérieure rurale, où l'éclairage est si bas que notre appareil visuel ne répond que de manière scotopique. Dans un environnement nocturne rural, l'appareil visuel est plutôt maintenu dans le bas mésopique. Ainsi, une très légère impression colorée peut subsister. Par ailleurs, il serait difficile pour le spectateur d'accepter une image totalement achrome au sein d'un film en couleurs. C'est une des raisons pour laquelle une habitude cinématographique de l'image nocturne est de la teinter en bleu. Il y a peu de variations dans les informations colorées, mais la couleur existe, homogène.

Le filtre Day for Night est un filtre célèbre pour son utilisation dans le cadre éponyme d'une nuit américaine (*day for night* en anglais) : une nuit filmée en plein jour.

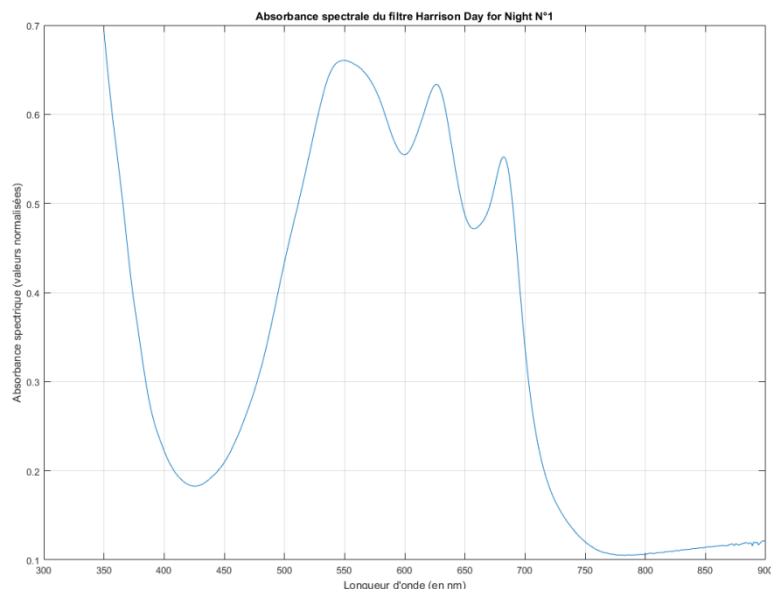


Figure 88. Absorbance spectrique du filtre Day for Night.

La série de filtres Day for Night dont nous disposons à l'école existe en trois valeurs. L'absorbance spectrique des trois filtres est sensiblement la même. Cependant, un effet de diffusion de plus en plus fort est intégré. Nous n'étudierons que le filtre Day for Night n°1, sans effet de diffusion.

Le Day for Night filtre majoritairement les longueurs d'onde de 500nm à 700nm, laissant la part belle aux courtes longueurs d'onde et aux grandes longueurs d'onde. Cette ouverture dans les rouges permet un rendu des carnations qui reste réaliste. En pleine nuit, si nous regardons notre main, elle paraît grise, vidée du sang qui coule à l'intérieur. Mais c'est une vision peu habituelle. C'est pourtant le rendu des peaux de *Pola X* et de *Twixt* par exemple.

Mis à part cette transmission des grandes longueurs d'onde, le Day for Night va dans le sens du déplacement de la sensibilité spectrale de l'œil dans un environnement nocturne. Cependant, là où l'œil perd sa capacité à discriminer les couleurs, le capteur que nous plaçons derrière le filtre, lui, continue d'analyser de manière trichromatique la lumière incidente. Ainsi, l'image présente une teinte bleue forte et homogène, mais qui porte une pureté colorimétrique qui va à l'encontre de la perception nocturne. Pour contrer cet effet, nous devons désaturer l'image en postproduction.

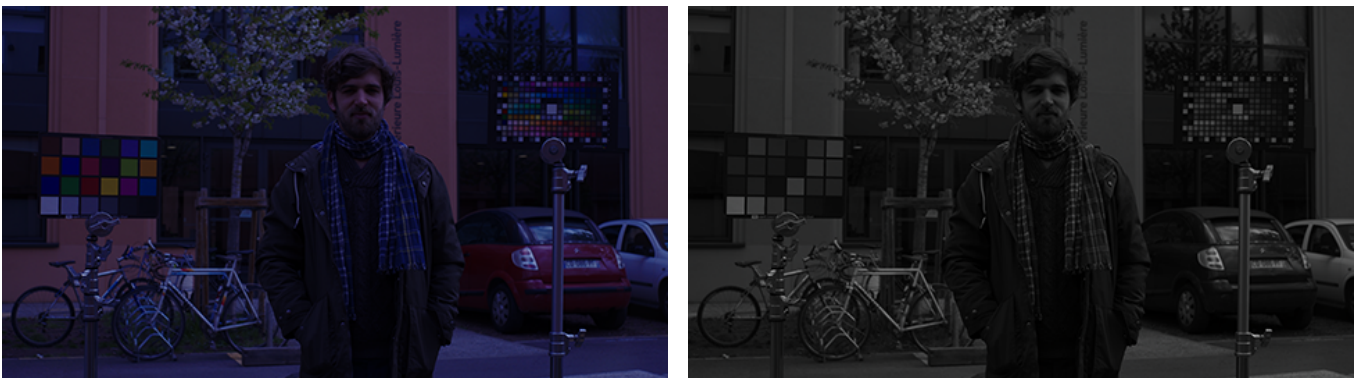


Figure 89. Image filtrée par le filtre Day for Night. Sans désaturation (à gauche) et avec désaturation (à droite).

LUT Arri LogC vers Rec.709 appliquée. Arri Alexa Studio, EI 200, T5.6, angle d'obturation 226,8°, 25im/s. Légèrement étalonnée en contrastes et en niveaux.

Comme dit plus haut, nous ne cherchons pas à rendre l'image totalement achrome. Au contraire, nous souhaiterions plutôt obtenir un mélange entre une image rendue achrome selon la tendance de la sensibilité spectrale scotopique de notre appareil visuel et une image rendant compte des couleurs de la scène.

Avec le filtre Day for Night, ce mélange est impossible car les couleurs ont été trahies avant l'enregistrement.

Nous préférons agir en postproduction, en utilisant une image normalement colorée que nous mélangerons à cette même image traitée selon les coefficients de pondération du mélange coloré trouvé au chapitre II.2.B, avant d'être teintée.



Figure 90. Image non filtrée. Sans corrections colorimétriques (à gauche) et avec corrections colorimétriques (à droite).

LUT Arri LogC vers Rec.709 appliquée. Arri Alexa Studio, EI 200, T5.6, angle d'obturation 90°, 25im/s. Légèrement étalonnée en contrastes et en niveaux.

Enfin, l'utilisation du filtre Varicon, par son éclaircissement uniforme blanc, dilue les couleurs de la scène. La pureté des couleurs est dégradée, ce qui va dans le sens de notre étude.



Figure 91. Capture d'image sans Varicon (à gauche) et avec Varicon 15 (à droite). LUT Arri LogC vers Rec.709 appliquée. Étalonée en contrastes et en niveaux pour que les images correspondent, avec de surcroît un niveau de noir « correct ».

2. Les contrastes et les couleurs de la scène

A. Le choix des décors et des costumes

Les valeurs des objets du décor et des costumes déterminent le contraste objet global. Ce contraste, avant l'intervention organisatrice de la lumière, est déjà un avantage ou une gêne dans notre recherche d'un rendu nocturne.

Les décors et les costumes sont un sujet d'intérêt majeur pour le directeur de la photographie. Sabine Lancelin, interrogée à propos du film *Sombre* de Philippe Grandrieux, affirme : « C'est un dialogue que j'ai toujours sur un film. Si tu as des décors, des costumes clairs, tu n'arrives pas à faire de la pénombre »⁴⁷. La question du contraste et de l'organisation des valeurs dans l'image revient, avec comme référence le visage des acteurs : « Dans la pénombre, pour que les scènes soient intéressantes, je veux voir le visage des acteurs. Donc si je sais que je sous-expose, c'est sur le visage que je veux que la lumière ressorte »⁴⁸.

Nous pouvons écrire avec la lumière et avec le décor et les costumes. En choisissant un vêtement clair, immaculé, au milieu d'un ensemble terne propre au rendu nocturne, ce vêtement paraîtra s'éclairer de lui-même. C'est un levier important que nous essaierons d'utiliser dans la pratique.

⁴⁷ Entretien réalisé avec Sabine Lancelin par téléphone le 13 avril 2016.

⁴⁸ Entretien réalisé avec Sabine Lancelin par téléphone le 13 avril 2016.



Figure 92. Costume foncé (à gauche) et costume clair (à droite). Décor contrasté.

LUT Arri LogC vers Rec.709 appliquée. Arri Alexa Studio, EI 200, T2.1, angle d'obturation 358°, 25im/s. Étalonnée en contrastes, image non filtrée au départ.

L'impression est différente pour chacune des situations. Si le costume clair peut être une gêne et trahir la véracité du rendu nocturne, c'est aussi un élément narratif de choix qui peut perturber le spectateur et l'interroger. C'est un trouble.

Le contraste chromatique de la scène, bien que l'image soit désaturée en postproduction, joue aussi dans les rapports des valeurs au sein de l'image. De grands contrastes chromatiques entraîneront une grande disparité des valeurs, bien qu'amoindrie par la suite. En apportant un contraste chromatique important, nous apportons un appui au détail, soit au contraste local.

Dans les images ci-dessus, la mire MacBeth présente des couleurs vives et variées. Sans cette mire, le rendu nocturne pourrait être plus crédible.

Dans *Sombre* de Philippe Grandrieux, les couleurs sont ternes, passées. C'est une résultante de la sous-exposition de la pellicule au tournage. Mais les choix de décors et de costumes vont dans ce sens. Les plans où ces choix vont à contresens du rendu nocturne, ce sont là les images les plus troublantes du film. Comme ce photogramme que nous avons analysé en I.3.D.

Nous pouvons arbitrer un choix. En utilisant des valeurs de décor et de costume sombres, denses, nous pouvons décider de ne pas dépasser un maximum qui correspondrait à un gris moyen 18%. Un visage caucasien serait

légèrement plus clair. Il se détacherait. Nous pourrions aussi utiliser cette particularité d'un élément blanc clair. De même, les valeurs les plus noires peuvent être évitées, afin de laisser une place aux ombres et afin de réduire encore le contraste sujet.

B. Le rôle de la lumière

La lumière hiérarchise. Elle organise, elle donne à voir et voir c'est extraire l'information de notre environnement. La nuit nous voyons moins. Pour reproduire cette sensation nous devons agir sur la lumière, la rendre moins discriminante. Nous devons agir sur le contraste éclairage.

Nous pouvons réduire ou couper un flux lumineux intense. Inversement, nous pouvons éclairer les zones les régions de la scène les moins lumineuses afin de compenser une source trop puissante. En extérieur jour, cette compensation peut exiger des moyens importants.

Nous avons mesuré au chapitre I.1.B. l'éclairage du soleil par rapport à celui du ciel qui lui est opposé. Nous obtenons un rapport de près de 16 fois, soit un contraste éclairage de 4 EV. Ajouté à un contraste objet statistique de $5 + \frac{1}{3}$ EV, nous obtenons un contraste sujet global de $9 + \frac{1}{3}$ EV.

Nous avons déjà décidé de réduire les écarts en contraste dans le décor et dans les costumes. Si nous réduisons le contraste objet à moins de 3 EV, nous obtenons encore un contraste sujet élevé.

Les brillances et les hautes valeurs sont le plus grand ennemi de l'impression nocturne dans l'image de la nuit rurale. Dans les habitudes de la technique de la nuit américaine, il est courant de chercher à diminuer la luminosité du ciel à l'aide de filtres dégradés neutres. De même, une brillance, une surface qui réfléchit le soleil ou le ciel, trahira facilement le jour qui se cache derrière la fausse nuit.

Dans le travail de mémoire récent réalisé par Loeiz Perreux, il a été démontré que choisir une journée grise, à la couverture nuageuse homogène, est une bonne approche pour réaliser une image de pénombre, celle de l'heure bleue, de l'heure entre chien et loup⁴⁹. La géométrie de la lumière correspond à celle d'un ciel uniformément bleu et le contraste d'éclairement est égal à un.

Nous pouvons imaginer une solution similaire pour le rendu nocturne d'une nuit noire, où la lune est absente du firmament ou couverte par une météo peu clémente. Malgré cela, nous l'avons vu, il convient de réduire encore le contraste du sujet. Nous pouvons penser à éclairer les ombres, à éviter les valeurs claires des objets de la scène considérée.

Pour une nuit lunaire, l'existence d'une direction de lumière affirmée et forte est cohérente. Une grande habitude au cinéma est de représenter la nuit lunaire par une direction latérale ou à contrejour. Nous renvoyons à l'étude des représentations de la nuit au cinéma du chapitre I.3.

L'éclairement de la lune ne s'exprimerait qu'en brillances, en réflexions spéculaires. Le soleil n'est donc pas l'ennemi d'un rendu nocturne. Son éclairement doit cependant être diminué. Car le contraste nocturne est faible et les valeurs de l'image doivent être basses. La nuit n'existe que par le noir. Une image décontrastée mais haute en valeurs ne paraîtra pas nocturne.

Le contraste image est bas et ancré dans les noirs. En cas de contrejour puissant, il nous faudrait tellement réduire les hautes valeurs que les valeurs les plus moyennes seraient enterrées et nous obtiendrions un effet de silhouette. À l'inverse, un fond trop clair réclamera de tellement descendre les avant-plans que nous obtiendrions un effet d'ombre chinoise.

Cette limite de contraste associée à des valeurs basses contraintes aux noirs est tout à fait caractéristique de l'image nocturne et va guider notre travail. Étudions deux images réalisées en studio. L'une a été fabriquée à partir d'une

⁴⁹ **PERREUX, Loeiz**, *La pénombre, une histoire de contraste et de couleur*, Mémoire sous la direction d'Alain Sarlat, École nationale supérieure Louis-Lumière, promotion Cinéma 2015.

scène éclairée de manière parfaitement diffuse tandis que la seconde, reprenant la même base d'éclairage que la première, a été relevée par un effet de contrejour.

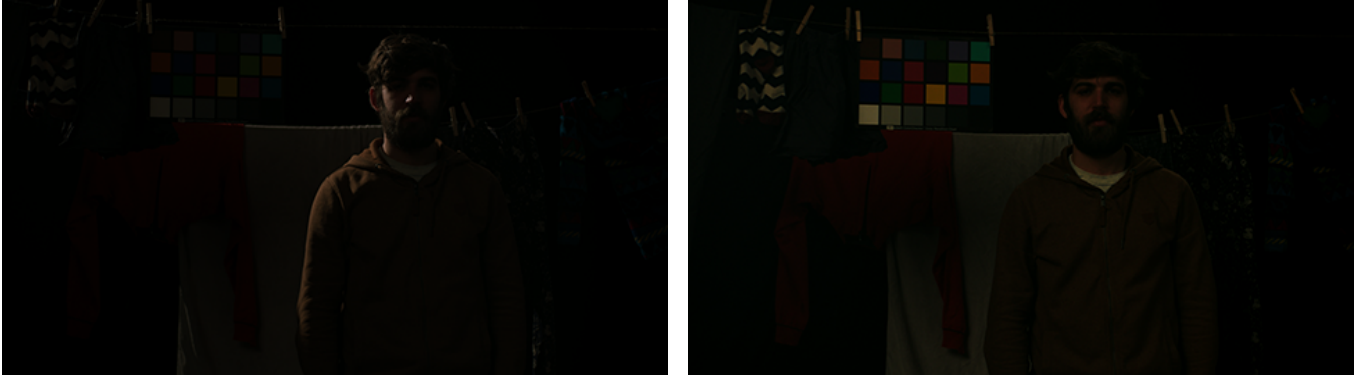


Figure 93. *Éclairage latéral contrejour (à gauche) et éclairage diffus (à droite).*
LUT Arri LogC vers Rec.709 appliquée. Arri Alexa Studio, EI 200, T2.1, angle d'obturation 180°, 25im/s. Étalonnée en contrastes, prise de vues filtrée avec l'ARRI Varicon.

Dans une image avec une direction marquée comme celle de gauche, les valeurs doivent être redescendues davantage à l'étalonnage afin d'obtenir le contraste image adéquat. Il reste cependant deux fois supérieur à l'image issue d'un éclairage diffus.

L'éclairage à contrejour ou latéral apporte une lisibilité de l'action supérieure.

3. Retour d'expérience : tournage en extérieur jour

Nous avons passé une journée dans la forêt domaniale de Marly afin de confronter nos choix de réalisation de l'image nocturne à partir d'une scène extérieure rurale diurne. La météo a été variable. Après une matinée couverte le soleil est apparu, régulièrement masqué par des passages nuageux. Cela nous a permis de faire face à plusieurs situations, parfois différentes d'une prise d'un même plan à une autre, et d'adapter en conséquence nos choix de prise de vues.

Le scénario a été réduit à son minimum et a consisté en l'errance d'un personnage. Les actions ont permis une variation des costumes, des valeurs et des compositions du cadre.

À partir des expériences expliquées précédemment, nous avons utilisé au tournage le filtre ARRI Varicon afin de poser le sujet de notre scène sur une courbe de réponse adoucie pour obtenir le rendu décontrasté d'une image nocturne. Les couleurs sont traitées en postproduction d'après les conclusions précédemment développées. Le travail du détail n'a pas pu être traité au moment du rendu de ce mémoire et sera présenté en projection.

Nous analyserons dans un premier temps les différentes conditions d'éclairage que nous avons rencontré, les choix de clarté des éléments de décor et de costume et les utilisations du Varicon. Nous en viendrons ensuite à exprimer le rôle des valeurs de cadre et de la composition. Enfin, nous exprimerons le problème de la visualisation au tournage d'une image qui porte nos intentions de rendu sans les résultats de l'étalonnage et qui est, par conséquent, difficilement lisible.

A. Des valeurs de la scène à la prise de vues

Le premier plan de notre essai a été tourné à la lisière de la forêt, sur la route. Le personnage se tient debout un moment, habillé d'une veste blanche, avant de pénétrer sous les arbres. Au début du plan, il est éclairé par un ciel dégagé avant de s'enfoncer sous l'ombre des arbres.

L'éclairement baisse de 4 EV entre le point de départ sur la route et le chemin dans l'ombre des arbres. Aucune compensation en cours de prise de vues n'a été réalisée.



Figure 94. Capture d'image de la forêt (plan 1) avec mires. Varicon allumé (à gauche) et éteint (à droite).

ARRI Alexa Studio, EI 800, 358° 25im/s, T4.0. Filtres : ND 1.2, Varicon 3. Images non étalonnées. Espace couleur : ARRI WideGamut, gradation LogC.

L'assistant caméra se tient, avec les mires, dans l'espace dégagé à la lisière de la forêt. L'effet du Varicon sur lui est minime. Les valeurs de la mire ColorChecker (bandes noire, grise, blanche) dans le canal vert, relevées à la pipette dans DaVinci Resolve, sont les suivantes :

	Varicon ON (3)	Varicon OFF
Noir	460	320
Gris	530	480
Blanc	650	640
Contraste Gris / Noir	1,15	1,50
Contraste Blanc / Gris	1,23	1,33

L'incidence supérieure du Varicon sur les valeurs basses est palpable : le contraste entre le gris et le noir est davantage impacté que celui entre le blanc et le gris.

Ce n'est cependant pas à cette position en lisière de forêt que l'éclairage du filtre a le plus d'impact. C'est bien sur les fonds, au cœur de la forêt, qui paraissent ici complètement effacés.

Nous n'avons bien sûr pas les moyens d'éclairer l'intérieur de la forêt. Le contraste d'éclairage entre la lisière et l'intérieur est nécessairement fort. Le défi était donc de choisir la force du Varicon en connaissance de cause et de placer notre sujet, qui s'exprime finalement en deux temps (extérieur forêt et intérieur), correctement. Le choix de la veste blanche nous a beaucoup aidés : le personnage disparaît sous l'ombre des arbres mais sa veste attrape notre regard.



Figure 95. Capture d'image de la forêt (plan 1).

ARRI Alexa Studio, EI 800, 358° 25im/s, T4.0. Filtres : ND 1.2, Varicon 3. Image étalonnée. LUT ARRI vers Rec.709. Valeurs EV relevées au tournage.



Figure 96. *Capture d'image de la forêt (plan 1).*

ARRI Alexa Studio, EI 800, 358° 25im/s, T4.0. Filtres : ND 1.2, Varicon 3. Image étalonnée. LUT ARRI vers Rec.709. Valeurs EV relevées au tournage.

Pour une intensité du Varicon de 3, un point pivot de $6+2/3$ EV peut être relevé. Au-dessus, les valeurs décrivent une gradation qui tend à être normale, soit celle de la caméra. En-dessous, la gradation s'affaïsse, la réponse de la caméra est impactée.

Un filtre Wratten 85 était constamment utilisé pour équilibrer la température de couleur de la scène avec celle de l'éclairage du Varicon. Le Wratten 85 implique une perte de $2/3$ EV. La valeur EV cible de ce point pivot devient alors $7+1/3$ EV.

Un point de la scène mesuré à $7+1/3$ EV viendra donc se placer à l'endroit voulu de notre courbe de réponse impactée par l'éclairage du Varicon. Le filtre ND 1.2 descend l'ensemble des valeurs de quatre points EV. La veste blanche se place au-dessus de la zone de force du filtre ARRI au début du plan. Il en va de même pour le visage du comédien.

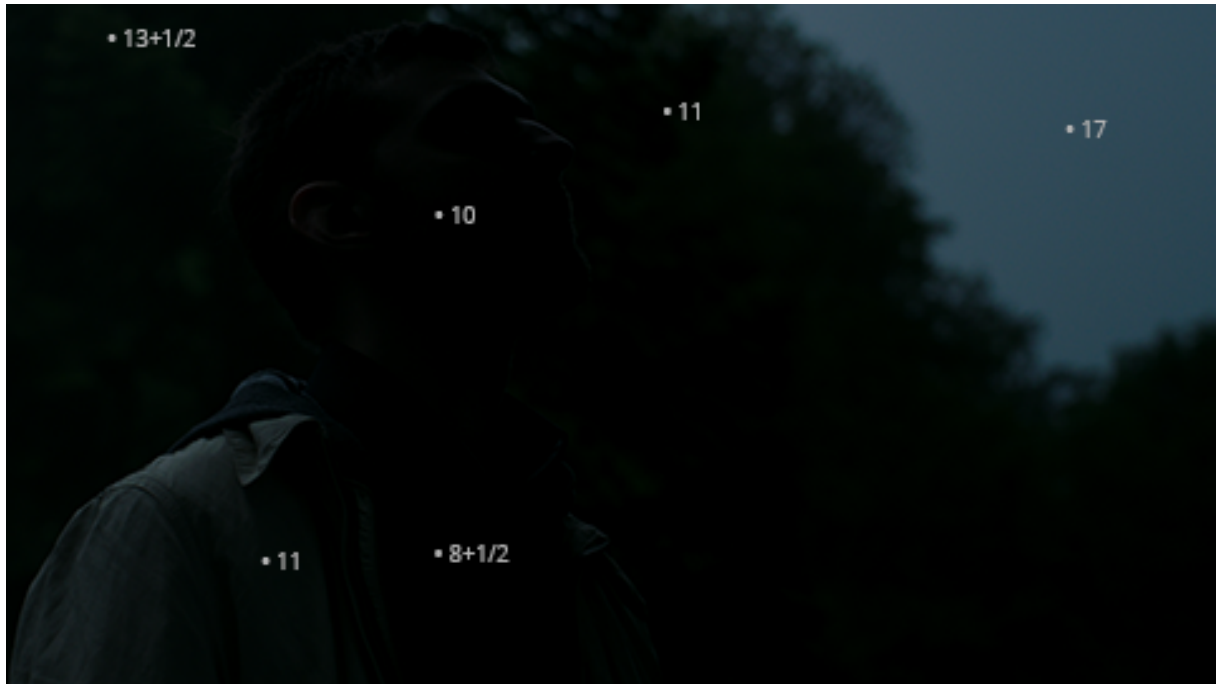


Figure 97. *Capture d'image de la forêt (plan 2).*

ARRI Alexa Studio, EI 800, 358° 25im/s, T4.0. Filtres : ND 1.2, Dégradé neutre 0.9, Varicon 5. Image étalonnée. LUT ARRI vers Rec.709. Valeurs EV relevées au tournage.

Dans ce plan, contrechamp du précédent, nous avons volontairement cadré une partie du ciel. Un ciel uniformément gris, lumineux. Nous avons utilisé un filtre dégradé neutre de densité 0.9 afin de réduire la luminance du ciel. Un filtre plus puissant aurait été préférable mais nous n'en avons pas prévu.

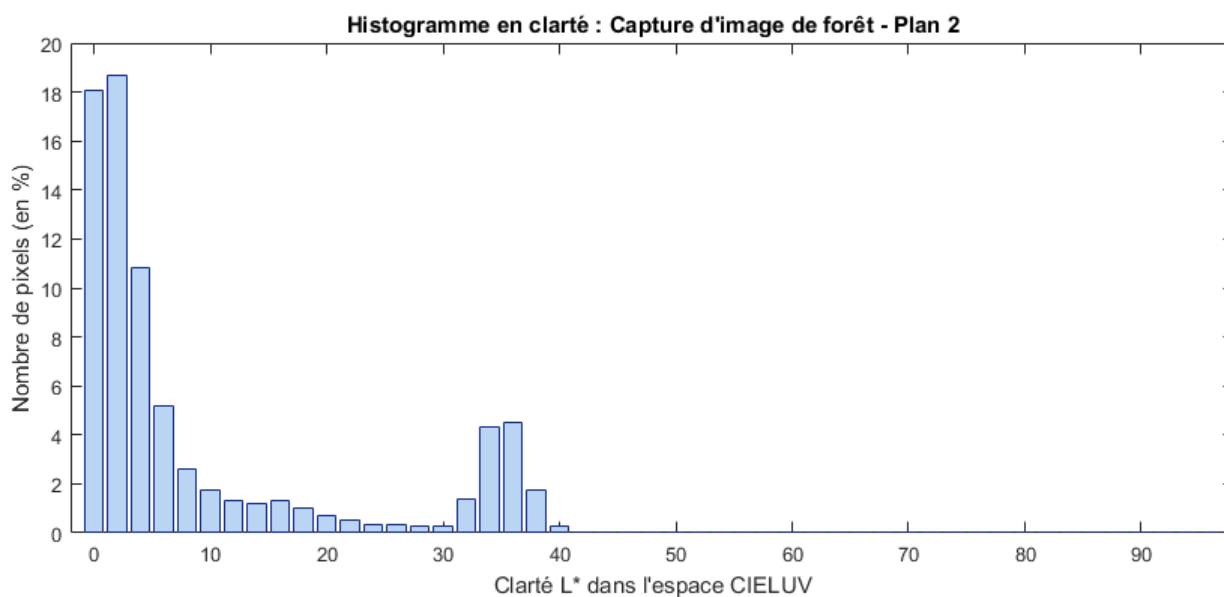


Figure 98. Histogramme en clarté L^* de la capture d'image précédente.

B. Composition des cadres et rapports de valeurs

La composition du cadre a une influence directe sur le travail d'éclairage et d'organisation des valeurs image du directeur de la photographie. « Je ne peux pas interroger la lumière de la nuit sans le cadre »⁵⁰. Nous avons déjà mentionné le fait que Sabine Lancelin énonçait la question que le visage doit se détacher du fond, en étant plus clair. C'est aussi quelque-chose qu'Eric Guichard nous a transmis dans le cadre d'un exercice : soit le visage est plus clair que le fond soit il est plus sombre, mais il doit s'en extraire.

Dans un plan très large de notre tournage, le personnage évolue entre les arbres et passe d'une zone très dense, l'ombre des arbres étant importante, à une zone beaucoup plus clairsemée. De plus, le soleil était de la partie.

Les luminances relevées allaient de 8 EV à 11 EV à l'ombre et de 8 EV à 13 EV au soleil. La partie ensoleillée du plan est très gênante pour notre rendu nocturne.

⁵⁰ Entretien réalisé avec Sabine Lancelin par téléphone le 13 avril 2016.

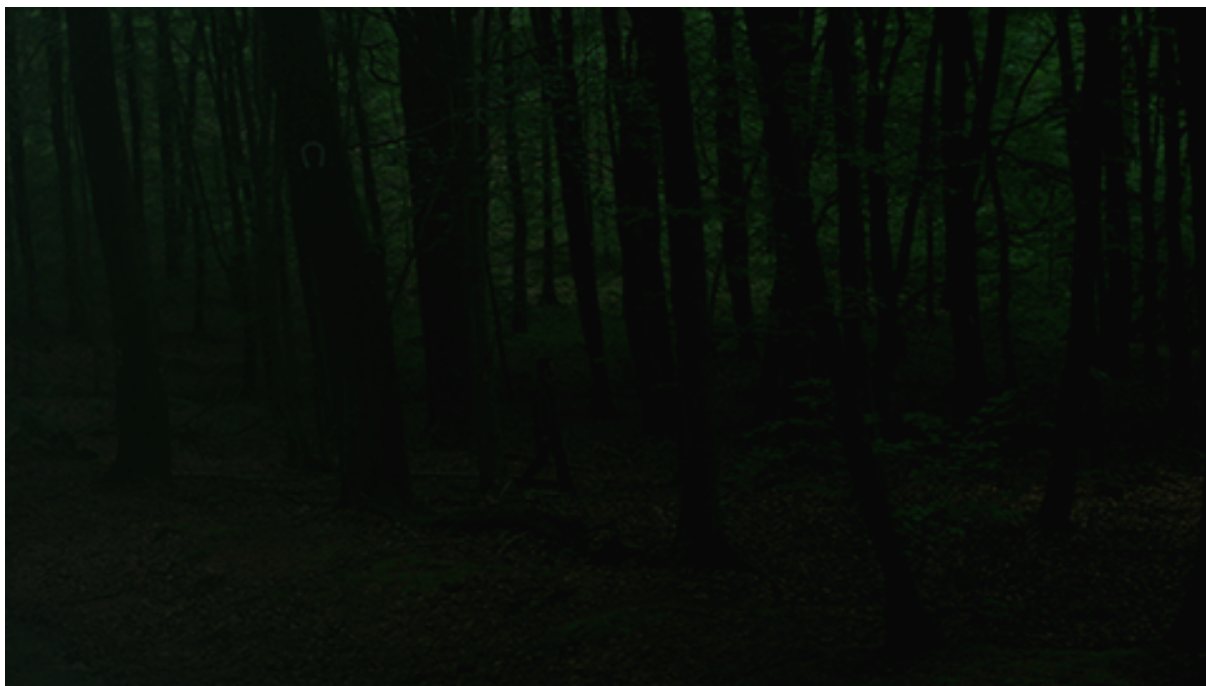


Figure 99. *Capture d'image de la forêt (plan 5).*
ARRI Alexa Studio, EI 800, 358° 25im/s, T4.0. Filtres : ND 1.2, Varicon 3. Image étalonnée. LUT ARRI vers Rec.709.

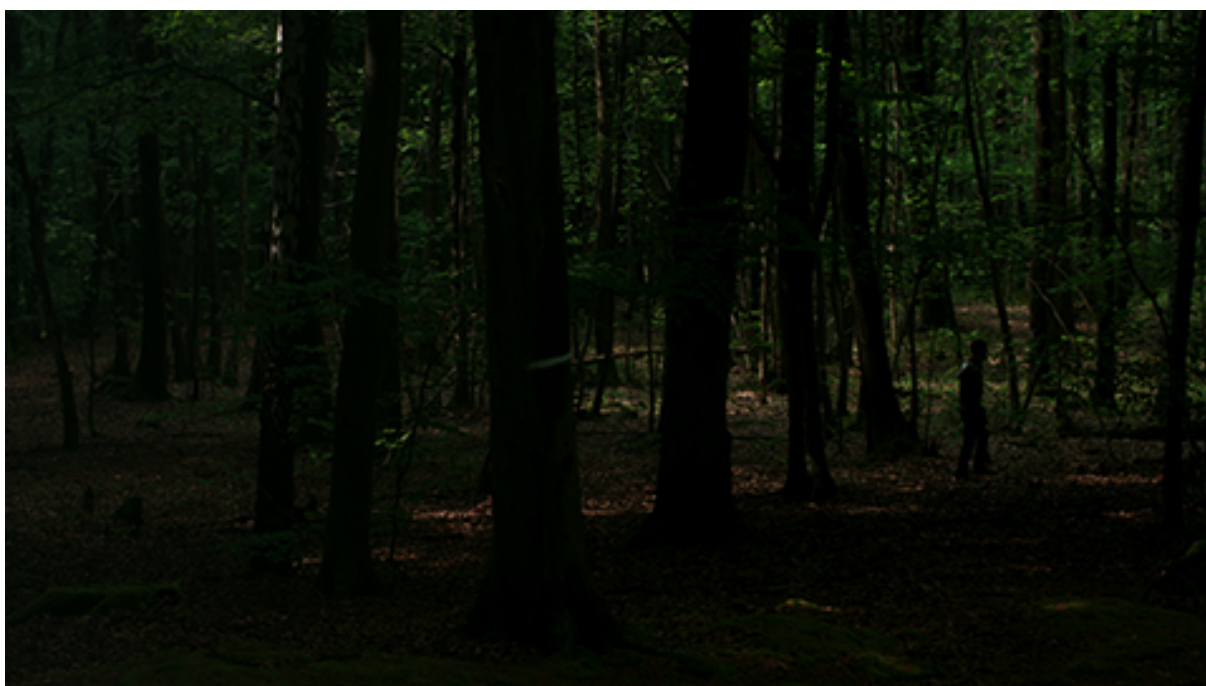


Figure 100. *Capture d'image de la forêt (plan 5).*
ARRI Alexa Studio, EI 800, 358° 25im/s, T4.0. Filtres : ND 1.2, Varicon 3. Image étalonnée. LUT ARRI vers Rec.709.

Enfin, nous avons fait l'erreur de ne pas éclairer le visage du comédien lors d'un plan assez serré, alors que le fond sur lequel son visage se détache est quasiment de même luminance. Encore une fois, le problème de la composition d'un point de vue des contrastes et de la lumière apparaît.



Figure 101. Capture d'image de la forêt (plan 7).

ARRI Alexa Studio, EI 800, 358° 25im/s, T4.0. Filtres : ND 1.5, Varicon 5. Image étalonnée. LUT ARRI vers Rec.709.

C. Voir le rendu d'image

« Grandrieux voulait cadrer en ne voyant rien. Savoir quand il allait vers la lumière et savoir quand il allait vers le noir. »⁵¹. Sabine Lancelin souligne ici l'importance de sentir la lumière afin de cadrer.

L'effet d'éclairage global du Varicon, associé à une pose qui rendait une image claire et colorée, était gênant pour se rendre compte de la réalité du rendu nocturne. Connaissant le rendu à attendre, il était possible de se projeter dans une imagination du rendu final. Il s'agit d'imaginer l'image.

⁵¹ Entretien réalisé avec Sabine Lancelin par téléphone le 13 avril 2016.

Nous avons d'ailleurs été parfois très convaincus, au viseur, du rendu donné par le Varicon, en conscience de son importance sur le contraste de l'image. Chercher le comédien et la composition du cadre au milieu de ce voile uniformément blanc éveillait le sentiment de désorientation que nous cherchons à obtenir dans les images de la nuit extérieure rurale.

En tant que directeur de la photographie, après de nombreux essais, il est possible de se satisfaire d'une visualisation non étalonnée de la prise de vues. Cependant, et s'il ne faut absolument pas s'en servir pour décider d'un choix en lumières ou en poses, là où le spotmètre doit faire loi, il peut être plus confortable de travailler avec un look de visualisation. C'est ce que nous comptons utiliser pour le travail de montage de cet essai en forêt. C'est une manière de ressentir l'atmosphère, qui ouvre un temps différent, des désirs de durées autres.



Figure 102. *Capture d'image de la forêt (plan 8). Dans le blanc de la nuit en devenir...*

ARRI Alexa Studio, EI 800, 358° 25im/s, T4.0. Filtres : Varicon 15. Image non étalonnée. Espace couleur : ARRI WideGamut, gradation LogC.

Conclusion

Nous souhaitons proposer une représentation de la nuit au cinéma et décider des moyens pour la réaliser. Nous avons choisi de tourner la nuit en plein jour afin de relever les caractéristiques essentielles qui différencient la nuit du jour et d'imposer cette métamorphose à nos images.

La caméra de prise de vues est conçue aujourd'hui de façon à enregistrer l'information d'une manière qui épouse celle de notre perception du monde diurne : gradation forte, rendu des couleurs par une analyse trichromatique, recherche de la netteté et de la discrimination des détails.

Le plus grand défi de notre travail a été d'exprimer l'appauvrissement de nos perceptions visuelles en milieu nocturne rural et d'en déceler les conséquences sur nos impressions de la nuit. Cette étude a permis d'établir un certain nombre de caractéristiques de l'image sur lesquelles nous pouvons faire levier afin de rappeler au spectateur le souvenir de ses sensations de la nuit profonde.

Car réaliser une image, c'est construire un souvenir. Le souvenir d'une impression, d'une sensation. Nous ne copions pas la réalité, nous l'exprimons au travers de nos outils de reproduction. La peinture a ses moyens. Le cinéma a les siens.

Nous avons pu approfondir l'affirmation de Philippe Rousselot que « raconter des histoires, c'est raconter des histoires de contrastes »⁵². Et l'image, c'est avant tout des contrastes, chromatiques et lumineux.

L'étude des contrastes, de l'appareil visuel à l'analyse du capteur caméra et jusqu'à l'image, a été au cœur de chacun de nos travaux. Les contrastes sont la clé de voûte de notre perception. Déterminer les contrastes de l'image, c'est donner à percevoir au spectateur de cinéma selon une intention créatrice.

⁵² **ROUSSELOT, Philippe**, *La sagesse du Chef opérateur*, Éditions Jean-Claude Béhar, 2013.

L'enregistrement RAW permet la capture de l'analyse du capteur caméra de la scène filmée. L'image n'est encore qu'un devenir, au contraire de la logique vidéo, portée actuellement par l'espace Rec.709, qui grave l'image dès son tournage. Nous pouvons alors opérer des choix que l'arbitrage d'un *workflow* nous permettra de conduire jusqu'à la salle de cinéma selon nos intentions de rendu.

Nous avons voulu agir sur l'analyse capteur afin d'orienter la fabrication des images. Le rendu nocturne recherché, si éloigné des caractéristiques natives de la caméra, devait prendre un détour avant d'être retrouvé sur l'écran de projection. La distinction entre analyse et image n'est pas choquante dans une chaîne argentique, où nous acceptons un négatif non visualisable qui révélera les intentions qu'il porte dans le positif de projection.

Cette volonté a porté ses fruits et nous a permis aussi de distinguer nettement les différents leviers à notre disposition : gradation, traitement des couleurs, détails, densité des valeurs.

Une autre réalité essentielle de l'image de la nuit est la place et la profondeur de ses noirs. De nombreux directeurs de la photographie se plaignent des noirs numériques avec le regret des noirs argentiques. « Des nuits comme en argentique, très douces, ça ne marche pas en numérique, ça devient gris et moche. Les nuits en numérique, je ramène plus de contraste, je donne un peu de direction à la lumière. C'est un grand regret »⁵³.

L'étude des noirs en numérique serait l'objet d'un mémoire entier et certainement davantage. Nous n'avons pas pu interroger cette dimension dans le cadre de notre travail.

Une récente interview de la directrice de la photographie Claire Mathon à propos de son travail sur *Rester vertical* d'Alain Guiraudie soulève les questions

⁵³ Entretien réalisé avec Sabine Lancelin par téléphone le 13 avril 2016.

de la représentation de la nuit au cinéma. En utilisant la caméra Varicam 35 de Panasonic à 5000 ISO, elle a pu tourner des nuits de pleine lune sans éclairage artificiel. Elle témoigne de son doute sur la véracité du rendu d'une telle image de la nuit, où tout est trop visible et chaud⁵⁴ et conclut : « Parfois quand tout est "naturel", les choses ont curieusement l'air artificiel »⁵⁵.

Le capteur n'est pas l'œil humain. Il ne tient pas compte de notre perception et capte froidement l'environnement lumineux. Ce sont les intentions du réalisateur et du directeur de la photographie qui structurent réellement une image, qui la modèlent dans le sens du rendu désiré. Le spectateur ne connaît pas la nuit de pleine lune analysée par une caméra hyper sensible. Il connaît celle qu'il a perçue. Son expérience est individuelle et influencée par son environnement culturel.

Les caméras de très haute sensibilité, telles que la Canon ME20F-SH estimée à plus de quatre millions d'ISO, permettent de retranscrire les valeurs d'une scène nocturne, en luminances et en couleurs, d'une manière similaire à une scène diurne. Une expérience que nous n'avons pas pu mener consistait à effectuer deux prises de vues de la même scène : l'une en plein jour et l'autre en pleine nuit, en choisissant par exemple la place du soleil dans le ciel identique à celle de la lune. Nous aurions pu observer deux images très similaires dans leur richesse du rendu des couleurs de la scène et dans leur contraste.

Voir la nuit comme le jour n'a à priori pas d'intérêt pour notre étude. Elle en a pour l'observation de la faune nocturne. Cependant, nous pourrions appliquer à de telles images la même logique que celle décrite dans ce mémoire. C'est-à-dire transformer une scène équivalente diurne en une image nocturne par le travail des contrastes, des détails, des niveaux et des couleurs. En effet, s'il est très

⁵⁴ La température de couleur corrélée de l'éclairage lunaire est de l'ordre de 4500K. Si la balance des blancs de la caméra est réglée pour un usage classique extérieur, soit autour de 5600K, alors le rendu des couleurs sera chaud.

⁵⁵ **MATHON, Claire**, « La directrice de la photographie Claire Mathon, AFC, parle de son travail sur "Rester vertical" d'Alain Guiraudie », site web de l'AFC, <http://www.afcinema.com/La-directrice-de-la-photographie-Claire-Mathon-AFC-parle-de-son-travail-sur-Rester-vertical-d-Alain-Guiraudie.html?lang=fr>, consultation du 16 mai 2016.

difficile de manipuler le contraste éclairé d'une scène éclairée par le soleil et par le ciel diurne, c'est bien plus aisé en pleine nuit. L'incidence des projecteurs disponibles aujourd'hui serait bien supérieure qu'en plein jour. Nous pourrions donc compenser l'éclairage naturel par l'éclairage artificiel avec des moyens raisonnables.

Nous voyons que la portée de l'étude de la réalisation d'une image de la nuit à partir d'une scène diurne va bien au-delà de ce cas très particulier. La langue des contrastes est universelle dans le monde des images, car elle lie ensemble la lumière, nos perceptions et les représentations du monde que nous réalisons.

Bibliographie

Ouvrages généraux

BANU, Georges, *Nocturnes : Peindre la nuit, Jouer dans le noir*, Biro, 2005.

BERNANOS, Georges, *Sous le soleil de Satan*, Le livre de poche, 2012, date de parution : 1926.

DIDI-HUBERMAN, Georges, *Survivance des lucioles*, Les Éditions de Minuit, 2009.

ROUSSELOT, Philippe, *La sagesse du Chef opérateur*, Éditions Jean-Claude Béhar, 2013.

Ouvrages techniques et scientifiques

BELLAÏCHE, Philippe, *Les secrets de l'image vidéo*, 8^{ème} édition, Eyrolles, 2012.

DARWIN Charles, *De l'origine des espèces*, Ligarán, 2015

DUFAY, Jean, *Introduction à l'astrophysique des étoiles*, Armand Colin, Paris, 1961.

RCA Electro-Optics Handbook, RCA, 1974.

FOURNIER, Jean-Louis, *La sensitométrie, les sciences de l'image appliquées à la prise de vues cinématographique*, Éditions Dujarric.

HUBEL, David, *L'œil, le cerveau et la vision – Les étapes cérébrales du traitement visuel*, Pour la Science, 1994.

LE GRAND, Yves, *Optique physiologique : Tome 2, Lumière et couleurs*, 2^{ème} édition, Paris, Masson, 1972.

REUMONT, François, *Le guide image de la prise de vues cinéma*, Éditions Dujarric, 2006.

RODIECK, Robert W., *La vision*, traduction de la 1^{ère} édition américaine par Françoise Koenig-Supiot et Olivier Thoumine, De Boeck Diffusion, 2003.

SÈVE, Robert, *Science de la couleur, Aspects physiques et perceptifs*, Chalagam Édition, 2009.

Sites internet

AUMONT, Jacques, *Bleu nuit*, cours donné et enregistré au Forum des Images, le vendredi 22 mai 2015, consultable sur <http://www.forumdesimages.fr/les-programmes/toutes-les-rencontres/cours-de-cinema-bleu-nuit-par-jacques-aumont> (consultation du 16 mai 2016).

MATHON, Claire, « La directrice de la photographie Claire Mathon, AFC, parle de son travail sur "Rester vertical" d'Alain Guiraudie », site web de l'AFC, <http://www.afcinema.com/La-directrice-de-la-photographie-Claire-Mathon-AFC-parle-de-son-travail-sur-Rester-vertical-d-Alain-Guiraudie.html?lang=fr>, consultation du 16 mai 2016.

THOMSON, Jonathan, <https://jethomson.wordpress.com>, consultation du 10 mai 2016.

Thèses et Mémoires non publiés

PERREUX, Loeiz, *La pénombre, une histoire de contraste et de couleur*, Mémoire sous la direction d'Alain Sarlat, École nationale supérieure Louis-Lumière, promotion Cinéma 2015.

SOUCHON, Audrey, *Influence des phases amorphes dans la réponse optique des régolites planétaires : caractérisation des propriétés et application à l'étude géologique de la Lune*, Thèse sous la direction de Patrick Pinet, Lionel d'Uston, Serge Chevrel, Université de Toulouse, Planétologie, soutenue le 9 mars 2012.

Documentation technique

ARRI : *ALEXA LOG C Curve – Usage in VFX*, 2 août 2012.

Blackmagic Design : manuel de DaVinci Resolve 11 (version du 24 mars 2015).

Minolta : Fiche technique du spectroradiomètre CS2000 (consultation du 16 mai 2016).

Filmographie

CARRAX, Leos, *Pola X*, France, 1999, 134 minutes, 35mm couleurs. Directeur de la photographie : Éric Gauthier.

FORD COPPOLA, Francis, *Twixt*, États-Unis, 2011, 90 minutes, numérique couleurs. Directeur de la photographie : Mihai Milamaire Jr.

GRANDRIEUX, Philippe, *Sombre*, Français, 1998, 112 minutes, argentique couleurs. Directrice de la photographie : Sabine Lancelin.

LAUGHTON, Charles, *The Night of the Hunter (La Nuit du chasseur)*, États-Unis, 93 minutes, 35mm noir et blanc. Directeur de la photographie : Stanley Cortez.

MILLER, Georges, *Mad Max : Fury Road*, Australie, États-Unis, 2015, 120 minutes, numérique couleurs. Directeur de la photographie : John Seale.

PIALAT, Maurice, *Sous le soleil de Satan*, France, 1987, 108 minutes, argentique couleurs. Directeur de la photographie : Willy Kurant.

SPIELBERG, Steven, *Close Encounters of the Third Kind (Rencontres du troisième type)*, États-Unis, 1977, 129 minutes, 35mm couleurs. Directeur de la photographie : Vilmos Zsigmond.

WEERASETHAKUL, Apichatpong, *Sud pralad (Tropical Malady)*, Thaïlande, 2004, 35mm couleurs. Directeurs de la photographie : Jean-Louis Vialard, Vichit Tanapnitch et Jarin Pengpanitch.

Table des illustrations

Figure 1. Sous le soleil de Satan, réalisé par Maurice Pialat et photographié par Willy Kurant.....	9
Figure 2. Mouvement de la Lune autour de la Terre.....	17
Figure 3. Photographie prise à la surface de la Lune par l'astronaute Eugene Cernan lors de la mission Apollo 17.....	20
Figure 4. Évolution de l'éclairement lunaire en fonction de la phase de la lune.	21
Figure 5. Carte de pollution lumineuse.....	25
Figure 6. Mesures en luminance spectrique d'un blanc de référence tourné à 45° vers le ciel durant la tombée de la nuit.	27
Figure 7. Mesure directe de la lune en luminance spectrique.....	28
Figure 8. Mesure directe du ciel en luminance spectrique.....	29
Figure 9. Mesures en luminance spectrique en plein jour.	30
Figure 10. Mesures en luminance spectrique durant une nuit lunaire.	31
Figure 11. Coupe de l'œil humain.....	33
Figure 12. Voie visuelle de l'œil au cortex visuel primaire.....	35
Figure 13. Courbe d'adaptation (valeur moyenne en trait plein, maxima normaux en pointillés).....	36
Figure 14. Densité spatiale des bâtonnets en surimpression de celle des cônes.....	37
Figure 15. Courbes de sensibilité relative des photorécepteurs rétiniens en fonction de la longueur d'onde.	38
Figure 16. Schéma de principe du processus de vision des couleurs.....	39
Figure 17. Simulation de l'effet Purkinje sur l'apparence visuelle d'un géranium.....	40
Figure 18. Cellule ganglionnaire à centre-ON (à gauche), à centre-OFF (à droite) et représentation d'un recouvrement de deux champs récepteurs.....	41
Figure 19. Bandes de Mach.	42
Figure 20. Représentation simplifiée d'un cône (à gauche) et d'un bâtonnet (à droite)..	43
Figure 21. Simulation de la distribution des photons sur la rétine pendant une seconde.	47
Figure 22. Simulation de la distribution des photons sur la rétine pendant une seconde avec génération du gris intrinsèque.	48
Figure 23. Pola X, réalisé par Leos Carrax et photographié par Eric Gauthier (1999).	51
Figure 24. Histogramme en clarté L^* pour la scène de jour de Pola X.....	53
Figure 25. Histogramme en teinte h et en chroma C^* pour Pola X.....	53
Figure 26. Pola X, réalisé par Leos Carrax et photographié par Eric Gauthier (1999).	54
Figure 27. Histogramme en clarté L^* pour la scène de jour de Pola X.....	55

Figure 28. Histogramme en teinte h et en chroma C* de Pola X.....	56
Figure 29. Représentations en valeurs de chroma C* d'une scène diurne et d'une scène nocturne de Pola X.	57
Figure 30. Rencontres du troisième type, réalisé par Steven Spielberg et photographié par Vilmos Zsigmond (1977).	58
Figure 31. Représentations en clarté des deux photogrammes de Rencontres du troisième type.	58
Figure 32. Histogramme en teinte h de Rencontres du troisième type.	59
Figure 33. Tropical Malady, réalisé par Apichatpong Weerasethakul et photographié par Jean-Louis Vialard, Vichit Tanapanitch et Jarin Pengpanitch (2004).	60
Figure 34. Histogramme en clarté L* de l'image de Tropical Malady	61
Figure 35. Histogramme en clarté L* de l'image de Tropical Malady, limité pour un maximum de 0,5% de clarté.	61
Figure 36. La nuit du chasseur, réalisé par Charles Laughton et photographié par Stanley Cortez.	63
Figure 37. Histogramme en clarté L* de La nuit du chasseur.....	63
Figure 38. Twixt, réalisé par Francis Ford Coppola et photographié par Mihai Milamaire Jr. (2011).	64
Figure 39. Histogramme en clarté L* de Twixt.....	65
Figure 40. Histogramme en teinte h de Twixt.	65
Figure 41. Twixt, réalisé par Francis Ford Coppola et photographié par Mihai Milamaire Jr. (2011).	66
Figure 42. Histogramme en clarté L* de Twixt.....	67
Figure 43. Mad Max : Fury Road, réalisé par George Miller et photographié par John Seale.	67
Figure 44. Histogramme en clarté L* d'une scène nocturne de Mad Max : Fury Road....	68
Figure 45. Mad Max : Fury Road, réalisé par George Miller et photographié par John Seale.	69
Figure 46. Histogramme en clarté L* d'une scène diurne de Mad Max : Fury Road.....	69
Figure 47. Représentation en clarté L* d'une scène nocturne de Mad Max : Fury Road (à gauche) et d'une scène diurne (à droite).	69
Figure 48. Histogramme en teinte h de Mad Max : Fury Road pour une scène nocturne.	70
Figure 49. Histogramme en teinte h de Mad Max : Fury Road pour une scène diurne...	71
Figure 50. Sombre, réalisé par Philippe Grandrieux et photographié par Sabine Lancelin.	72
Figure 51. Histogramme en clarté L* de Sombre.	72
Figure 52. Histogramme en teinte h de Sombre.....	73

Figure 53. Sombre, réalisé par Philippe Grandrieux et photographié par Sabine Lancelin.	74
Figure 54. Histogramme en clarté L^* de Sombre.	74
Figure 55. Histogramme en teinte h de Sombre.....	75
Figure 56. Signal LogC en fonction du signal linéaire d'entrée.	83
Figure 57. Modulateur en incréments de 0,15 points de densité.	85
Figure 58. Courbe de réponse de l'ARRI Alexa Studio #K1.71200.0-6201.....	87
Figure 59. Représentation de la matrice de Bayer.....	88
Figure 60. Image RAW agrandie : Arri Alexa.	89
Figure 61. Sensibilité spectrale de l'ARRI Alexa Studio n°6201 en fonction de la longueur d'onde.....	91
Figure 62. Représentation d'un illuminant D65.	92
Figure 63. Courbe des polynômes des canaux rouge et bleu en fonction de la température corrélée.....	93
Figure 64. Agrandissement d'une image débayerisée par ARRIRAW Converter.	95
Figure 65. Analyse du bruit inter-images pour un pixel du canal vert n°1 dans la dixième plage du modulateur n°2.	97
Figure 66. Mire de sensibilité au contraste et aux détails.	99
Figure 67. Exemple de tracé des courbes de sensibilité au contraste et aux détails.	100
Figure 68. Échantillons de test dans l'espace sRGB, identifiés selon l'atlas de couleur de Munsell.....	103
Figure 69. Représentation dans l'espace CIELUV des échantillons de test.....	103
Figure 70. Écart de clarté entre les mesures des échantillons colorés et les clartés des cartons neutres associés.	105
Figure 71. Histogrammes pour chacun des échantillons colorés.	106
Figure 72. Dégradé linéaire du noir au blanc.	111
Figure 73. L'outil « Courbes » de DaVinci Resolve 11 Lite.....	112
Figure 74. Courbe neutre, sans effets (a), courbe modifiée (b), courbe modifiée correspondant à une baisse de contraste (c).	112
Figure 75. Dégradé linéaire modifié par les courbes présentées à la figure 60.....	113
Figure 76. Curseur de contraste et de pivot (a), image modifiée par un contraste de 0.250 et un pivot de 0 (b), image modifiée par un contraste de 0.250 et un pivot de 0.500 (c).....	113
Figure 77. Outils « Color Wheels » de Davinci Resolve.....	114
Figure 78. « RGB Mixer » ou mélangeur de couches de DaVinci Resolve 11 Lite.....	115
Figure 79. Exemple de LUT 1D appliquée à une image RVB.	117
Figure 80. Photographie du filtre ARRI Varicon allumé.....	121
Figure 81. Photogrammes sans Varicon (à gauche) et avec Varicon (à droite).....	122

Figure 82. Photogrammes étalonnés sommairement sans Varicon (à gauche) et avec Varicon (à droite).	123
Figure 83. Extraits du modulateur d'incrément 0,10 points de densité.....	123
Figure 84. Représentation de la force du Varicon dans les trois canaux, à quatre intensités différentes.	124
Figure 85. Schéma représentant l'évolution des luminances du sujet (sur l'échelle EV) en fonction des différents filtres, avant l'illumination du capteur et enregistrement de l'image ARRIRAW.	125
Figure 86. Courbe de réponse ARRI Alexa Studio avec ARRI Varicon à une intensité indicative de 5.	126
Figure 87. Courbe de réponse ARRI Alexa Studio avec ARRI Varicon à une intensité indicative de 15.	127
Figure 88. Absorbance spectrique du filtre Day for Night.....	128
Figure 89. Image filtrée par le filtre Day for Night. Sans désaturation (à gauche) et avec désaturation (à droite).	129
Figure 90. Image non filtrée. Sans corrections colorimétriques (à gauche) et avec corrections colorimétriques (à droite).....	130
Figure 91. Capture d'image sans Varicon (à gauche) et avec Varicon 15 (à droite).	130
Figure 92. Costume foncé (à gauche) et costume clair (à droite). Décor contrasté.....	132
Figure 93. Éclairage latéral contrejour (à gauche) et éclairage diffus (à droite).	135
Figure 94. Capture d'image de la forêt (plan 1) avec mires. Varicon allumé (à gauche) et éteint (à droite).....	137
Figure 95. Capture d'image de la forêt (plan 1).....	138
Figure 96. Capture d'image de la forêt (plan 1).....	139
Figure 97. Capture d'image de la forêt (plan 2).....	140
Figure 98. Histogramme en clarté L^* de la capture d'image précédente.	141
Figure 99. Capture d'image de la forêt (plan 5).....	142
Figure 100. Capture d'image de la forêt (plan 5).....	142
Figure 101. Capture d'image de la forêt (plan 7).....	143
Figure 102. Capture d'image de la forêt (plan 8). Dans le blanc de la nuit en devenir...	144
Figure 103. Étude de la précision des mesures de luminance visuelle du spectroradiomètre CS2000.	158
Figure 104. Étude de la dispersion des mesures de luminance spectrique énergétique du spectroradiomètre CS2000.....	160
Figure 105. Carte des valeurs de luminance du Varicon pour une intensité de 15.....	164

Annexes

Étalonnage du spectroradiomètre CS2000

Pour effectuer nos mesures, nous avons utilisé le spectroradiomètre Minolta CS2000. Minolta définit le CS2000 comme capable d'afficher une mesure tous les nanomètres, de 380nm à 780nm, avec une bande passante de mesure de 5nm ou moins, d'une luminance de $3 \cdot 10^{-3}$ à 5000 $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ pour un angle de champ de mesure de 1° , avec une précision de plus ou moins 2%. Il est par ailleurs capable d'afficher une luminance mesurée de $2 \cdot 10^{-5}$ $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$. Toutes ces données sur le domaine de validité de l'appareil sont données par rapport à l'illuminant A, qui est une source incandescente, pauvre dans les courtes longueurs d'onde.

Il a fallu vérifier les capacités de l'appareil, sa répétitivité (justesse et fidélité de plusieurs mesures répétées dans les mêmes conditions) et sa reproductibilité (justesse et fidélité de plusieurs mesures répétées dans des conditions différentes, après avoir démonté et remonté entièrement le dispositif de mesure par exemple). Pour cela, nous avons mesuré une source étalon correspondante à l'illuminant A. Par un système de fermeture au diaphragme, nous sommes capables d'ajuster son intensité sans en modifier sa qualité. Une mesure de la luminance et de la température de couleur corrélée est intégrée au dispositif de la source étalon. Nous pouvons alors, par comparaison, observer les écarts entre la luminance visuelle mesurée par le spectroradiomètre CS2000 et la luminance visuelle annoncée par le dispositif de la source étalon.

La mesure de la source étalon s'appuie sur l'observateur standard CIE 1931 2° . À partir des luminances spectrales énergétiques mesurées par le spectroradiomètre, nous avons calculé la luminance visuelle résultante pour l'observateur standard 2° .

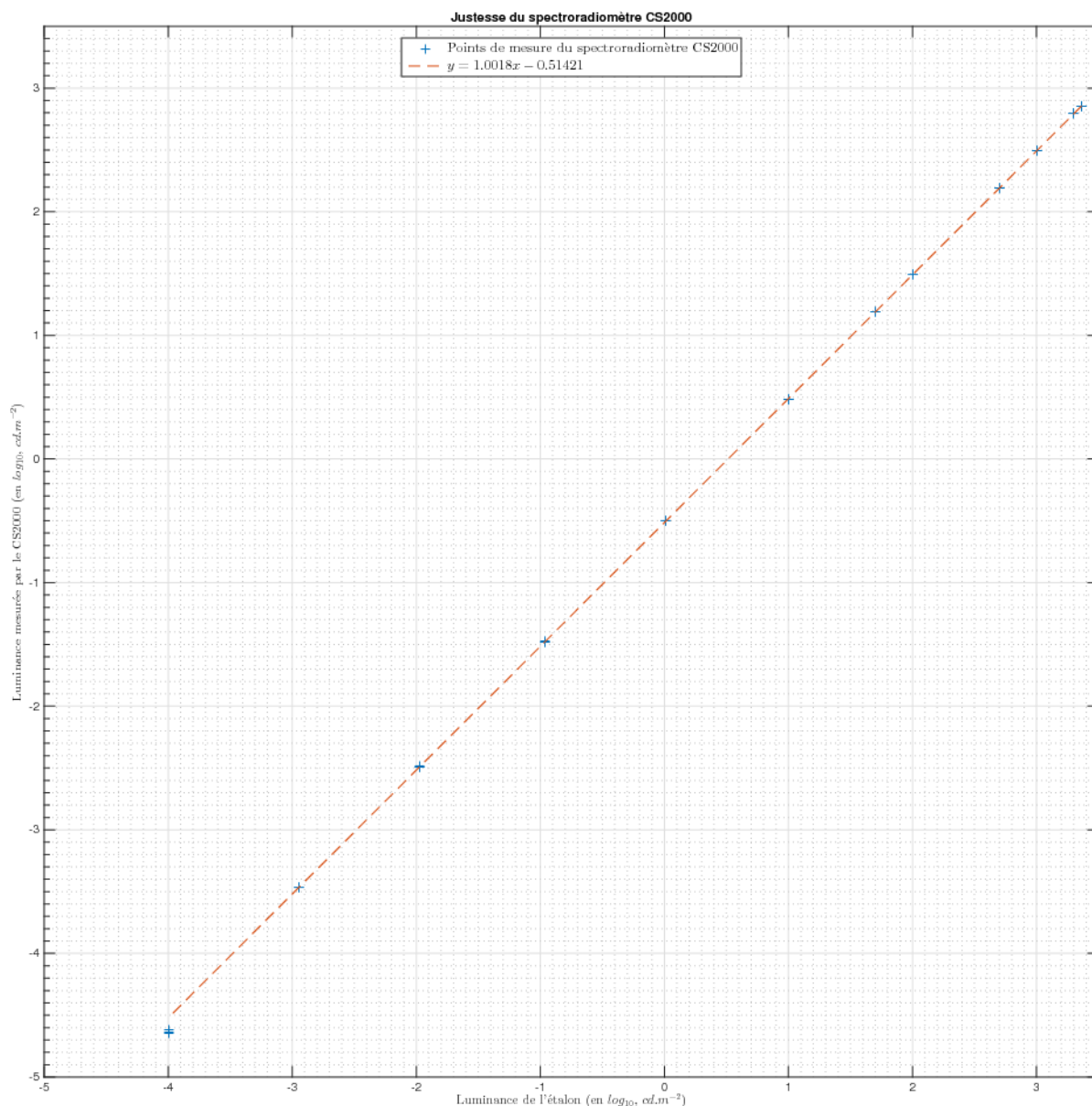


Figure 103. Étude de la précision des mesures de luminance visuelle du spectroradiomètre CS2000.

Le CS2000 est précis jusqu'à 10^{-3} cd.m^{-2} . À 10^{-4} cd.m^{-2} , le CS2000 perd en précision. La droite a été interpolée à partir des mesures allant de 10^{-3} cd.m^{-2} à 1000 cd.m^{-2} .

Étude réalisée au laboratoire de sensitométrie de l'ENS Louis-Lumière.

La luminance visuelle se calcule à partir des données CIE de l'observateur standard 2° par pondération des mesures de luminance spectrique énergétique du spectroradiomètre et par l'application d'un coefficient d'efficacité lumineuse

maximale de l'œil humain égal à 683 lm.W^{-1} dans le domaine photopique. Nous passons ainsi de l'énergie radiométrique à la luminance visuelle photopique par le calcul suivant :

$$Y = 683 \int_{350}^{800} R(\lambda).S(\lambda).\bar{y}(\lambda)d\lambda$$

\bar{y} : fonction de mélange de l'observateur standard 2°,

R : réflectance spectrale de l'objet,

S : irradiance spectrale de la source.

La fonction de mélange \bar{y} a été déterminée par la CIE pour être égal à la fonction d'efficacité lumineuse photopique de l'œil humain $V(\lambda)$. Son intégration est égale à Y et correspond à la luminance visuelle, exprimée en cd.m^{-2} . Les fonctions \bar{x} et \bar{z} complètent le modèle CIE 1931 de l'analyse trichromatique du spectre lumineux.

Nous avons vérifié la capacité du spectroradiomètre CS2000 à établir un résultat précis en luminance visuelle. Nous n'avons donc étudié sa précision qu'au travers d'une seule des trois fonctions de mélange. Afin d'étudier sa précision au regard des fonctions de mélange \bar{x} et \bar{z} , nous représentons la dispersion des mesures effectuées et normalisées pour toutes les intensités de la source étalon.

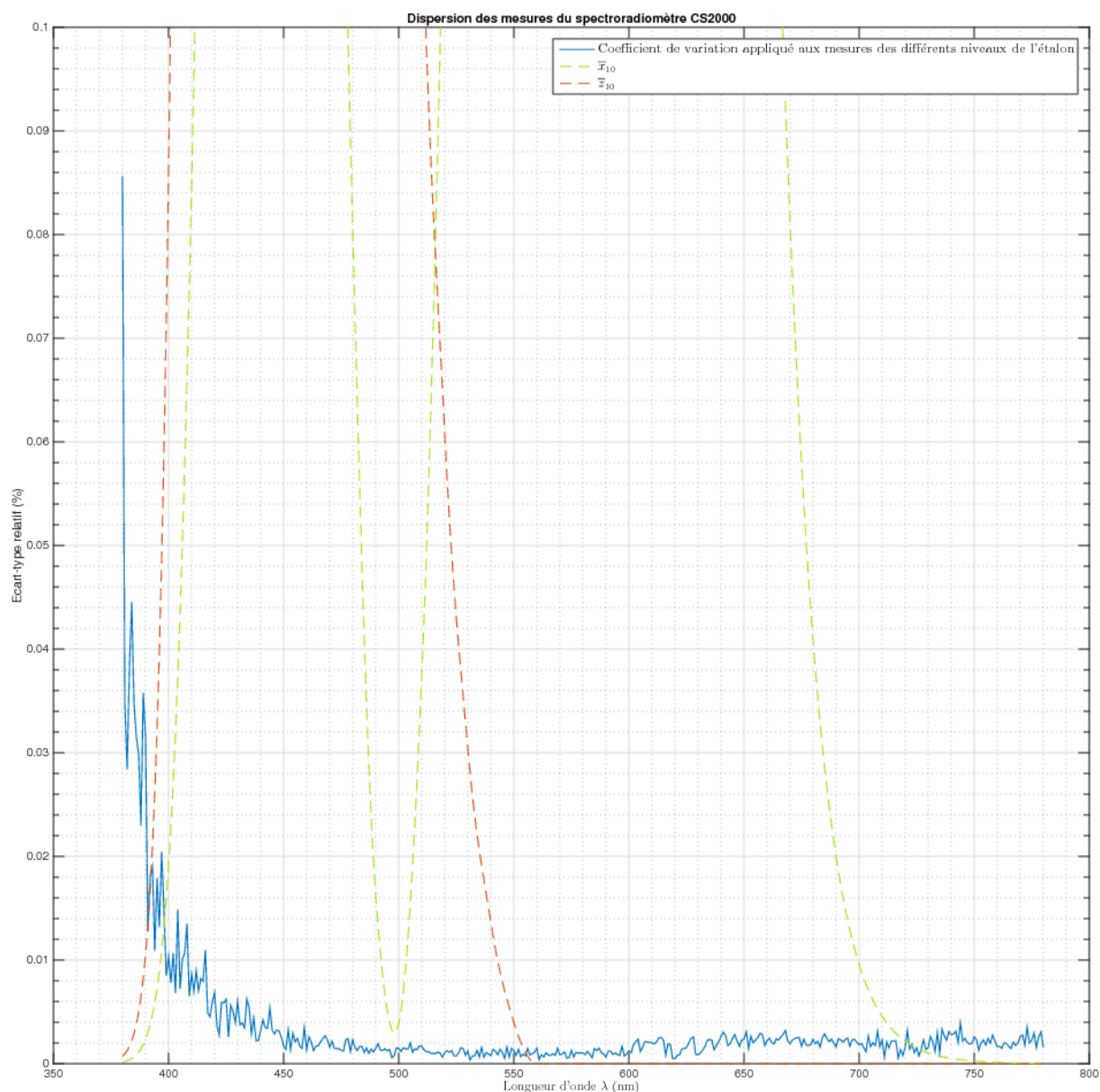


Figure 104. Étude de la dispersion des mesures de luminance spectrique énergétique du spectroradiomètre CS2000.

Le calcul du coefficient de variation appliqué aux mesures répétées de luminance spectrique énergétique des différentes intensités de la source étalon, comparé aux fonctions de mélange \bar{x} et \bar{z} représentées en pointillés pour l'observateur 10°, nous donne une indication de la précision de l'appareil pour des objets d'une luminance visuelle allant de 1000 cd.m^{-2} à $10^{-4} \text{ cd.m}^{-2}$.

Étude réalisée au laboratoire de sensitométrie de l'ENS Louis-Lumière.

Cette étude nous permet d'analyser plus précisément les capacités du spectroradiomètre à mesurer précisément l'ensemble du spectre visible. Une forte dispersion des valeurs trahit une faiblesse de l'appareil dans sa précision, car il est alors incapable de répéter ses résultats. Comme nous pouvons l'observer, la dispersion dans les domaines concernés par les fonctions de mélange \bar{x} et \bar{z} , soit ce qui se rapporte au domaine analysé par notre vision, reste basse, bien que non négligeable. La précision du CS2000 s'amointrit progressivement en-dessous de 450nm jusqu'à atteindre un écart-type relatif de 9% pour 380nm.

Pour notre étude la nuit extérieure rurale, nous mesurons un objet blanc orienté à 45° vers le ciel afin d'en réfléchir de manière optimal le flux lumineux. Nous attendons donc des résultats en luminance visuelle pouvant être de l'ordre de 10^{-4} cd.m⁻², pour une répartition spectrale pouvant aller de proche d'un illuminant D d'une température corrélée d'environ 5000 K à une répartition spectrale inégale, en bandes, correspondant à l'éclairement du ciel nocturne dont le spectre n'est pas continu.

Le spectroradiomètre CS2000 atteint donc ses limites dans le cadre de notre étude. Certains résultats peuvent être produits, mais d'autres non. Pas avec le dispositif décrit précédemment. De plus, nous ne pouvons espérer obtenir des résultats exploitables que dans le cas d'une météo clémente, avec un ciel pur et dégagé.

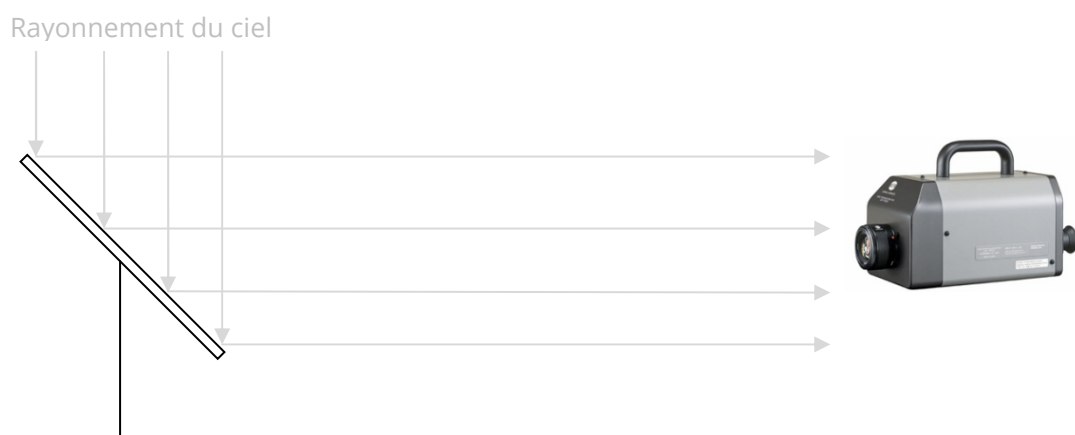
Protocole de mesures de la nuit berrichonne

Nous avons eu la chance que le village de Bélâbre éteigne son éclairage public à partir de 23h, jusqu'à 6h du matin. Cependant, la lune étant déjà levée à cette période après 23h, nous avons aussi cherché à effectuer des mesures de la nuit noire avec l'éclairage public. Nous pouvions en protéger nos mesures.

Les mesures ont donc été faites dans le jardin de la maison où nous avons été hébergés.

Les mesures directes, de la Lune et ciel, ont été réalisées simplement en réglant le champ de mesures du spectroradiomètre de manière adéquate. Une série de dix mesures a été systématiquement réalisée. Pour le ciel, nous avons choisi un point précis sans bouger le spectroradiomètre. Des étoiles ont pu passer dans son champ de mesure. Pour la Lune, nous avons été contraints d'ajuster constamment le spectroradiomètre afin de suivre la Lune.

La mesure de la nuit noire a été réalisée comme suit. Un large carton blanc était orienté à 45° vers le ciel. Du borniol a été disposé tout autour afin d'empêcher une pollution des mesures par l'éclairage public de Bélâbre.



Notre proposition pour mesurer le contraste éclaircissement entre le soleil et le ciel diurne ou entre la lune et le ciel nocturne a été la suivante.

À l'aide d'un miroir, nous orientons le carton blanc de telle sorte à ce qu'il renvoie le maximum du flux lumineux du soleil (ou de la lune) en direction du spectroradiomètre. Nous effectuons dix mesures.

Ensuite, nous retournons le dispositif. Le spectroradiomètre prend la place du carton blanc et inversement. Nous réalisons deux types de mesures. Une première série de mesures avec le carton blanc orienté à 45° vers le ciel pour en renvoyer le maximum du flux lumineux vers le spectroradiomètre. Une deuxième série de mesures avec le carton orienté perpendiculairement au sol. Ce dernier choix semble plus en accord avec le flux lumineux que recevrait, par exemple, un visage orienté normalement, alors que le premier choix correspondrait au visage de quelqu'un tourné vers le ciel.

Cartographie en luminances du filtre ARRI Varicon

Nous avons cherché à effectuer une cartographie de la luminance du Varicon, après avoir jugé qu'il n'était pas homogène.

En plaçant la caméra dans une salle entièrement noire, nous allumons le Varicon et relevons les valeurs enregistrées par la caméra, avec l'objectif Zeiss 50mm utilisé pour tous nos tests.

Nous n'analysons que le canal rouge. À l'aide des courbes de réponse de la caméra, nous sommes capables d'utiliser la caméra comme un luminancemètre en exprimant les luminances en fonction des valeurs numériques.

En convertissant les valeurs de luminances en valeurs de teinte dans l'espace CIELUV, puis en convertissant l'image obtenue en Rec.709 RGB, nous obtenons la carte colorée suivante (pour le Varicon réglé à son intensité de 15) :



Figure 105. Carte des valeurs de luminance du Varicon pour une intensité de 15.

Les valeurs rouges correspondent aux luminances les plus élevées tandis que les valeurs bleues correspondent aux luminances les plus faibles.

Ci-dessous, les luminances maximales et minimales mesurées pour les quatre intensités étudiées du Varicon :

LUMINANCES MINIMALES ET MAXIMALES DU VARICON, MESURÉES PAR L'ARRI ALEXA STUDIO N°6201		
	L_{\min} (en cd.m ⁻²)	L_{\max} (en cd.m ⁻²)
Varicon 15	12,7	27,4
Varicon 10	12,2	26,0
Varicon 5	8,3	13,3
Varicon 3	6,7	8,6

Ces résultats sont purement indicatifs. L'Alexa n'est pas conçue pour être un luminancemètre et rien n'affirme que nos valeurs soient correctes et encore moins précises.

Cependant, l'image d'hétérogénéité du Varicon reste valable. Nous en tiendrons compte lors de l'étalonnage.

ENS Louis-Lumière

La Cité du Cinéma – 20, rue Ampère BP12 – 93213 La Plaine Saint-Denis

Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

Partie Pratique de Mémoire de master

Spécialité cinéma, promotion 2013 – 2016

Soutenance de juin 2016

Une nuit en forêt

Olivier PATRON

Cette PPM fait partie du mémoire intitulé : **La nuit en extérieur rural : de la scène diurne à l'image nocturne.**

Directeur de mémoire : **Alain SARLAT**

Directeur de mémoire extérieur : **Marc VERNET**

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : **Giusy PISANO**

Table des matières

Table des matières	168
Curriculum vitae	169
Note d'intention	170
Synopsis	173
Liste matériel – PPM : La nuit en studio	174
Liste matériel – PPM : Une nuit en forêt	175
Plan de travail : tournage	177
Plan de travail : postproduction	178
Étude technique et économique	179
Synthèse des résultats	181

Curriculum vitae

79 avenue de Saint-Ouen
75017 PARIS
06 78 83 48 35
olivier.patron@gmail.com

Olivier PATRON

Né le 07/12/1988
Permis B
Habilitation électrique B2V/BR

Expériences professionnelles

- 2015** **Chef électricien** // *The observatory* // Court-métrage réalisé par Anais Delpech // La Fémis
Chef opérateur / Cadreur (Sony F55) // *Palissades* // Réalisation : Hugues Perrot
Chef opérateur / Cadreur (Canon C100) // *MIRAGE* // Court-métrage interactif // Réalisation collaborative // Gobelins, l'école de l'image
Cadreur / 1^{er} Assistant caméra (ARRI Alexa Studio) // *Un malentendu* // Réalisation : Louis Roux // Exercice d'école // ENSLL
Stage // Vantage Paris
- 2014** **Chef opérateur / Cadreur** (pellicule Super 8) // *Soirs de semaine* // Réalisation : Laura Tuillier // Bathysphere Productions
Chef opérateur (35mm, ARRI 435) // *Pink Ball* // Exercice : « Variations de vitesse en cours de prise de vues » // ENSLL
1^{er} Assistant caméra (35mm, Moviemcam) // *J'ai toujours détesté les dentistes* // Exercice : « Grandes ouvertures » // ENSLL
Chef électricien / Chef opérateur (ARRI Alexa Studio) // *Open space* // Réalisation : Manon Pietrzak // Exercice d'école // ENSLL
Chef opérateur (Sony F3) // *Hâche-na-hâche* // Réalisation : Éléna Erhel // Exercice d'école // ENSLL
- 2013** **Chef opérateur / Cadreur / Co-réalisateur** // *Corps muets* // Documentaire // Paris 7
1^{er} Assistant caméra (RED Scarlet) // *Les variations* // Série de court-métrages
Chef opérateur (RED Epic) // *Pool & Bowman* // Clip du groupe Akob
Chef opérateur (Canon 5D) // *Récidive* // Court-métrage réalisé par Lucie Desclozeaux
Assistanat // *L'atelier A* // Arte
- 2012** **Coordinateur technique** // Ateliers Cinéma de l'Université Paris 7
- 2009-2013** : **Électricien** sur divers projets autproduits

Formation

- 2013-2016** **ENS Louis-Lumière** // Promotion Cinéma 2016
2012-2013 **Université Paris 7** // Master 1 d'Études cinématographiques
2009-2012 **Université Paris 7** // Licence d'Études cinématographiques
2007-2010 **Université Paris 6** // Licence de Sciences et technologies (mathématiques et informatique)
2006 **Baccalauréat : Scientifique**

Compétences

Caméras

ARRI Alexa Standard, Studio Moviemcam
RED Epic, Scarlet ARRI 435
Phantom HD Gold
Sony F55
Canon C100
Apertus Axiome

Logiciels

Avid, Premiere, Final Cut Pro
Rain, DaVinci Resolve, Color
After Effects
Matlab, OpenColorIO

Langue

Français : maternelle
Anglais : courant
Espagnol : debutant

Loisirs

Photographie, Littérature,
Escalade, Ski, Alpinisme

Note d'intention

Cette partie pratique finale aura été précédée d'autres tests qui rentrent dans le cadre de sa fabrication. Il est nécessaire de décrire nos intentions sur l'ensemble de nos tests avant d'en arriver aux intentions du petit film réalisé intitulé *Une nuit en forêt*.

Prendre les mesures de la nuit

Nous supposons l'éclairement nocturne bien différent de ce que notre perception nous le ferait croire. Nous chercherons donc, en nous éloignant des zones de pollution lumineuse parisiennes et en nous rendant dans le Berry, à mesurer l'éclairement nocturne de différentes manières. Ces manières ont été abondamment explicitées en annexe de ce mémoire.

Nous espérons obtenir les résultats suivants. Le spectre du flux lumineux émis par la Lune par une mesure directe de l'astre. Le spectre d'une partie du ciel nocturne. Le contraste éclairement entre la lune et le ciel nocturne en comparaison du contraste éclairement, dans les mêmes conditions météorologiques, entre le soleil et le ciel diurne. Des mesures répétées et reproduites tous les jours de notre séjour à Bélâbre sur un blanc de référence sont prévues pour une étude statistique.

La nuit en studio

Nous avons cherché à reproduire un décor rural au sein d'un des plateaux de l'école, éclairé de manière diffuse dans un premier temps, puis avec une direction forte contre-latérale dans un second temps, afin de reproduire respectivement la géométrie de l'éclairement d'une nuit noire et celle d'une nuit

lunaire. Une des hypothèses était de ne pas chercher le rendu nocturne au tournage, mais au contraire de poser haut afin de préserver une richesse des valeurs enregistrées par la caméra en ARRIRAW, grâce au prêt du Codex par ImageWorks et NextShot. Ce fut aussi l'occasion de tester le filtre ARRI Varicon, aimablement prêté par la société Vantage Paris. Nous avons tenté de filtrer les couleurs à la prise de vue mais ce test était prématuré à ce moment-là. Enfin, nous avons cherché à faire varier les contrastes de la scène, en faisant varier les fonds, les costumes et quelques éléments de décors. À nouveau, gérer autant de paramètres était un pari trop ambitieux, bien que nous ayons obtenu des indications importantes qui ont pu orienter la suite de notre travail.

Neutraliser les couleurs d'une caméra trichrome

Un rapide essai a été réalisé sur le parking de l'école. Sans chercher à obtenir un contraste ni une gradation propres au rendu d'une image nocturne, nous avons voulu comparer une image enregistrée avec le filtre Day for Night avec une image travaillée en étalonnage. Un personnage et deux mires ColorChecker, sans éclairage additionnel ni contrôle d'aucune sorte, ont à nouveau permis de choisir une direction.

Expériences psychométriques

Des expériences psychométriques ont été menées au laboratoire de sensimétrie et de colorimétrie de l'école. Notre objectif était de pouvoir déterminer l'appauvrissement de la perception visuelle humaine en conditions nocturnes, en discrimination des contrastes, des détails et des couleurs.

Il a fallu organiser un éclairage extrêmement faible et diffus, en évitant toute réflexion spéculaire. Un Kinoflo Daylight quasiment entièrement fermé,

avec un seul tube d'allumé, ne laissant passer qu'un fin liseré de lumière entre ses volets en réflexion sur le mur noir d'une salle fermée assurait un éclairage d'un ordre de 10^{-5} lux sur la table d'expérience. Un pupitre incliné y a été installé afin d'éviter la réflexion du mur éclairé. Enfin, un drapeau était installé juste au-dessus de la tête de l'expérimentateur afin qu'il ne puisse pas voir directement ce mur éclairé.

La mire de sensibilité au contraste et aux détails a été réalisée sur Matlab et imprimée sur une imprimante Epson de l'école. Il a fallu déterminer sa résolution d'impression ainsi que l'étalonner afin d'ajuster la gradation des valeurs linéaires de notre mire.

Les échantillons colorés ont été réalisés sur Matlab dans l'espace sRGB en nous inspirant du travail de classification des couleurs de Munsell.

Une population de testeurs internes à l'école, des sections Son et Cinéma, de différentes années, ainsi que des personnes extérieures à l'école et aux métiers du cinéma, ont pu se prêter à l'expérience.

Une nuit en forêt

Fort de toutes ces expériences et approches pour appréhender le phénomène complexe de la perception nocturne, nous sommes capables d'arbitrer des choix en conditions réelles. Ces choix permettront de métamorphoser une image produite par un outil destiné à réaliser assez simplement des images trichromes à la gradation normale en une image nocturne, dont le contraste est couché et dont les couleurs s'effacent.

La narration n'est qu'une excuse à pouvoir réaliser des images de différentes valeurs et aux compositions variées dans le but de décrire plusieurs situations nécessaires à notre étude. Et ainsi de produire un court montage que nous pouvons projeter comme un petit film.

Il s'agit de se placer dans des conditions rurales ou qui évoquent la ruralité. Ici, une forêt. Le personnage va y pénétrer, intrigué et inquiet. Qui ne le serait pas dans une forêt en pleine nuit ?

Comme le tournage se déroule en plein jour, le comédien doit faire croire au spectateur qu'il se sente en pleine nuit.

Nous avons utilisé le filtre ARRI Varicon sur tous les plans. La couleur sera traitée en postproduction, à la fois sur Matlab et en étalonnage sur DaVinci Resolve.

Synopsis

Bob s'enfonce dans une forêt inquiétante en pleine nuit. Après y avoir déambulé un moment, il découvre trois totems. Ils marquent le seuil d'un autre univers.

Liste matériel – PPM : La nuit en studio

Caméra

ARRI Alexa Studio (#K1.71200.0-6201)

Enregistreur RAW Codex Onboard S

2x Cartes Capture Drive 1To

1x Carte SxS 64Go

Kit objectifs « Kodak »

32mm (#6887910)

50mm (#6887540)

Batteries Bebob rouge + chargeur

Follow focus

Mattebox ARRI MB14

Filtres

ARRI Varicon

Harrison Day for Night

Série ND (0.3, 0.6, 0.9)

Moniteur Transvidéo HD

4x BNC 0,5m, 2x BNC 1m

Machinerie

Tête Sachtler Studio 9+9

Grandes branches

2x Barres 3m

Gueuzes

Lumière

7x Blondes 2kW

3x Ambiances 2kW

2x Fresnel 5kW

2x Fresnel 2kW

2x Fresnel 1kW

4x Fresnel 650W

1x Cadre 4x4m + Toile Spi

3x Polys 2x1m

1x Floppy

2x Cutters GM

3x Drapeaux GM

3x Drapeaux MM

1x Mama rouge

1x Mama vert

2x Borniol 2x2m

Gélatines : CTB, 216, ND, Medium Blue

Grip

5x Wind Up	2x bras magiques
4x pieds U126	6x clamps
10x pieds 1000 acier	4x mains de singe
3x bras de deport 1m	4x colliers simples
3x porte-poly	6x cyclones GM
12x rotules	3x cyclones PM
	10x pinces Stanley

Liste matériel – PPM : Une nuit en forêt

Caméra

ARRI Alexa Studio (#K1.71200.0-6201)
Enregistreur RAW Codex Onboard S
2x Cartes Capture Drive 1To
1x Carte SxS 64Go

Kit objectifs « Kodak »

32mm (#6887910)

50mm (#6887540)

Batteries Bebob rouge + chargeur
Follow focus
Mattebox ARRI MB14

Filtres

ARRI Varicon

Harrison Day for Night

Série ND (1.2, 1.5, 1.8)

Polarisant Polaframe

Moniteur Transvidéo Starlite

4x BNC 0,5m, 2x BNC 1m

Machinerie

Tête Miller
Grandes branches carbone
Gueuzes

Lumière

2x LitePanel 30x30cm
2x Mini LitePanel
2x Réflecteurs Hard/Soft
1x Poly 1x1m
1x Grand drapeau
2x Borniols 2x2m

Grip

1x pied U126
3x pieds 1000 acier
1x porte-poly
5x rotules
2x bras magiques
4x clamps
6x pinces Stanley

Plan de travail : tournage

Du samedi 20 février au samedi 27 février : mesures de la nuit à Bêlâbre, Indre. Mesures répétées toutes les nuits, à différents moments d'élévation de la lune.

Samedi 2 avril et lundi 4 avril : tournage de la nuit en studio. Une demi-journée d'installation de la lumière et une journée et demi de tournage.

Vendredi 29 avril : tournage test du filtre Day for Night et du traitement de la couleur sur le parking de l'école.

Vendredi 13 mai : tournage de *Une nuit en forêt*, dans la forêt domaniale de Marly, Yvelines. Tournage de huit plans.

Plan de travail : postproduction

L'organisation de la postproduction ne concerne que la PPM *Une nuit en forêt*. Le traitement des mesures et des images tests qui ont précédé cette PPM a été fait au sein de notre recherche et ne correspondait pas à un calendrier établi propre à un tournage classique.

Prévisions pour la postproduction de *Une nuit en forêt* :

Jeudi 19 mai	Fabrication d'une LUT pour le montage
Vendredi 20 mai au lundi 23 mai	Montage, export EDL et H264 de référence, conformation sur DaVinci Resolve
Mardi 24 mai au mardi 31 mai	Étalonnage sur DaVinci Resolve et fabrication d'un DCP
Mercredi 1 ^{er} juin	Projection test
Jeudi 2 juin	Corrections d'étalonnage (le cas échéant)
Vendredi 3 juin	Projection test (le cas échéant), validation du DCP final
Mercredi 8 juin	Rendu du DCP pour soutenance mémoire

Étude technique et économique

Prendre les mesures de la nuit

Matériel de mesures	Laboratoire de sensitométrie et de colorimétrie de l'ENS Louis-Lumière : 0 €
Matériel grip	Magasin cinéma de l'ENS Louis-Lumière : 0 €
Convertisseur 12V > 220V	59,90 €
Trajet aller	Offert : 0 €
Trajet retour	Véhicule prêté. Essence et péages : 29,33 €
Bricolage blanc de référence	8,60 €

La nuit en studio

Matériel de prise de vues et d'éclairage	Magasin cinéma de l'ENS Louis-Lumière : 0 €
Filtre ARRI Varicon	Prêt Vantage Paris : 0 €
Enregistreur Codex	Prêt ImageWorks / NextShot : 0 €
Défraiement nourriture bénévoles	38,20 €
Décor	246 €

Neutraliser les couleurs d'une caméra trichrome

Matériel de prise de vues et d'éclairage	Magasin cinéma de l'ENS Louis-Lumière : 0 €
--	---

Expériences psychométriques

Matériel de prise de vues et d'éclairage	Magasin cinéma de l'ENS Louis-Lumière : 0 €
Papier d'impression sans azurant optique : Canson Infinity Rag 210g A4 25 feuilles	34,46 €
Encres d'impression et matériel d'impression	Laboratoire photo numérique de l'ENS Louis-Lumière : 0 €

Une nuit en forêt

Matériel de prise de vues et d'éclairage	Magasin cinéma de l'ENS Louis-Lumière : 0 €
Filtre ARRI Varicon	Prêt Vantage Paris : 0 €
Filtres ND 6x6 1.2, 1.5, 1.8	Prêt Vantage Paris : 0 €
Mattebox ARRI MB14	Prêt Vantage Paris : 0 €
Batteries David 14,4V / 28,8V	Prêt Vantage Paris : 0 €
Enregistreur Codex	Prêt ImageWorks / NextShot : 0 €
Convertisseur 12V > 220V	Déjà acheté
Défraiment nourriture et transports bénévoles	0 €
Transport matériel (aller-retour)	Véhicule prêté. Essence : 8,12 €

Total

Toutes PPM confondues, le total des dépenses s'élève à 424,61 €.

Synthèse des résultats

Les résultats ont été amplement analysés dans le III.3 : « Retour d'expérience : tournage en extérieur jour ».

Les images obtenues correspondent à nos attentes. Nous avons décidé de ne pas prendre de marge dans l'utilisation du Varicon, afin d'affirmer ou d'infirmier, à posteriori, la validité de nos choix. Il n'était pas question de modérer notre action au tournage au cas où ça ne marchait pas. Bien au contraire : dans ce cas pratique, si ça ne marche pas, il faut pouvoir le voir. Dans le cas du tournage d'un film qui aurait une autre vocation, nous aurions peut-être été plus prudents dans nos choix.