

ENS Louis-Lumière

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

Tél.33 (0) 1 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

Mémoire de master

Spécialité cinéma, promotion 2012-2015

Soutenance de juin 2015

STRATÉGIES D'ÉCLAIRAGE EN CINÉMA NUMÉRIQUE

Raphaël AUGER

Ce mémoire est accompagné de la partie pratique intitulée :

LUMIÈRE DU JOUR : REPRODUCTION ET VARIATIONS

Directeur de mémoire : Alain SARLAT

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy PISANO

ENS Louis-Lumière

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

Tél.33 (0) 1 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

Mémoire de master

Spécialité cinéma, promotion 2012-2015

Soutenance de juin 2015

STRATÉGIES D'ÉCLAIRAGE EN CINÉMA NUMÉRIQUE

Raphaël AUGER

Ce mémoire est accompagné de la partie pratique intitulée :

LUMIÈRE DU JOUR : REPRODUCTION ET VARIATIONS

Directeur de mémoire : Alain SARLAT

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy PISANO

REMERCIEMENTS

Je remercie Alain SARLAT pour la géniale maïeutique de la colorimétrie et de la sensitométrie numérique.

Je remercie également Giusy PISANO, Michel COTERET et Françoise BARANGER pour leur précieux encadrement.

Jean-Louis FOURNIER, Henrik CHRISTENSEN, Pierre BARÈS, Jean COUDSI, Gérard SIMON et Jacques PIGEON sans qui ce mémoire aurait une autre couleur.

Florent FAJOLE pour les livres qu'il m'a conseillé.

Cyril CANTE, Frédéric LE JONCOUR, Florine BEL et Sébastien ROMAN pour le tournage de la partie pratique du mémoire.

Thylda BARÈS pour m'avoir supporté pendant ces six derniers mois et avoir accepté de servir de modèle sur la partie pratique.

Didier DIAZ, Patrice MILLET, Julien GALLOIS, Natasza CHROSCICKI, Natacha VLATKOVIC et Didier GRÈZES pour avoir bien voulu me prêter du matériel dans le cadre de la partie pratique.

Didier NOVÉ, Pierre VORMERINGER, Fabrice LOUSSERT, Laurent STELHIN pour leur bienveillance et leur encadrement matériel et psychologique.

Loeiz PERREUX avec qui j'ai partagé de longs questionnements, une salle et des cigarettes pendant la phase de recherche.

RÉSUMÉ

Ce travail de recherche entend exposer les problématiques d'éclairage liées au cinéma numérique, en termes de qualité de la lumière. Après avoir établi une base de vocabulaire de l'éclairage au cinéma, nous nous intéresserons à la géométrie de la lumière et au rendu des couleurs dans le cadre d'une prise de vue. Nous effectuerons ensuite une recherche approfondie sur la façon d'évaluer une source de lumière en proposant une solution pratique, à savoir implémenter la sensibilité spectrale de la caméra dans le calcul d'un indice de rendu des couleurs. Nous testerons notre travail sur un panel de sources utilisées en prise de vue cinéma. Après analyse des résultats et critique de notre travail, nous proposerons plusieurs pistes de réflexion pour une gestion de la couleur à la prise de vue, du projecteur à l'enregistrement.

MOTS CLEFS

Lumière, éclairage, projecteur, couleur, cinéma, IRC, raw, sensibilité, spectre, colorimétrie.

ABSTRACT

In this research work we intend to depict the lighting quality issues in a digital cinematographic shooting. After establishing a common vocabulary base about lighting in the movies, we will focus on light geometry and color rendering during the shooting. Then we will perform a deep research about a way to assess a source of light offering a practical solution, implementing the camera's spectral sensitivity in the calculation of a color rendering index. We will improve our work on several sources which are used on movie's shooting. After analysing and criticising our work, we will suggest several reflection axes for a color management on set, from the projector to the recording.

KEY WORDS

Light, lighting, projector, color, cinema, CRI, raw, sensitivity, spectre, colorimetry.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	3
RÉSUMÉ.....	4
MOTS CLEFS.....	4
ABSTRACT.....	5
KEY WORDS.....	5
INTRODUCTION.....	8
PREMIÈRE PARTIE : VARIABLES DE L'ÉCLAIRAGE CINÉMA, PARCOURS ESTHÉTIQUE ET TECHNIQUE.	10
I – LA FENÊTRE COMME SOURCE DE LUMIÈRE DU JOUR, ENJEUX ESTHÉTIQUES.....	11
A – La fenêtre, source de lumière du jour dans la peinture.....	12
B – La fenêtre comme source de lumière du jour dans L'Aurore de MURNAU.....	15
C – La fenêtre comme source de lumière du jour dans Butch Cassidy et le Kid de G.R.HILL.....	18
D – La fenêtre comme source de lumière du jour dans Old Boy de PARK CHAN WOOK.....	21
II – CARACTÉRISTIQUES DU SUJET.....	22
A – Notion de sujet.....	22
B – Classification des caractéristiques de l'image modifiées par l'éclairage.....	22
C – Quantité de lumière.....	22
D – Géométrie de l'éclairage.....	23
E – Qualité de la lumière.....	25
F – Distribution spectrale.....	25
G – Coefficient de réflexion spectrale des objets.....	28
H – La trichromie.....	29
I – Température de couleur proximale.....	30
J – Indice de rendu des couleurs	31
K – Sensibilité spectrale de la caméra.....	34
L – Balance des blancs.....	37
M - Bilan de la partie I et axe de recherche.....	38
DEUXIÈME PARTIE : RECHERCHE SUR LA QUALITÉ DE L'ÉCLAIRAGE DANS UN CONTEXTE DE PRISE DE VUES.....	39
I – QUALIFIER LES SOURCES DE LUMIÈRE.....	40
A – Intention de l'expérience.....	40
B – Protocole expérimental.....	40
C – Résultats du tungstène-halogène : Fresnel 1kW DESISTI.....	41
D – Résultats du HMI : Alpha4V2 4kW de K5600.....	42
E – Résultats des tubes fluorescents : Kinoflo 4 Tubes 60 cm 3200K, Kinoflo 2 Tubes 120 cm 5600K, SoftLite T5 Small 5600K.....	43
F – Résultats des diodes électroluminescentes : 120W DESISTI, LITEPANEL 30x30 et AREA48.....	45
G - Compte-rendu d'expérience.....	46
II – REPRODUIRE EN STUDIO LES CONDITIONS D'ÉCLAIRAGE D'UN INTÉRIEUR AVEC FENÊTRE.....	48
A – Intention de l'expérience.....	48

B – Protocole expérimental.....	49
C – Résultats et Compte rendu d'expérience.....	50
III – CARACTÉRISATION DES SOURCES AVEC UN IRC "CAMÉRA".....	52
A – Intention de l'expérience.....	52
B – Protocole de l'expérience.....	53
C – Caractéristiques intégrées.....	56
D – Résultats d'expérience et compte-rendu.....	58
E – Critique du protocole proposé.....	59
TROISIÈME PARTIE : CONFRONTATION DE NOTRE RECHERCHE AVEC LA PRATIQUE DES TOURNAGES	
.....	60
I – IMPACT SUR L'ÉVALUATION DES SOURCES :	61
A – Technologie des sources de lumière.....	61
B – Mesure des sources de lumière : vers un nouvel espace de représentation	62
C – L'indice TLCI (Television Light Consistency Index), un IRC pour les LED à la télévision.....	63
II – IMPACT SUR L'ÉVALUATION DES CAMÉRAS.....	65
A – Potentiel comparatif de la fonction proposée.....	65
B – Sensibilité spectrale, vers une nouvelle maîtrise de la captation des couleurs.....	65
C – L'Academy Color Encoding System (ACES).....	66
.....	66
D – Proposition pour assumer un espace couleur propre à chaque caméra.....	67
E – Vers une caméra Open Source.....	68
CONCLUSION.....	69
BIBLIOGRAPHIE.....	70
FILMOGRAPHIE.....	72
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	73
ANNEXES.....	75
Annexe 1 : Espace de représentation de la couleur.....	75
Annexe 2 : Script de la fonction de calcul d'un IRC "Caméra".....	77

INTRODUCTION

Ayant travaillé deux années comme électricien de plateau avant d'entrer à l'ENS Louis-Lumière, je suis arrivé à l'école avec beaucoup de questionnements techniques sur la lumière issus de ma modeste expérience et auxquels j'ai eu le luxe de pouvoir répondre sur trois ans. Si la plupart de mes interrogations ont été résolues au cours du cursus et de la majeure "Phy", j'ai voulu par ce mémoire pousser le raisonnement plus loin en étudiant les enjeux de l'éclairage en numérique.

Le premier axe d'étude que j'avais choisi était "La fenêtre comme source de la lumière du jour au cinéma, construire un éclairage complexe". Il me permettait de combiner l'analyse esthétique de l'éclairage à l'étude des sources de lumière. Il est devenu cependant évident au début de mes recherches que le motif de la fenêtre, qui mériterait un mémoire d'analyse esthétique à lui seul, était plus un outil permettant d'ériger une base de vocabulaire pour décrire et analyser la lumière.

Il a donc fallu choisir et ayant trouvé suffisamment de grain à moudre du côté de la recherche technique, j'ai pris le parti d'écrire ce mémoire en souhaitant qu'il puisse servir d'outil de compréhension de l'éclairage en cinéma numérique.

Contraste, couleur, géométrie de la lumière, dans la continuité de la peinture, l'évolution de l'éclairage semble étroitement liée à l'histoire même du cinéma. Répondant à des volontés esthétiques aussi différentes que celle d'un film expressionniste et celle d'un film de Wong Kar-wai, les mutations technologiques, sensibilité du film et rendement des sources en tête, ont marqué la physionomie des tournages, rendant possible des éclairages complexes et d'une grande variété.

Le tournage en numérique s'impose aujourd'hui pour la majorité des œuvres cinématographiques. Ce bouleversement entraîne une importance grandissante de la postproduction : traitement des données, gestion des workflow¹, étalonnage, effets spéciaux, les grandes problématiques du cinéma moderne semblent se détacher peu à peu du tournage. Peut-on encore maîtriser la photographie d'un film lorsque l'image sera jugée et modifiée tout au long de la chaîne sur des supports différents et par des intervenants différents ?

Sans prétendre pouvoir répondre à cette question, nous nous proposons de faire la lumière sur la genèse de cette chaîne, à savoir le sujet capté. Nous ne traiterons pas de stratégies d'exposition (sujet déjà évoqué par deux mémoires en 2014) mais bien d'éclairage. Cette partie de la création de l'image étant a priori toujours l'apanage des directeurs de la photographie, nous souhaitons en relever les enjeux en numérique. Il ne s'agira pas de faire une analyse esthétique des manières d'éclairer en numérique (il faudrait y consacrer une thèse) mais bien une recherche associant technologie des sources et situation de tournage.

¹ Workflow : flux de postproduction

La fenêtre comme source de la lumière du jour nous servira d'incident déclencheur. Ce motif, exercice de style pour chaque directeur de la photographie, nous permettra de poser les bases du raisonnement. Dans une première partie, nous étudierons la fenêtre comme motif esthétique de la lumière, dans l'art d'abord puis au cinéma. L'objectif est, dans chaque œuvre étudiée, de qualifier la lumière et d'ébaucher un vocabulaire permettant à la fois de la décrire et de considérer les techniques qui la créent. Cela aboutira à une sélection des caractéristiques de l'éclairage que nous mettrons à l'épreuve par la suite.

Dans la seconde partie expérimentale nous testerons les limites des sources de lumière dans la reproduction d'une lumière naturelle, nous mesurerons un panel de sources et proposerons une stratégie pour les qualifier en fonction de la caméra numérique utilisée.

Dans une troisième partie, nous confronterons les résultats des expériences à des situations de travail. Nous ouvrirons ensuite sur les avancées récentes en matière de gestion du rendu de couleur au tournage.

PREMIÈRE PARTIE : VARIABLES DE L'ÉCLAIRAGE CINÉMA, PARCOURS ESTHÉTIQUE ET TECHNIQUE

I – LA FENÊTRE COMME SOURCE DE LUMIÈRE DU JOUR, ENJEUX ESTHÉTIQUES

Le propos de ce chapitre est d'analyser l'utilisation de la fenêtre en tant que source de la lumière du jour, d'un point de vue esthétique. Cela permet d'introduire les caractéristiques de l'éclairage et son influence sur l'image et l'intention de mise en scène. La fenêtre en tant que motif nous servira de fil conducteur. Quelle est sa place, son orientation ? La lumière du dehors provient-elle du ciel, du soleil, de surfaces en réflexion ?

Il ne s'agit pas d'être exhaustif sur ce sujet, mais bien d'isoler des mises en lumière variées qui utilisent la fenêtre comme source de lumière du jour et d'en identifier l'impact sur la mise en scène.

Pour un approfondissement complet sur le motif de la fenêtre dans l'art, nous renvoyons aux ouvrages d'Andrea DEL LUNGO² et de Gérard WAJCMAN³. Il convient de rappeler la définition de fenêtre : baie comportant une fermeture vitrée, pratiquée dans un mur d'un bâtiment pour permettre l'entrée de la lumière, la vision vers l'extérieur et, habituellement, l'aération. Une définition plus large accepte l'absence de vitre.

² DEL LUNGO, Andrea, *La Fenêtre: Sémiologie et histoire de la représentation littéraire*, Paris, Poétique, 2014

³ WAJCMAN, Gérard, *Fenêtre: Chroniques du regard et de l'intime*, Paris, Verdier, 2004

A – La fenêtre, source de lumière du jour dans la peinture



Tableau 1 : Jeune garçon mordu par un lézard - Le Caravage 1593

Le tableau *Jeune garçon mordu par un lézard* illustre à merveille toute la richesse d'utilisation d'une fenêtre dans la mise en lumière d'un sujet. La position de l'entrée de lumière, en latéral – léger contre, permet de créer un contraste fort sur la scène et en particulier sur le visage du jeune garçon. Le choix de n'avoir qu'un ciel couvert par la fenêtre, donc une source de lumière non-ponctuelle, permet d'avoir des transitions en légers dégradés entre l'ombre et la lumière, ce qui permet une richesse de nuances et un modelé dans les textures, notamment sur la peau. Les réflexions dans la partie sombre, dans le vase mais aussi les spéculaires sur les plantes, permettent de mettre en valeur ces derniers tout en équilibrant la composition. Il est intéressant de noter que le lézard accroché au doigt du garçon se remarque tard dans la lecture du tableau, le regard étant d'abord attiré par la réflexion de la fenêtre. Cette mise en lumière sert donc remarquablement le propos : tout comme le jeune garçon, nous n'avons pas perçu le lézard qui se cachait dans la coupe de fruits. L'idée d'une lumière provenant d'une seule source est récurrente chez Le Caravage, maître du clair-obscur, et est le fondement de la mise en scène de ses tableaux.



Tableau 2 : La Femme au luth - Johannes Vermeer 1662-1663

La Femme au luth ressemble au premier tableau, dans la direction de la lumière. Ce type de lumière se retrouve d'ailleurs dans beaucoup d'œuvres de Vermeer : latéral diffus créé par des grandes fenêtres orientées au Nord, donc sans lumière du soleil en direct. Par rapport au tableau précédent, la différence d'éclairage se situe dans la taille de la fenêtre qui est ici partiellement visible : celle du Caravage est plus mince, laissant une bonne partie du mur du fond dans l'ombre. Ici la taille de la fenêtre dépasse le cadre du tableau, ce qui crée un fond clair et plus uniforme. La direction de la lumière semble attirer la jeune femme et la teinte des carreaux répond à celle de sa peau. À l'exception du mur du fond, les meubles et l'intérieur sont à contre-jour, dans des densités fortes et avec peu de contrastes locaux, ce qui crée un contraste global fort. La chaise et ses poinçons brillants se détachent du reste de la pièce. Il est assez logique d'arriver à la conclusion, en suivant la construction de la lumière, que la jeune femme attend quelqu'un. Partant d'un dispositif de mise en lumière assez similaire au premier tableau, celui-ci, par des variations fines, change radicalement le sens de la mise en scène.

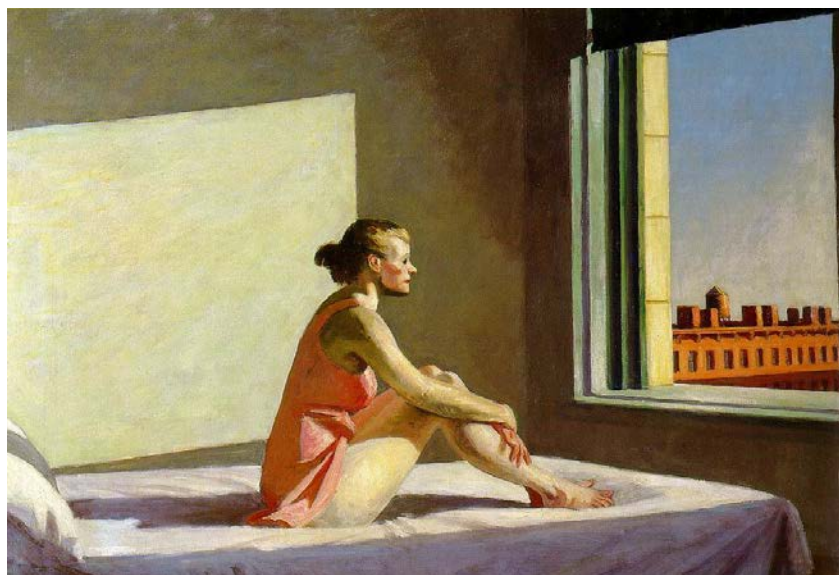


Tableau 3 : *Morning Sun* - Edward Hopper 1952

La différence la plus notable avec les tableaux précédents qu'on constate dans *Morning Sun* est la géométrie de la source de la lumière : d'un ciel dans les tableaux précédents, on passe à un soleil en direct, source ponctuelle. Les ombres portées sont plus nettes, ce qui permet au peintre de multiplier les constructions géométriques qui structurent le tableau. Hopper n'a pas négligé que le ciel restait une deuxième source de lumière, ce qui offre un léger dégradé bleuté dans les ombres. Le contraste global qu'on envisagerait plus fort avec une telle entrée de lumière est en fait atténué par l'utilisation des réflexions des murs, du lit et peut-être du sol qui deviennent de fait des sources de lumière secondaires. Il est intéressant de voir que ces réflexions amènent une teinte différente dans les ombres : bleu-violet sur le lit, vert-ocre sur la femme, ce qui crée un contraste coloré riche. La frontière ombre-lumière qui passe derrière le personnage permet de mettre en valeur la partie ombragée du dos, et celle éclairée du visage, créant de forts contrastes locaux et renforçant toute l'attention sur elle. La position de cette projection de fenêtre n'est pas logique si on s'en tient à la direction de la lumière sur le visage, pourtant c'est là qu'elle sert au mieux la mise en scène du tableau.

L'étude de ces trois tableaux nous a permis de nommer les variables suivantes : direction de la lumière, géométrie de la source, dégradé, spéculaires, source secondaire, contraste global, contraste local, contraste coloré, teinte. Toutes serviront à caractériser la lumière du jour par la fenêtre.

B – La fenêtre comme source de lumière du jour dans *L'Aurore* de MURNAU

L'Aurore est un film expressionniste et à ce titre, l'image est dirigée vers une réaction émotionnelle du spectateur, manipulée pour servir un propos sans aucun souci de vraisemblance. La lumière du jour par la fenêtre y est un outil totalement au service de l'intention, il est donc possible de s'en servir pleinement comme de s'en affranchir.



Illustration 1 : L'Aurore - Murnau 1927 photogramme

Cette scène de *L'Aurore* est assez caractéristique des problématiques de mise en lumière du film. Ici le mari rendu fou par une nuit au clair de lune passée avec son amante vient de proposer à sa femme une balade en barque dans le but de la noyer. Ignorant tout des intentions de l'homme, celle-ci accepte gaiement, croyant à un sursaut de romantisme. La lumière par la fenêtre sert d'effet principal, source ponctuelle qui crée des ombres nettes sur le mur du fond. Une source large est située en trois quarts face gauche, tandis qu'un contre renforce l'effet de la fenêtre sur le bébé à droite. Cette mise en lumière permet de rester dans un contraste général fort entre le plafond et la peau du bébé, ainsi que de proposer des ombres nettes sur le mur, donc d'être fidèle à l'identité visuelle de ce film expressionniste. C'est le rendu sur les personnages avec des ombres douces et des contrastes locaux assez faibles qui illustre la légèreté du sentiment de la jeune femme à cet instant. Le soleil en pénétrant accompagne même la joie du personnage. Cet éclairage répond bien au champ sur le mari dont le trouble est largement amplifié par des contrastes locaux forts, une

direction de lumière plus marquée, une image plus sombre. La lumière qui baignait la scène semble ne pas pouvoir l'atteindre. Concrètement, le remplissage a disparu et la forte densité des vêtements permet cet effet.



Illustration 2 : L'Aurore - Murnau 1927 photogramme

Le dernier photogramme tiré de *L'Aurore* est un plan serré sur la femme qui se réveille après avoir manqué de se noyer lors de la tempête. Le soleil levant accompagne une sorte de renaissance du personnage. L'effet recherché est à l'opposé du réalisme : aucune direction franche par la fenêtre, au contraire un visage très clair, angélique, baigné d'une lumière qui augmente. On suppose un projecteur légèrement diffus, pratiquement dans l'axe de la caméra, ainsi qu'un léger contre dans les cheveux. Encore une fois dans ce film expressionniste, la lumière sert avant tout le propos, le ressenti voulu plutôt que le vraisemblable.



Illustration 3 : L'Aurore - Murnau 1927 photogramme

C – La fenêtre comme source de lumière du jour dans Butch Cassidy et le Kid de G.R.HILL



Illustration 4 : Butch Cassidy et le Kid - G.R. Hill 1969 photogramme

Nous avons choisi d'étudier ce film car c'est un bel exemple d'exposition d'une pellicule couleur par le directeur de la photographie Conrad L. Hall. Il est remarquable par l'utilisation d'un éclairage vraisemblable où l'intention d'image est appuyée par le choix des axes caméra, le contraste d'un intérieur jour étant conditionné par les entrées de lumière par la fenêtre. La première scène où Butch Cassidy (Paul Newman) entre dans une banque pour faire un repérage se passe uniquement en contre-jour, la banque ferme et l'officier en charge de la surveillance ferme successivement toutes les fenêtres. Ce choix permet d'obtenir un contraste image percutant accentuant la dangerosité du casse à venir : on ne distingue que les contours des personnages et des détails du décor. On notera la teinte marron-ocre de l'image.



Illustration 5 : Butch Cassidy et le Kid - G.R. Hill 1969 photogramme

La scène qui suit est une confrontation entre The Sundance Kid (Robert Redford) et un homme qui l'accuse de tricher aux cartes. Cette fois encore la source de lumière est une fenêtre de jour, mais elle est placée sur le côté droit de l'axe. Il y a donc une direction forte sur les personnages, mais cette fois on sent une nécessité de voir leurs visages. Il y a en effet un rattrapage diffus, justifié par la réflexion de la lumière sur le mur. On a donc l'utilisation d'une surface comme source de lumière secondaire.



Illustration 6 : Butch Cassidy et le Kid - G.R. Hill 1969 photogramme

La dernière scène qui m'intéresse se situe dans une autre banque, en Bolivie. On suit les deux personnages qui entrent dans la banque en travelling latéral passant de l'extérieur à l'intérieur. Les ombres des passants attestent que le soleil est encore très haut dans le ciel. Pourtant, quand ils entrent dans la banque, les entrées de soleil sont celle d'un soleil couchant voire rasant, avec des ombres projetées très nettes et surtout très hautes sur le mur. Seule la teinte de la lumière, qui raccorde avec l'extérieur, permet de l'identifier comme provenant de la même source. Conrad Hall a donc construit une lumière vraisemblable mais impossible. En plus du fait qu'on n'y voit que du feu, ces entrées servent pleinement le propos, amènent de potentielles sources secondaires diffuses (les murs blancs) et permettent de garder un haut contraste pour la scène.

Cette volonté de construire la lumière autour de sources déjà existantes, donc de combiner le vraisemblable à l'intention image, tranche avec l'Aurore, en tant que film expressionniste, mais aussi avec les films de l'âge d'or hollywoodien où l'objectif est la mise en beauté de l'acteur. Le directeur de la photographie doit d'autant plus justifier sa lumière en la contextualisant : quelle est l'orientation de la fenêtre ? Quel temps fait-il ? Quelle heure est-il ?

L'utilisation de surfaces existantes comme source secondaires de lumière (du moins d'un point de vue diégétique) amène des variations de teinte de la lumière dont le directeur de la photographie peut se rendre maître : c'est l'exemple du fameux "unbleached muslin", coton gratté couleur coquille d'œuf utilisé en réflexion pour éclairer la peau des acteurs, qui donne un teint plus légèrement plus "chair".



Illustration 7: Old Boy - Park Chan Wook 2003 photogramme

Old Boy est un bon exemple d'une mise en lumière moderne. Les visages sont majoritairement éclairés en trois quarts face par des sources diffuses types boîte à lumière. La lumière est justifiée, ne peut pas être mise en défaut, à l'image de cette scène avec un fort soleil qui attaque la fenêtre d'une manière réaliste, épargnant le haut du corps de la comédienne. Son visage est donc diégétiquement éclairé par le ciel ou bien des réflexions du soleil sur des surfaces extérieures, ainsi que son ordinateur. Bien qu'il fasse beau temps, la pièce est plongée dans la pénombre, la principale source de lumière étant de fait la réflexion du soleil sur le sol. Cette conception de la lumière du jour par la fenêtre amène un élément fondamental dans notre réflexion : alors que les précédents films étudiés avaient tendance à considérer la fenêtre comme source d'une lumière unique, celui-ci admet la multiplicité de la lumière pouvant pénétrer par la fenêtre. En effet, s'il paraît évident que soleil et ciel sont des sources de lumière, l'environnement extérieur l'est aussi en tant que réflecteur, et prend toute son importance lorsque le-dit réflecteur s'avère être une façade d'immeuble orangée comme nous en connaissons à l'école Louis Lumière par exemple. Ce phénomène amène une richesse et donc une variable en plus dans l'utilisation de la fenêtre comme source de la lumière du jour.

II – CARACTÉRISTIQUES DU SUJET

A – Notion de sujet

Un sujet est un objet éclairé pour la prise de vue. Par conséquent il dépend des caractéristiques des sources utilisées et des caractéristiques de l'objet cadré.

B – Classification des caractéristiques de l'image modifiées par l'éclairage

Les caractéristiques que nous avons relevées dans l'analyse précédente peuvent être classées en trois catégories :

- Caractéristiques quantitatives : le contraste, l'exposition, la densité des objets, la puissance des sources, l'ouverture du diaphragme, l'obturation, la sensibilité de la surface photosensible.
- Caractéristiques géométriques : la position des sources dans l'espace (hauteur et distance au sol), les dégradés de l'ombre à la lumière, le modelé, la taille des sources.
- Caractéristiques qualitatives : la couleur des sources, celle des objets, la perception de la couleur, le contraste coloré.

C – Quantité de lumière

Éclairer un objet pour une prise de vue suppose avant tout de produire une quantité de lumière adéquate avec la sensibilité de la surface photosensible et la pose voulue, c'est-à-dire du couple vitesse d'obturation / ouverture du diaphragme. En posant un sujet, on en maîtrise l'exposition et donc le contraste, c'est-à-dire la différence entre la plus haute lumière et la plus basse lumière enregistrées. L'exposition dépend donc de la puissance des sources de lumière et de la densité des matériaux éclairés. En cinéma numérique, la course récente à une sensibilité annoncée plus grande des capteurs a suscité une vive attention. Trois mémoires récents publiés à l'ENS Louis-Lumière décrivent les mécanismes de la sensibilité en numérique : celui d'Arthur Briet⁴, celui de Laurène Le

⁴ BRIET, Arthur, *Noir & blanc et couleur, Histoires d'oppositions et d'appariements* Mémoire sous la direction de Giusy Pisano et Alain Sarlat, option Cinéma à l'ENS Louis-Lumière, 93, soutenance de juin 2013

Barh⁵, et celui de Paul Morin⁶. Tous les trois nous permettent sans trop de complexes de se détacher des problématiques quantitatives et d'aller "voir ailleurs". Les caractéristiques de quantité nous serviront cependant à l'analyse.

D – Géométrie de l'éclairage

La géométrie de la lumière est un magnifique sujet d'étude esthétique. Transitions ombre/lumière, diffusions, modelé et direction possèdent un formidable potentiel de création exploité différemment par chaque opérateur. Leur approche reste assez intuitive et empirique, chaque décor impliquant de nouvelles contraintes et donc une nouvelle géométrie.

Rappelons que lors de la conception d'un éclairage, les variables géométriques sur lesquelles peut influencer le chef opérateur sont la position, la taille, la forme et la largeur du faisceau des sources. Certains projecteurs peuvent focaliser la lumière, ce qui fait une cinquième variable potentielle. Utiliser une diffusion devant une source agit par exemple sur deux paramètres : la taille de celle-ci et la largeur du faisceau. Lors de la partie pratique du mémoire, nous avons pu constater l'impact de la trame d'une toile sur la forme de la source : alors que l'on s'attendrait à voir un carré éclairé de façon homogène, le tramage d'une toile $\frac{1}{4}$ de Grid Cloth crée une sorte de croix autour du point chaud de la source initiale qui est la source d'émission majeure.

5 LE BARH, Laurène, *Les hautes lumières en cinéma numérique*, Mémoire sous la direction d'Alain Sarlat, option Cinéma à l'ENS Louis-Lumière, 93, soutenance de juin 2014

6 MORIN, Paul, *Quelles stratégies d'exposition en prise de vues numérique ?* Mémoire sous la direction d'Alain Sarlat et Jean Coudsi, option Cinéma à l'ENS Louis-Lumière, 93, soutenance de juin 2014



*Illustration 8: Toile 2x2 m 1/4 de Grid Cloth
diffusant un HMI Alpha 4V2*

La taille de la surface émettrice est la variable d'ajustement du dégradé fait entre l'ombre projetée d'un objet et la lumière. Plus la source est grande devant l'objet qu'elle éclaire, plus le-dit dégradé sera grand et les ombres douces. Plus la source est ponctuelle, plus le dégradé sera petit et les ombres dures. La qualité des ombres est donc un rapport géométrique entre la taille de la surface, la distance de la source à l'objet qui coupe le faisceau et la distance entre cet objet et la surface de projection de l'ombre.

Le facteur de réflexion d'un matériau est décrit par un indice compris entre 0 pour un diffuseur parfait et 1 pour un miroir parfait, l'indice moyen étant 0.5. Cet indice est compris dans le calcul de la luminance d'un objet. Cette caractéristique est une donnée fondamentale en éclairage cinéma car elle permet de contrôler les spéculaires, c'est à dire les reflets de la source dans le sujet exposé qui amènent souvent des zones de surexposition.

Le cas de la fenêtre utilisée comme source de lumière est très riche en possibilités géométriques. Le soleil, le ciel, un réverbère, une façade de bâtiment sont autant d'exemples très différents dans leur forme, leur orientation, la qualité de leurs ombres. Additionner certains effets donne d'ailleurs lieu à une palette riche en termes de contraste et de direction de lumière.

E – Qualité de la lumière

Le passage au numérique et l'arrivée presque simultanée des sources à diodes électroluminescentes (DEL) comme projecteurs ont ramené au premier plan des interrogations actuelles la notion de qualité de la lumière. Spectre, température de couleur, indice de rendu des couleurs sont maintenant des spécificités très regardées dans le choix des sources. C'est sur cette partie de l'éclairage, qui nous semble comporter le plus d'enjeux actuels, que nous allons axer notre recherche. On peut d'ores et déjà discerner la couleur des sources de lumière de celle des objets éclairés et donc admettre que la couleur d'un sujet est un mélange des deux. Il faudra également discerner l'information de couleur perçue par le système visuel, relevant du domaine psychophysique, de celle enregistrée par la caméra, purement physique.

Lors de la description d'une couleur, nous la décrirons par trois attributs de la perception⁷ :

- Sa **teinte** ou tonalité colorée
- Sa **saturation** ou niveau de coloration
- Sa **clarté** ou luminosité

F – Distribution spectrale

La qualité de la lumière est la faculté d'un éclairage à restituer fidèlement les couleurs d'un objet. Elle dépend de sa répartition spectrale. Plus le spectre est continu dans le domaine de longueurs d'onde acceptée comme celui du système visuel (380 à 780 nanomètres), plus il est possible de le comparer à un illuminant référent. Un spectre représente l'émission énergétique d'une source de lumière pour chaque longueur d'onde.

Rappelons que l'ordre des teintes primaires et complémentaires perçues en fonction de la longueur d'onde est le suivant, dans l'ordre croissant : bleus, cyans, verts, jaunes, rouges, magentas.

⁷ SEVE, Robert, *Science de la couleur aspect physique et perceptif*, Paris, Chalagam, 2009 p.12

Comme il est plus facile de mesurer une source sur une surface dont on connaît les caractéristiques plutôt qu'en direct en raison de la quantité de lumière parfois trop importante pouvant amener le capteur de l'instrument de mesure à saturation, on peut dire, dans le cadre de ce mémoire, qu'en ordonnées du spectre on a la luminance spectrique L_s exprimée en watt sur mètre cube sur stéradian ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$) et en abscisses la longueur d'onde λ en nanomètres (nm).

Les spectres présentés dans ce mémoire sont issus de mesures effectuées avec un spectroradiomètre Minolta CS2000 sur un blanc de laboratoire BULLIER à l'ENS Louis-Lumière.

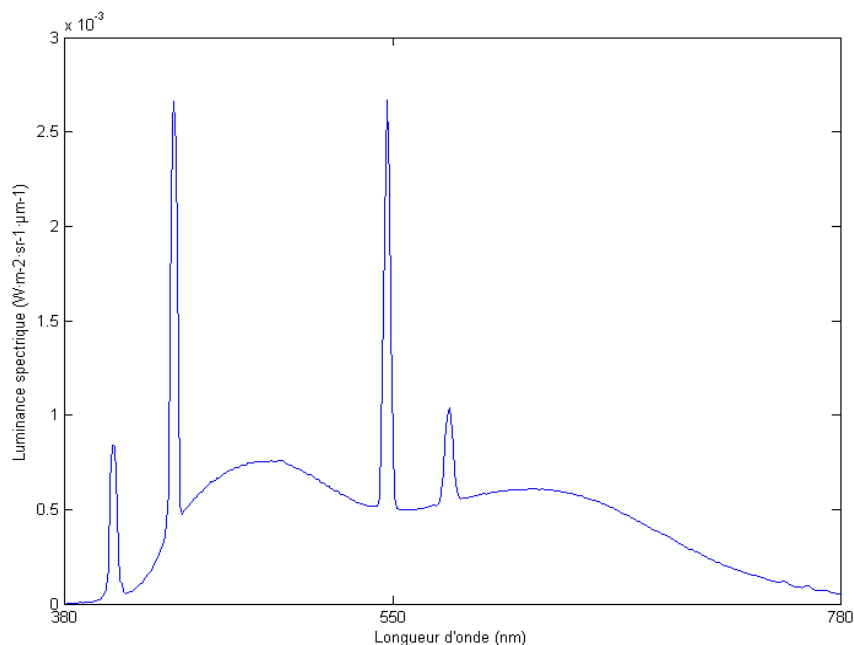


Illustration 9: Spectre d'un Kinoflo 2 tubes 120 de type lumière du jour. Les trois pics d'émission correspondent au mercure utilisé dans les tubes et la partie continue au phosphore qui émet par luminescence.

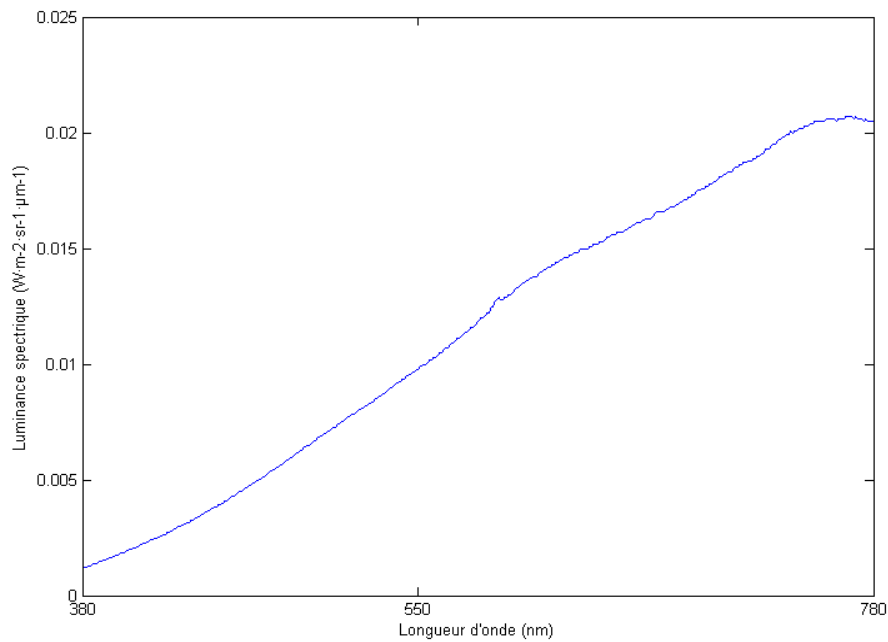


Illustration 10: Spectre d'un tungstène-halogène face ouverte 800W communément appelé mandarine.

L'émission spectrale d'une source dépend de sa technologie. Alors qu'une lampe tungstène-halogène émet par son échauffement un spectre continu, une lampe HMI produit un arc électrique dans un gaz composé d'une grande variété d'éléments pour enrichir le spectre de raies émis.

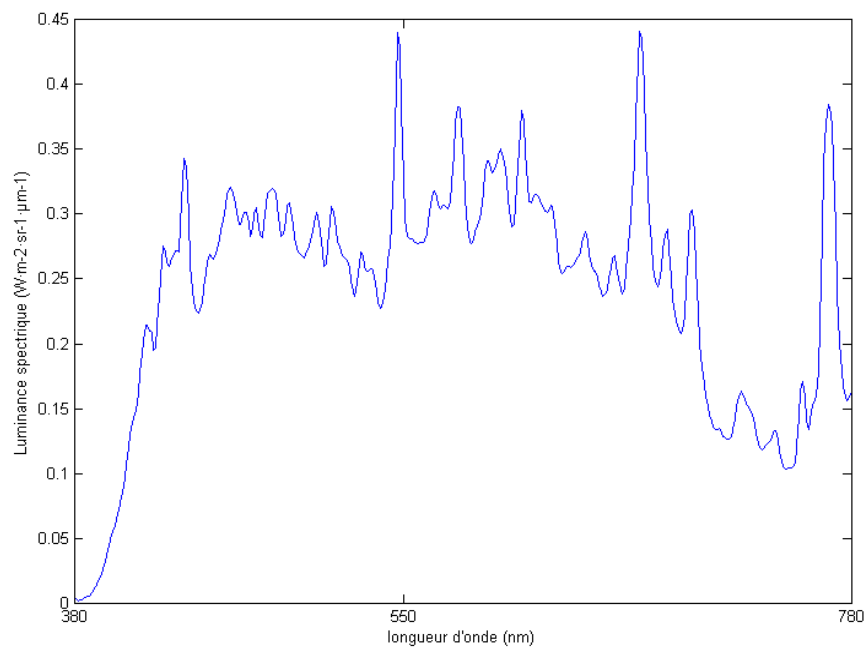


Illustration 11: Spectre d'un HMI Alpha 4 V2 de K5600

G – Coefficient de réflexion spectrale des objets

Après avoir caractérisé l'émission de la source, il faut maintenant se focaliser sur l'objet que l'on éclaire qui se caractérise par son coefficient de réflexion spectrale, c'est-à-dire par la quantité de lumière renvoyée par longueur d'onde. C'est ainsi que sont exprimés les échantillons choisis pour le calcul de l'IRC.

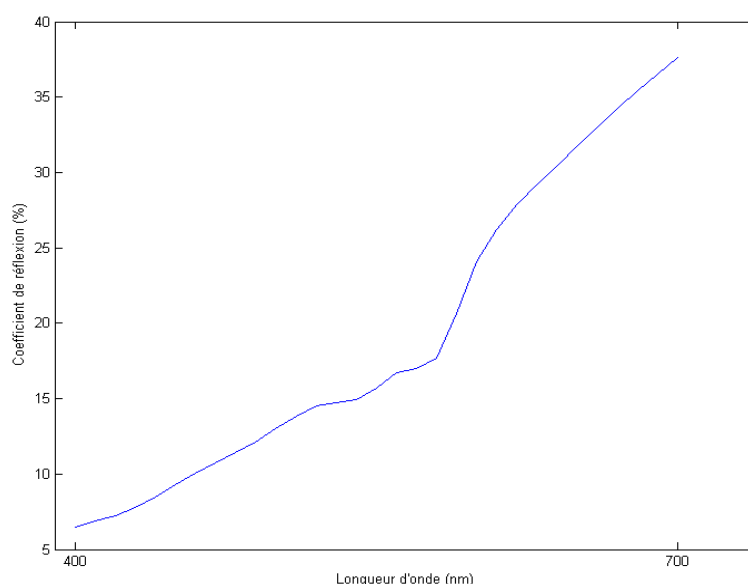


Illustration 12: Réflectance spectrale d'une chair noire mesurée au spectrophotomètre Minolta CM 3600.

L'objet éclairé par une source devient un sujet pour la prise de vue, le spectre de la source étant multiplié par celui de l'objet pour obtenir sa distribution spectrale. Pour une explication limpide à ce sujet, nous conseillons la lecture du document publié par Konica Minolta⁸. À ce stade on serait tenté de prononcer le mot couleur. Ce serait oublier que celle-ci est une interprétation mentale de stimuli véhiculés par le système visuel.

⁸ Konica Minolta Sensing Inc., *Analyse des couleurs, parlons clair: De l'appréciation visuelle de la couleur à sa mesure précise*, 2005
URL : <http://www.konicaminolta.eu/fr/instruments-de-mesure/connaissances/couleur-et-apparence/analyse-des-couleurs-parlons-clair.html>

H – La trichromie

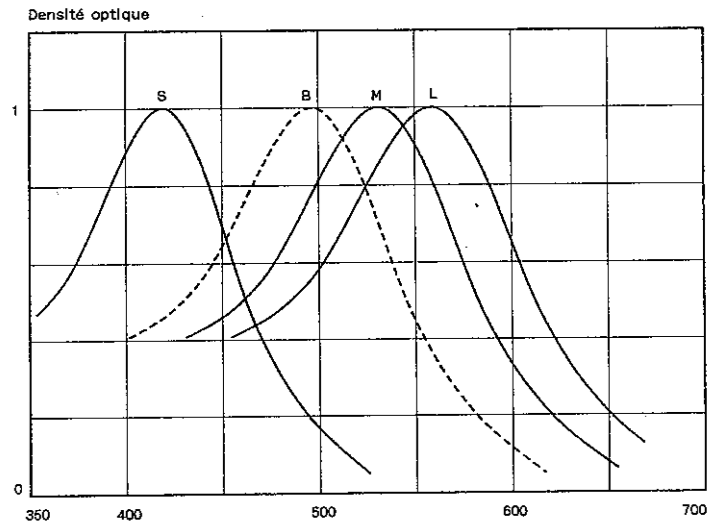


Illustration 13: Courbes de densité optique des photorécepteurs rétiniens. En abscisses la longueur d'onde (nm), en ordonnées la densité optique.

SEVE, Robert, *Science de la couleur aspect physique et perceptif*, Paris, Chalagam, 2009. p.28

La théorie de la trichromie émise par Thomas Young en 1802 et vérifiée par les recherches sur le système visuel de la seconde moitié du vingtième siècle suppose que la rétine comprend trois types de photorécepteurs sensibles à la lumière dans un domaine de luminance compris entre $1 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ (candela sur mètre carré) et $10^4 \text{ cd} \cdot \text{m}^{-2}$ appelé photopique. Ce sont les cônes : les cônes S (pour *small*, petits en anglais), réagissant au courtes longueurs d'onde, M (pour *medium*, moyen en anglais), réagissant au moyennes longueurs d'onde, et L (pour *large*, grands en anglais), réagissant au grandes longueurs d'onde. Les courbes ci-dessus indiquent le domaine de réaction de chaque type de cône. La courbe en pointillés indique le domaine de réaction des bâtonnets, un type de photorécepteur sensible aux moindres quantités de lumière dans le domaine appelé mésopique. On a donc, dans le domaine photopique, trois types de stimuli parvenant au cerveau par le système nerveux. L'interprétation de ces trois sensations donne l'information de couleur, d'où l'utilisation du terme trichromie.

C'est à partir de cette interprétation trichrome que les recherches en classification de la couleur du début du siècle ont abouti à la formulation de trois fonctions colorimétriques $\bar{r}$, $\bar{v}$ et $\bar{b}$ d'un observateur standard par la Commission Internationale de l'Éclairage en 1931, basées sur les mesures de Guild et Wright obtenues par égalisation visuelle. Ces fonctions comprenant des valeurs

négatives qui complexifient les calculs, les fonctions de mélange x , y et z les ont remplacées, origine du système colorimétrique CIE XYZ⁹.

La trichromie a ensuite été la base de la plupart des supports de prise de vue en couleur. Les films couleur comprennent une couche sensible au rouge, une couche sensible au vert et une couche sensible au bleu. Les caméras tri-CCD séparent au moyen d'un prisme la lumière en domaine du rouge, domaine du vert et domaine du bleu sur trois capteurs différents. Pour les capteurs CMOS, c'est la matrice de Bayer qui fait fonction de filtre de la couleur en rouge, vert et bleu.

I – Température de couleur proximale

La notion de température de couleur est fondée sur la loi du rayonnement thermique du corps noir énoncé par Planck. En comparant les coordonnées de chromaticité d'une source à celle du corps noir théorique porté à une température en Kelvin, on peut lui attribuer une température de couleur corrélée. Celle-ci dépend de la similitude du spectre de la source avec celui du corps noir. Voici le lieu du corps noir dans le diagramme de chromaticité CIE 1931 x y :

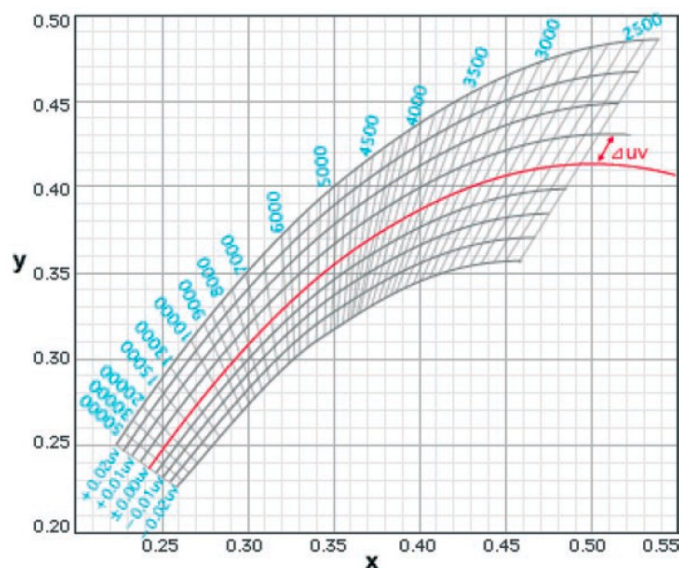


Illustration 14: Représentation du lieu planckien dans le diagramme de chromaticité 1931. En bleu la température en Kelvin (K).

« La température de couleur peut être définie pour les couleurs proches du lieu du corps noir ; c'est la température de couleur proximale ou corrélée. Pour déterminer cette température de couleur corrélée, il est nécessaire de déterminer la ligne d'isotempérature qui contient le point de couleur de

⁹ Cf Annexe 1

la source. Toutes les sources dont les points de couleur appartiennent à la même droite d'isotempérature apparaissent visuellement de même couleur ; leur température de couleur corrélée est égale à la température de couleur du point de couleur correspondant à l'intersection de la droite d'isotempérature et de la courbe du lieu du corps noir. »¹⁰

Le Δuv indiqué en rouge sur la figure permet d'indiquer l'écart avec la température de couleur référente sur la courbe d'isotempérature. Au-dessus de la courbe, le décalage est en vert, en-dessous en magenta.

La température de couleur corrélée est exprimée en Kelvin, sur une échelle non linéaire. L'échelle linéaire correspondante est celle des mired (pour *Micro Reciprocal Degree*), plus utile lorsqu'il s'agit de corriger une source de lumière ou de mettre un filtre devant la caméra. La relation pour passer d'un système à l'autre est la suivante :

$$mired = \frac{10^6}{TC} \text{ avec TC : température de couleur en Kelvin}$$

La température de couleur corrélée est un outil pratique pour qualifier les sources à spectre continu comme les tungstènes voire les spectres mixtes assimilables aux continus comme les HMI (Hydrargyrum Medium-arc Iodide) ou les ESL (Enhanced Spectrum Long arc).

La température de couleur corrélée trouve en revanche ses limites lors de l'utilisation, de plus en plus répandue, de sources à spectre de raies fonctionnant par luminescence comme les LED et les tubes fluo. En effet, la non-régularité de leur spectre rend caduque toute assimilation à un référent continu.

J – Indice de rendu des couleurs

L'indice de rendu des couleurs (IRC), a été normalisé par la commission internationale de l'éclairage (CIE) afin de répondre à la demande de plusieurs industries (textile, distribution...). L'idée de base est de comparer la couleur obtenue par l'éclairage de quatorze couleurs-tests à celle obtenue par une source idéale sur ces mêmes échantillons.

« Elles [les couleurs-test] sont définies par leurs facteurs spectraux de luminance énergétique de 360

¹⁰ Konica Minolta Sensing Inc. *Op. Cit.*

à 830 nm tous les 5 nm et correspondent à des couleurs de l'atlas de Munsell. Il y a 8 couleurs-tests peu saturées, (30% environ de facteur de luminance) : rose vif, jaune gris, vert-jaune moyen, bleu-vert moyen, bleu moyen, pourpre violet clair, pourpre clair et 6 couleurs-tests supplémentaires : rouge, jaune, vert, bleu, toutes quatre saturées, puis une teinte chair et une teinte vert-feuille. »¹¹

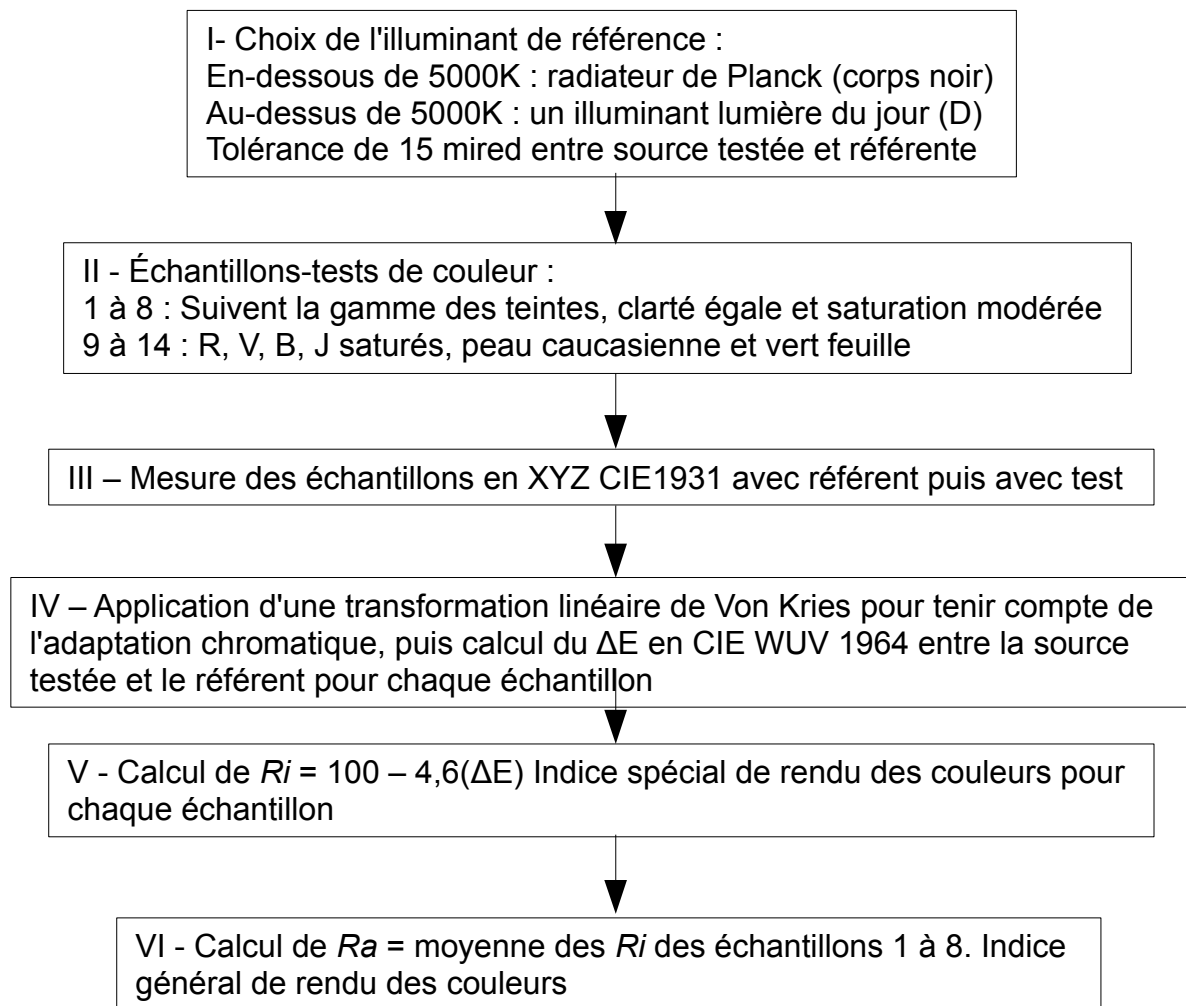
Le principe de l'IRC est d'évaluer une source par rapport à un référent idéal en température de couleur, en l'occurrence un illuminant normé. En dessous de 5000K, l'illuminant référent rayonne comme un corps noir, au-dessus comme un illuminant lumière du jour D, désigné car le spectre de la lumière du jour n'émet pas de la même manière qu'un corps noir échauffé. Le calcul de l'écart (ΔE) entre la source testée et le référent s'effectue sur une série de 14 échantillons de couleur échelonnés sur le spectre du visible, de clarté égale et de saturation faible. Le ΔE est exprimé en CIE WUV 1964, un système de données tenant compte de l'adaptation chromatique et ayant la particularité d'utiliser des fonctions de mélange pour un champ de 10°, considérées comme plus précises¹².

Après analyse du spectre d'une source, il donne un indice Ra permettant de qualifier la source en fonction de la richesse des longueurs d'onde émises, 100 étant le meilleur indice. L'IRC est utilisé au cinéma pour qualifier les projecteurs, un minimum de 90 Ra étant requis pour garantir un bon rendu à l'enregistrement. Le synoptique qui suit illustre le procédé d'obtention de l'IRC.

11 SEVE, Robert, *Op.Cit.* p.273

12 WYSZECKI, Günter, & STILES, W.S., *Color Science*, New York, Wiley Classics Library, 2000

Détermination de l'indice de rendu des couleurs (IRC) – méthode CIE 1974



Sur les documentations techniques figurent donc, pour qualifier la lumière émise par une source, sa température de couleur proximale et son IRC. On peut toutefois constater un manque dans la chaîne d'évaluation de l'éclairage : les référents sur lesquels s'appuie l'IRC sont les fonctions de mélange de l'observateur standard 10° (CIE WUV 1964).

K – Sensibilité spectrale de la caméra

Comme le fait remarquer Jean-Louis Fournier¹³ à propos de la sensibilité du film, il faudrait un miracle pour qu'un minéral possède le même domaine de sensibilité que l'œil humain. Nous pouvons sans prendre trop de risques étendre cette affirmation aux capteurs CMOS et au silicium.

Le cinéma numérique, en continuité du film qui cherchait déjà à imiter le système visuel, repose sur un traitement trichrome de la lumière reçue par le capteur. Moins utilisé aujourd'hui, le système tri-CCD sépare au moyen d'un prisme les trois gammes de longueur d'onde qui seront enregistrées sur trois capteurs R,V et B. L'enregistrement en capteur CMOS repose sur un filtrage au moyen d'une mosaïque de Bayer qui nécessite après captation une débayerisation puis une interpolation des valeurs par couche pour retrouver une image RVB. Après la conversion analogique numérique et le développement éventuel et avant tout traitement de compression, on peut considérer avoir affaire aux primaires caméra, c'est-à-dire à l'information la plus fidèle que l'on peut étudier afin de trouver la sensibilité spectrale de la caméra. Celle-ci se présente donc, tout comme les fonctions de mélange sous la forme de trois courbes que nous appellerons $\bar{r}$, $\bar{v}$ et $\bar{b}$.

Afin de déterminer sa sensibilité spectrale native, nous avons utilisé la source spectrale programmable OL490 que possède l'école Louis-Lumière en laboratoire de sensitométrie. Cet appareil permet de produire séparément toutes les longueurs d'onde du visible, au nanomètre près par pas de 5 nm. On enregistre donc une séquence en RAW, EI200, de 380nm à 780nm et voici en page suivante le résultat une fois linéarisé car le ARRIRAW est en log C. J'ai volontairement mis en regard les fonctions de mélange de l'observateur standard 2° CIE 1931.

13 FOURNIER, Jean-Louis, *La sensitométrie, les sciences de l'image appliquées à la prise de vue cinématographique*, Paris, Dujarric - CST, 2006

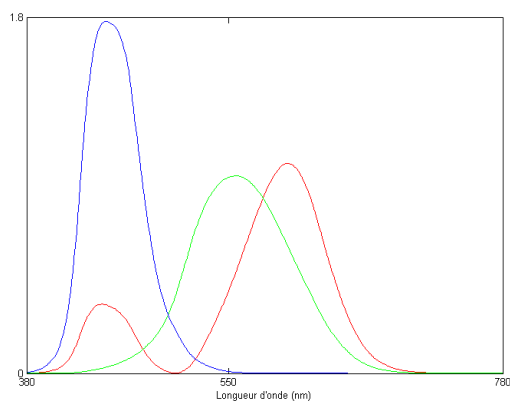


Illustration 16: Fonctions de mélange CIE 1931 pour un observateur standard 2°

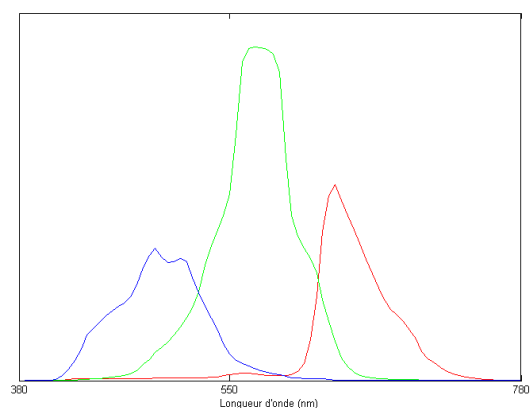


Illustration 15: Sensibilité spectrale de l'ARRI Alexa Studio R4S9 – ARRIRAW enregistré sur Codex

En rouge : $\bar{x}$, en vert $\bar{y}$, en bleu $\bar{z}$

Les écarts existants entre ce qui est le référent actuel des mesures de la couleur et notre instrument de prise de vue sont bien visibles, notamment cette bosse du rouge dans les courtes longueurs d'onde qui n'existe pas dans la sensibilité spectrale.

Par curiosité, j'ai également enregistré une séquence en REC709, EI200, 4600K. Voici la courbe obtenue :

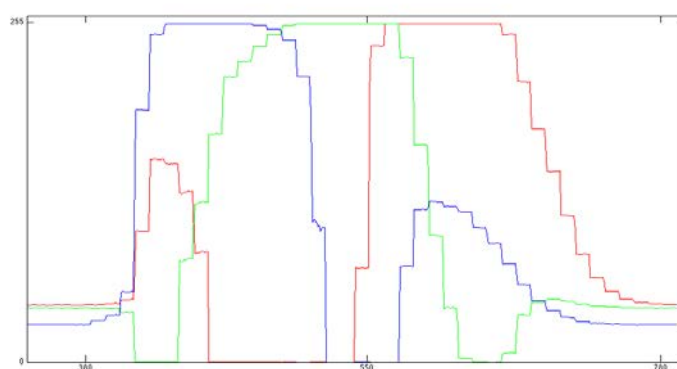


Illustration 17: Réponse des canaux rouge vert et bleu de l'Alexa R4S9 en enregistrement ProRes 4444 REC709

L'incrément est dû à la quantification sur 8 bits exigée par l'analyse. On constate que la balance des blancs a été effectuée : les signaux rouges et bleus sont au même niveau que le vert. De plus nous sommes face au résultat de deux produits matriciels : le premier permet de faire passer les

primaires caméra dans l'espace couleur ARRI Wide Gamut. Le second de l'ARRI Wide Gamut au REC709.

Si la matrice de passage des primaires caméras au ARRI Wide Gamut nous est inconnue, nous connaissons en revanche celle de passage entre le ARRI Wide Gamut et le REC 709 :

$$\begin{pmatrix} 1,617523 & -0,537287 & -0,080237 \\ -0,070573 & 1,334613 & -0,26404 \\ -0,021102 & -0,226954 & 1,248056 \end{pmatrix}$$

Elle permet, associée aux courbes, d'expliquer le traitement de la couleur lors de la fabrication du REC709 : du rouge est ajouté dans les bleus pour créer des nuances violettes, du bleu est ajouté dans les rouges pour le magenta, et on observe des valeurs négatives de bleu pour les jaunes, de rouge pour les cyans. Ce traitement permet à ARRI de sortir un REC709 avec des couleurs claquantes, ce qui va dans une logique de diffusion directe propre à ce signal.

Dans le cadre de notre étude, il est par conséquent évident que pour analyser au mieux la corrélation entre le spectre d'émission des sources et la courbe de réponse de la caméra, nous travaillerons en RAW pour se rapprocher des caractéristiques natives d'enregistrement.

Comme ce mémoire n'a pas pour sujet la sensibilité spectrale, je conseille la lecture de celui d'Arthur Briet¹⁴ qui est très fourni sur le sujet.

C'est lors d'une visite au laboratoire Éclair que Thierry Beaumel nous a projeté des essais comparatifs de caméras entre une ARRI Alexa et une RED Dragon, enregistrés en RAW. Les deux caméras ont enregistré la même ambiance de Paris de nuit éclairée par des lampadaires au sodium, sources monochromatiques. Le rendu de couleur est très sensiblement différent : vert pour la RED Dragon, orangé pour l'ARRI Alexa.

¹⁴ BRIET Arthur, *Op. Cit.*

Sans risquer de statuer sur les performances d'une caméra par rapport à l'autre, ces tests posent une question essentielle à l'heure du numérique : si un tel écart de rendu de couleurs existe entre deux caméras, pourquoi continuer à qualifier une source de lumière selon un référent unique ?

Au fil des recherches entreprises dans le cadre de ce mémoire, cette interrogation est probablement la plus centrale et la plus actuelle. En effet, si nous évaluons nos sources sans prendre en compte l'écart existant entre le référent visuel et la sensibilité spectrale du capteur, il est certain que notre stratégie d'éclairage, et notamment de correction de sources à spectre de raies, n'est pas juste.

L – Balance des blancs

En numérique, le capteur possède une température de couleur d'équilibre à laquelle les canaux rouge et bleu sont de même valeur. Pour ne pas teinter l'image lorsque l'éclairage n'a pas la même température de couleur corrélée, c'est-à-dire dans la plupart des cas, un traitement appelé "balance des blancs" adapte la valeur des canaux rouge et bleu afin de retrouver une image sans teinte.

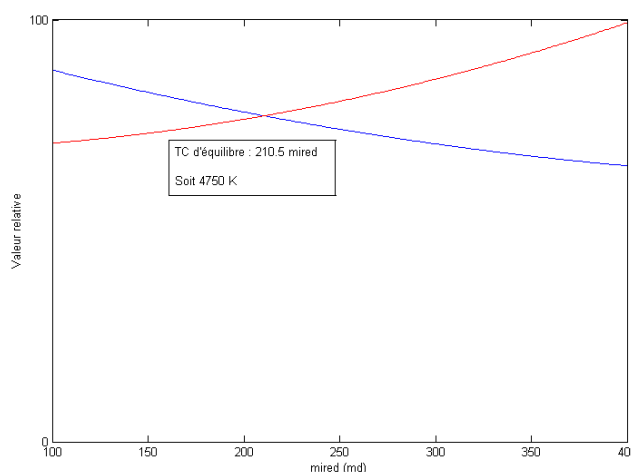


Illustration 18: Polynômes de réponse des canaux rouge et bleu de l'ARRI Alexa R4S9 en fonction de la température de couleur corrélée

M - Bilan de la partie I et axe de recherche

Cette partie nous a permis d'établir une base de vocabulaire touchant à l'éclairage ainsi que de définir un axe de recherche pour la seconde partie. Nous avons vu que, si la colorimétrie proposait de solides arguments pour caractériser la qualité de la lumière, un de ses fondements qui est le système visuel humain entraîne nécessairement un biais par rapport à une captation. Il paraît donc logique d'axer la recherche vers une nouvelle solution pour évaluer la qualité des sources de lumière dans un contexte de prise de vue.

DEUXIÈME PARTIE : RECHERCHE SUR LA QUALITÉ DE L'ÉCLAIRAGE DANS UN CONTEXTE DE PRISE DE VUES

Cette partie sera consacrée à de la recherche sur la qualité de l'éclairage en cinéma numérique. La fenêtre comme source de la lumière nous servira de contexte et de fil conducteur. Dans le but de pouvoir exploiter des mesures rapidement sur la période de temps dédiée au mémoire, j'ai décidé d'effectuer la partie pratique tôt, sans forcément avoir une direction aussi claire qu'au moment où j'écris ces lignes. Si certains tests tournés ou mesurés n'ont plus leur place dans ce mémoire car questionnant le contraste image ou la géométrie de la lumière, la plupart des relevés et plans tournés ont été très utiles. J'ai eu à ma disposition un panel de sources d'une belle variété technologique : tungstène halogène, HMI (Hydrargyrum, Mercure arc length, Iodine), tubes fluos, diodes électroluminescentes. Je considère cependant que le tournage et les relevés n'ont été qu'une prémisses de la partie pratique qui a consisté à faire de la programmation informatique, chose qui m'était pratiquement étrangère.

I – QUALIFIER LES SOURCES DE LUMIÈRE

A – Intention de l'expérience

Ayant à notre disposition un panel assez exhaustif des technologies de projecteurs utilisés en cinéma, nous nous proposons, sur la base des critères établis en première partie, d'en faire pour chacun une carte d'identité qualitative.

B – Protocole expérimental

Dans un studio plongé dans le noir, nous mesurons un blanc de laboratoire BULLIER placé à trois mètres de la source avec le spectroradiomètre CS2000 de Minolta. Après une brève description technologique du fonctionnement de la source, les résultats seront exprimés en spectre, température de couleur corrélée, indice de rendu des couleurs.

C – Résultats du tungstène-halogène : Fresnel 1kW DESISTI

Technologie :

« Une lampe TH [tungstène-halogène] est constituée d'une ampoule de verre sous vide ou remplie d'un gaz inerte, contenant un filament de tungstène. Elle produit de la lumière lorsque ce filament, traversé par un courant électrique, est chauffé et devient incandescent. »¹⁵

Spectre :

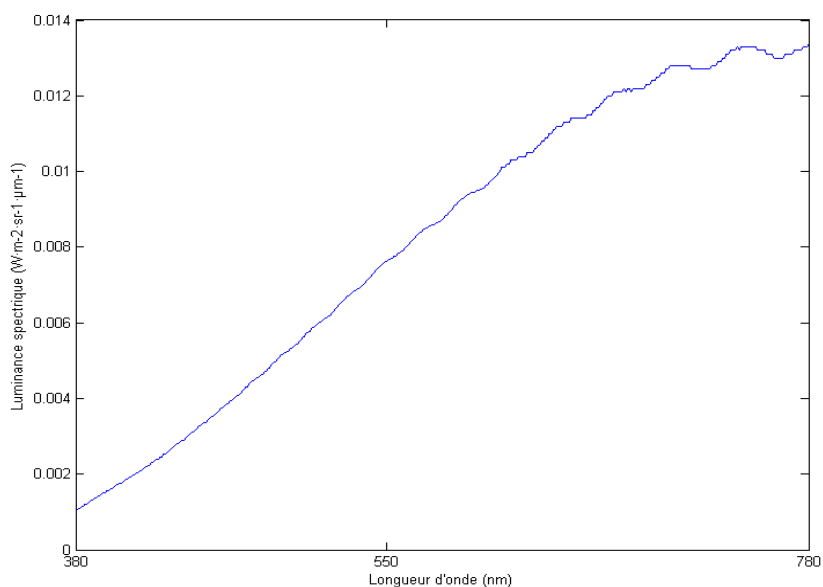


Illustration 19: Spectre du projecteur tungstène halogène 1kW DESISTI

Température de couleur corrélée	3256 K
Δuv	0,0008
IRC	99

¹⁵ BELLAÏCHE Philippe, *Op. Cit.* p.66

D – Résultats du HMI : Alpha4V2 4kW de K5600

Technologie :

« Inventée par Osram à la fin des années 1960, la lampe à décharge HMI (*Hydrargyrum, Mercure arc length, Iodine*) se présente à l'origine sous la forme d'un tube avec deux culots (un à chaque extrémité). Dépourvue de filament, elle est constituée d'une enveloppe de quartz pur épais et résistant aux températures élevées, dans laquelle se trouvent deux électrodes plongées dans un mélange de gaz rares. La combustion d'un arc électrique dans ce mélange produit une lumière blanche, dont la température de couleur est proche de celle de la lumière du jour, soit 5600 K. »¹⁶

Spectre :

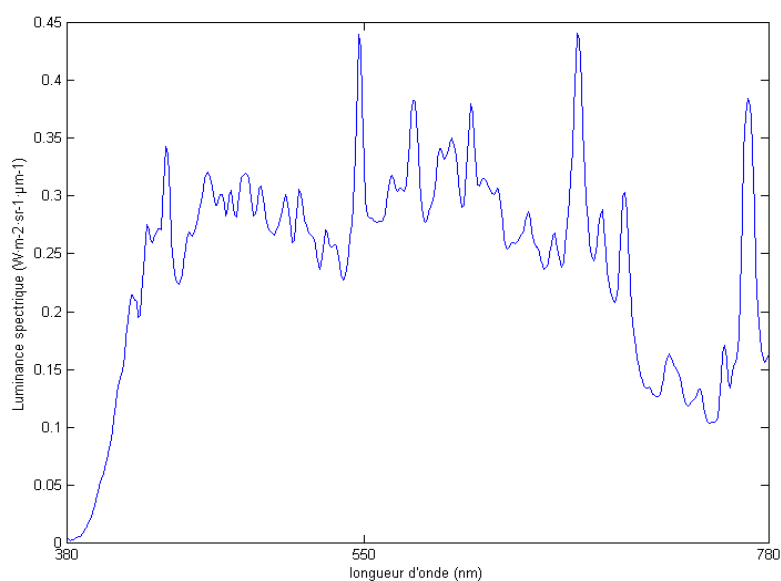


Illustration 20: Spectre du projecteur HMI Alpha4V2 de K5600

Température de couleur corrélée	4964 K
Δuv	-0,0055
IRC	96,4

¹⁶ BELLAÏCHE Philippe, *Op. Cit.* p.67

E – Résultats des tubes fluorescents : Kinoflo 4 Tubes 60 cm 3200K, Kinoflo 2 Tubes 120 cm 5600K, SoftLite T5 Small 5600K

Technologie :

« La fluorescence est la propriété que possèdent certaines molécules d'absorber les longueurs d'onde correspondant à une certaine couleur, et de réémettre immédiatement des longueurs d'onde correspondant à une autre couleur. Le principe du tube fluorescent consiste à transformer un rayonnement qui émet dans l'ultraviolet en un rayonnement qui émet dans le spectre visible. Un tube fluorescent est constitué d'un cylindre de verre rempli d'un mélange de gaz rares et de vapeurs de mercure. Sa paroi interne est tapissée d'une mince couche de substance fluorescente sous forme de poudre, et ses deux extrémités sont refermées par deux électrodes. Les électrodes, en chauffant, émettent des électrons qui, en se déplaçant, bombardent les atomes de mercure et leur communiquent une énergie. Les atomes de mercure libèrent alors cette énergie sous forme de rayonnement ultraviolet. Ce rayonnement ultraviolet est ensuite transformé en lumière visible par la couche de poudre fluorescente. La couleur de la lumière émise par le tube dépend de la composition de cette couche fluorescente.

Les tubes fluorescents sont disponibles en version « lumière du jour » (5600 K) et en version « lumière artificielle » (3200 K). »¹⁷

Nous avons testé trois projecteurs à tube fluorescents, qui diffèrent par leur température de couleur cible et leur fabricant.

¹⁷ BELLAÏCHE Philippe, *Op. Cit.* p.69

Spectres :

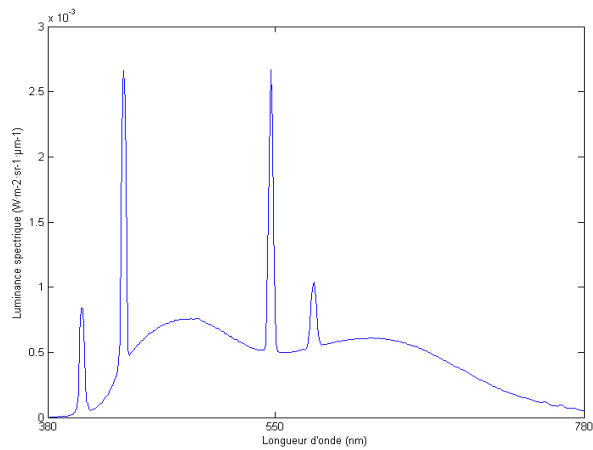


Illustration 22: Spectre d'un Kinoflo 2 tubes 120 cm "5600 K"

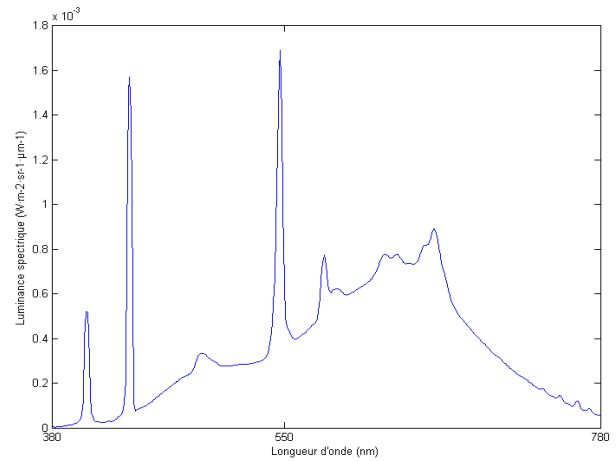


Illustration 21: Spectre d'un Kinoflo 4 tubes 60 cm "3200K"

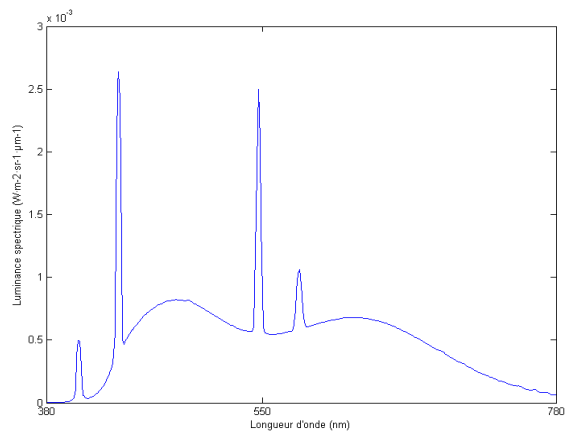


Illustration 23: Spectre d'un Softlite T5 Small "5600 K"

Nom	Kinoflo 2T120 "5600K"	Kinoflo 4T60 "3200K"	Softlite T5 Small "5600K"
Température de couleur corrélée	6170 K	3105 K	5906 K
Δuv	0,0038	-0,0013	0,0029
IRC	96,39	92,29	98,22

F – Résultats des diodes électroluminescentes : 120W DESISTI, LITEPANEL 30x30 et AREA48

Technologie :

« Sur le plan technologique, la diode électroluminescente est un composant opto-électronique constitué d'un cristal semi-conducteur encapsulé dans un matériau plastique transparent. Les électrons (négatifs) de courant sont absorbés par les trous (positifs) du réseau cristallin, et l'énergie de recombinaison est libérée sous forme de rayons lumineux. [...] On distingue aujourd'hui deux types de LED [*Light Emitting Diode en anglais*] de puissance, les LED blanches et les LED RVB (utilisées en combinaison additive). Une LED blanche est soit une LED bleue recouverte d'une couche de phosphore jaune, soit une LED émettant de l'ultraviolet qui est converti en lumière visible par une couche de phosphore. »¹⁸

Nous avons testé trois projecteurs à LED de technologie ou de fabricant différent. La technologie qui manque à notre tableau de chasse est la LED RVB.

Spectres :

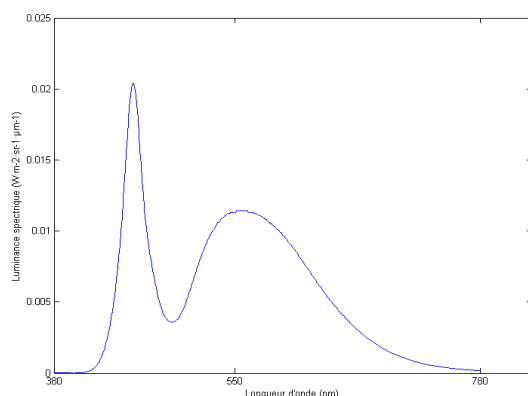


Illustration 25: Spectre du projecteur Lite Panel 30x30 40W

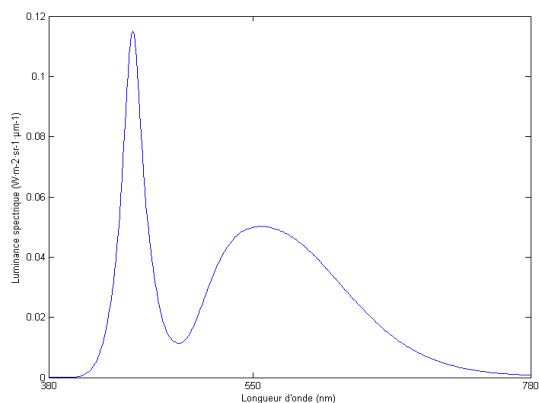


Illustration 24: Spectre d'un projecteur Fresnel à LED DESISTI 120W

¹⁸ BELLAÏCHE Philippe, *Op. Cit.* p.71-72

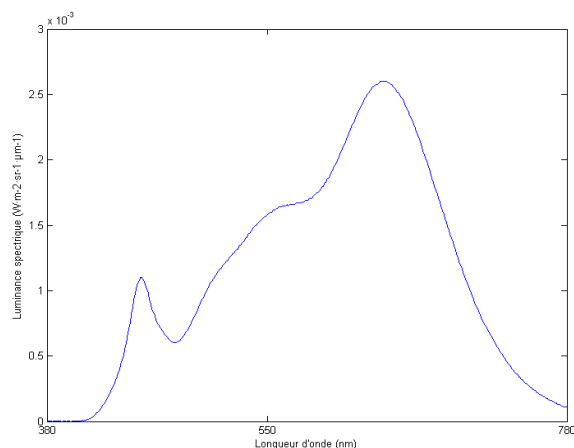


Illustration 26: Spectre du projecteur AREA 48, plaque de phosphore "3200 K"

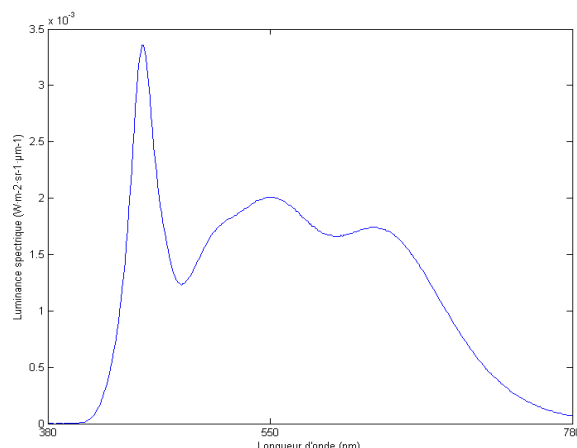


Illustration 27: Spectre du projecteur AREA 48, plaque de phosphore "5600 K"

Nom	Lite Panel 30x30	DESISTI 120W	AREA 48 "3200K"	AREA 48 "5600K"
Température de couleur corrélée	5884 K	6505 K	3045 K	5671 K
Δuv	0,0045	-0,0050	0,0008	0,0015
IRC	76,48	76,24	97,21	94,55

G - Compte-rendu d'expérience

Les résultats obtenus lors de nos mesures attestent de l'importance d'une répartition spectrale homogène pour viser une qualité de rendu de couleur acceptable pour de la prise de vue. On peut d'ailleurs constater le progrès considérable effectué en ce sens par les récentes sources à diodes électroluminescente : sur l'AREA 48, le constructeur a réussi à amplifier le rôle du phosphore en le déportant sur une plaque changeable devant les 48 diodes qui émettent puissamment un "bleu roi" entre 455 et 460 nm. La distribution spectrale est meilleure et le rendement est plus important.

Notre expérience de tournage nous indique cependant que le Δuv devrait gagner en importance dans l'expression de l'indice de rendu des couleurs. En effet, les écarts importants proches de 0,0050 jouent beaucoup sur la teinte de l'image et nous sommes souvent forcés de corriger les sources HMI ou fluorescentes au moyen de gélatures magenta ou verte.

Nous avons également confirmé qu'il fallait absolument vérifier la température de couleur corrélée des sources avant le tournage : les écarts mesurés entre la TCC des sources visant la lumière du jour et le référent à 5600K sont parfois critiques. Pour corriger le HMI à 4900 K, donc avec un écart de 26 mired, la gélature la plus appropriée est le 1/8 de CTB (*Color Temperature Blue*) qui ne corrige que 18 mired.

II – REPRODUIRE EN STUDIO LES CONDITIONS D'ÉCLAIRAGE D'UN INTÉRIEUR AVEC FENÊTRE

A – Intention de l'expérience

Si éclairer un film est affaire de choix, d'intention et de mise au service de la dramaturgie, nous avons vu en première partie que l'éclairage moderne tendait à utiliser la lumière existante d'un décor naturel comme outil. Gérard Simon, directeur de la photographie, parle de lumière "vériste". Un tournage exigeant souvent une stabilité de la lumière durant un jour entier ainsi qu'un choix d'exposition, le chef opérateur doit recréer les arrivées de jour par les fenêtres.

Malgré sa normalisation à 5600K au cinéma destinée à être une référence pour les sources imitant la lumière du jour, celle-ci est loin d'être stable en termes de couleur, d'intensité et de géométrie. J'ai récemment mesuré un soleil en fin de journée à Nantes qu'il aurait été bien plus facile d'imiter avec un tungstène qu'avec un HMI bien corrigé. La météo, la pollution, la saison sont autant de variables se répercutant sur la teinte émise par le ciel et le soleil. Il paraît d'ailleurs logique de distinguer les deux, la première étant une source ponctuelle primaire et la seconde étant la source secondaire la plus large qui soit donnant des teintes plus bleutées que le soleil.

Cela permet de jeter les bases d'un éclairage par la fenêtre plus complexe qu'on croirait. Ajoutons à cela l'existence potentielle de surfaces de couleur fortement éclairées comme des façades de maisons et on a une troisième touche d'éclairage qui enrichit d'autant plus la lumière.

La question de la reproduction de la lumière du jour en contient en fait deux autres très pratiques. Quelle marge de manœuvre dans la reproduction de la lumière du jour en studio ? Quelle fidélité des sources lors d'une scène de jour en décor naturel ? Encore une fois, il faudra tenir compte non pas du système visuel mais bien du capteur comme référent.

L'objectif de l'expérience proposée est simple : reproduire en studio une lumière naturelle par la fenêtre repérée au préalable. Ainsi la question porte non pas sur la nécessité de reproduire la lumière existante mais bien sur la possibilité de cette reproduction, en d'autres termes quels sont les moyens à notre disposition pour imiter une lumière du jour et quelles en sont les limites.

B – Protocole expérimental

Dans le cadre de cette expérience, l'ARRI Alexa Studio R4S9 va nous servir de caméra de référence et d'outil d'analyse. Nous utiliserons un spectroradiomètre CS2000 de Minolta pour effectuer des relevés.

Dans un premier temps, nous effectuerons un repérage d'un lieu éclairé par la lumière du jour à un instant T. Ce lieu devant être aisément reproductible en studio, il s'agira d'un petit bureau aux murs blancs avec une fenêtre dans la profondeur. Des relevés seront effectués à l'instant T ainsi qu'une prise de vue référente avec la caméra.

Dans un second temps, nous reproduirons un décor et une lumière identique en studio avec une installation en HMI puis en tungstène-halogène. Des relevés et deux prises de vue "reproduites" seront effectués.

Dans un troisième temps nous étalonnerons la scène reproduite en fonction de la référente afin de retrouver les mêmes sensations sur les deux plans. Les moyens mis à notre disposition étant confortables mais pas illimités, il est probable que la reproduction y trouve ses limites.

C – Résultats et Compte rendu d'expérience

Le premier constat que cette expérience permet de formuler est que notre perception est avant tout sensible au contraste. Lorsque nous avons étalonné ces plans, la première chose constatée a été le manque de niveau sur la découverte en studio par rapport à celle du jour. Nous avons été trop prudents sur la pose.

Le deuxième écart que l'on peut constater est géométrique : les ombres ne sont pas les mêmes, en termes de dégradés et de douceur. Ceci s'explique simplement par le fait qu'il nous était impossible de reproduire un ciel entier autour de cette fenêtre. Nous avons cependant pu sensiblement nous rapprocher d'un résultat plausible par l'utilisation d'une source puissante en réflexion sur une toile Ultrabounce.

Si on arrive à s'extraire de ces deux premiers biais, force est de constater, en étalonnage, les décalages importants qui existe en couleur. Nous avons d'abord étalonné pour être le plus proche de la sensation colorée du plan en décor naturel. Voici un tableau récapitulant les mesures et l'étalonnage.

Plan	TCC	TC de développement	Correction de teinte
HMI	4608 K	4600 K	+ 1,70 (vert)
Tungstène-halogène	3008 K	2900 K	0

TCC : Température de couleur corrélée

TC : Température de couleur

Il est remarquable de constater que chaque mesure révèle un décalage important entre les températures de couleur référentes admises en cinéma, à savoir 5600 K pour la lumière du jour et 3200 K pour la lumière artificielle, et nos mesures. Chacune indique que l'image a de fortes chances d'être teintée si l'on ne prend pas garde à bien contrôler ces sources. En effet, les deux températures de couleur tendent vers une couleur plus orangée et le HMI émet un surplus de magenta, ce qui est dû au vieillissement de la lampe.

Pour comparaison, nous avons également développé les plans tels qu'ils seraient teintés si on avait appliqué en développement la température annoncée par le fabricant pour le projecteur.

Les résultats de l'expérience sont assez rassurants en terme de sensation d'image : difficile de déterminer quel est le décor studio et quel est le décor naturel. Ils font état de plusieurs nécessités dans la stratégie d'éclairage actuelle : si ce n'est connaître la sensibilité spectrale de la caméra, du moins avoir testé son rendu de couleurs et l'instrument qui permet de mesurer les sources. Nous verrons plus loin que le thermocolorimètre a des biais assez importants. Il est également fondamental de considérer une source avec tous ces attributs : un couple projecteur / toile n'aura pas la même qualité de lumière qu'un projecteur seul par exemple.

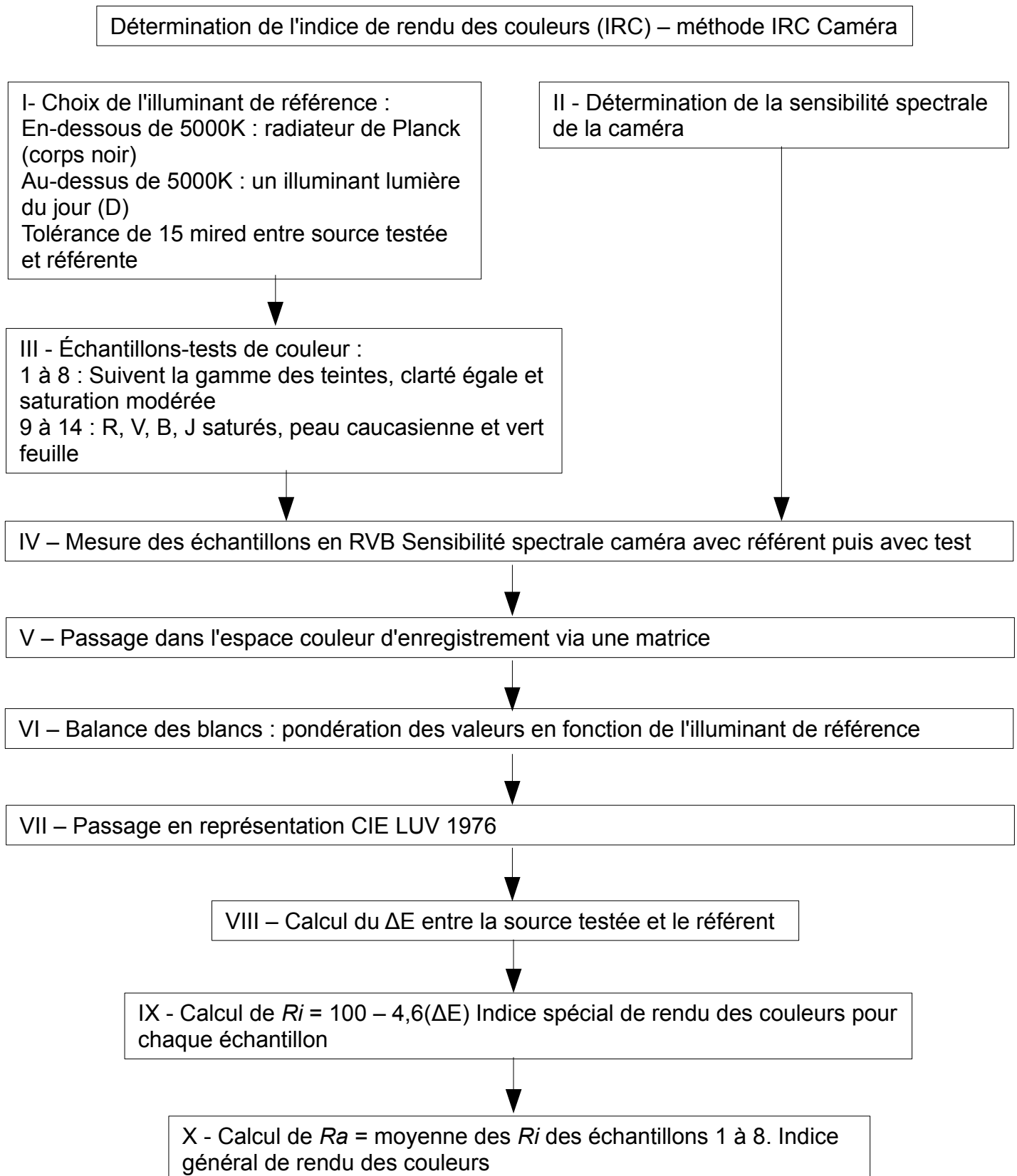
III – CARACTÉRISATION DES SOURCES AVEC UN IRC "CAMÉRA"

A – Intention de l'expérience

Nous avons constaté dans la première partie un défaut de la colorimétrie par rapport à une situation de prise de vue : celui de prendre la sensibilité spectrale du système visuel en référent et non celle de la caméra. On retrouve ce défaut dans le protocole de calcul de l'indice de rendu des couleurs (IRC), pourtant cet indice fait école dans le milieu du cinéma, notamment à la Commission Supérieure Technique (CST). Nous proposons de développer une fonction informatique dont le calcul, basée sur le même processus que celui de l'IRC, permettra d'évaluer une source en fonction de la caméra utilisée. Ayant à notre disposition un panel de sources non exhaustif mais assez varié en terme de technologie, nous pourrons ainsi comparer les résultats de calcul d'un IRC "classique" et d'un IRC "caméra" (IRCCAM) pour chaque source et voir si certains écarts peuvent être significatifs. Dans le cadre de la recherche, la caméra référente sera l'ARRI Alexa Studio R4S9, enregistrement en RAW sur CODEX.

B – Protocole de l'expérience

La première étape (la plus longue) sera de conceptualiser la fonction permettant le calcul de l'IRCCAM. Voici en page suivante un synoptique illustrant les étapes de la fonction :



Le calcul de l'IRC étant fondé sur l'écart entre un référent et une source testée, le fameux ΔE , il faut revenir dans un espace de représentation de la couleur pour pouvoir le mesurer. Nous avons choisi l'espace CIELUV 1976.

Les travaux en colorimétrie entre 1931 et 1976, notamment de MacAdam, ont permis de remettre en question le système de chromaticité CIE XYZ de 1931. L'étude des seuils différentiels de chromaticité, c'est-à-dire de notre capacité à désigner un changement d'une couleur à une autre, représentés sous la forme d'ellipses dans le diagramme de chromaticité CIE xy 1931 prouve en effet que les couleurs perçues ne sont pas réparties équitablement dans l'espace¹⁹. La recherche s'est donc axée sur les systèmes à chromaticité uniforme.

« En 1964 la CIE désireuse de généraliser sa proposition de diagramme de chromaticité uniforme de 1960 recommanda, sur la proposition de Wyszecki, un diagramme correspondant aux relations

$$W^* = 25Y^{1/3} - 17 \quad U^* = 13W^*(u-u_n) \quad V^* = 13W^*(v-v_n)$$

avec u et v correspondant au diagramme de MacAdam. Cet espace, utilisé un certain temps, fut remplacé en 1976 par CIELUV et, bien qu'utilisé pour le calcul de rendu des couleurs des sources d'éclairage, ne possède plus qu'un intérêt historique. »²⁰

Ainsi l'espace chromatique utilisé dans le calcul de l'indice de rendu des couleurs a été en fait reconnu caduque par la CIE. Cela fait une première raison pour en choisir un autre. Mais le choix de CIELUV 1976, outre qu'il est un espace chromatique « à peu près uniforme »²¹ pour notre fonction tient avant tout à son avantage considérable de tenir compte de l'illuminant de référence. Pour nous qui cherchons à comparer une source testée à un illuminant qui, on le rappelle, correspond au lieu du corps noir en-dessous de 5000 K et aux illuminants série D (pour Daylight, lumière du jour) au-dessus, c'est un grand pas.

19 SEVE Robert *Op. Cit.* p.133-137

20 SEVE Robert *Op. Cit.* p.144

21 SEVE Robert *Op. Cit.* p.145

La conversion en CIELUV ou $L^*u^*v^*$ (notés L° , u° et v° car la fonction formule du traitement de texte n'aime pas les astérisques) s'effectue par les calculs suivants :

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} \quad v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z}$$

$$L^\circ = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad u^\circ = 13 L^\circ (u' - u'_n) \quad v^\circ = 13 L^\circ (v' - v'_n)$$

Avec L° (ou L^*), la clarté ; et Y_n , u'_n et v'_n les coordonnées de l'illuminant de référence.

CIELUV 1976 présente l'avantage de produire un nouveau diagramme de chromaticité uniforme en $u' v'$:

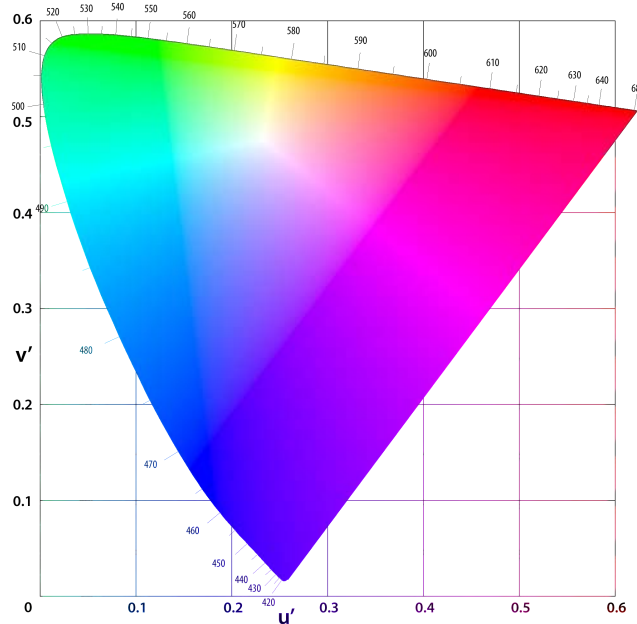


Illustration 28: Diagramme de chromaticité CIE LUV $u' v'$.

Les couleurs ne sont qu'indicatives.

Dans la fonction, on obtiendra donc les coordonnées de chaque échantillon testé (i) et de chaque référent) en L^* , u^* et v^* (notés L° , u° et v° car la fonction formule du traitement de texte n'aime pas les astérisques). Il faut alors calculer la différence de couleur entre la testée (k) et la référence (r) par échantillon, le ΔE_i :

$$\Delta E_i = \sqrt{(L^\circ r - L^\circ k)^2 + (u^\circ r - u^\circ k)^2 + (v^\circ r - v^\circ k)^2}$$

L'IRC "Caméra" R_i particulier à chaque échantillon (i) s'obtient alors par un coefficient d'adaptation pour le noter sur cent.

L'IRC "Caméra" R_a pour l'ensemble des échantillons s'obtient en faisant la moyenne des R_i .

La programmation de la fonction est effectuée au moyen du logiciel MATLAB.

Un panel de dix sources est mesuré au spectroradiomètre CS2000. Leurs spectres, mesurés sur un blanc neutre de laboratoire réfléchissant 90% de la lumière, sont ensuite analysés à l'aide d'une fonction informatique créée par Alain Sarlat, professeur en sensitométrie numérique à l'ENS Louis-Lumière, pour calculer leurs IRC "classique". Les mêmes spectres passent ensuite par le calcul de la fonction IRC "Caméra".

En comparant les résultats obtenus à l'aide des deux méthodes, nous pouvons, sans oublier que notre caméra référente est unique, étudier les écarts qui en ressortiront et évaluer la qualité des sources.

C – Caractéristiques intégrées

La sensibilité spectrale de la caméra est obtenue par la méthode proposée par Alain Sarlat à l'ENS Louis-Lumière : grâce à une source spectrale programmable OL490, on enregistre cinq niveaux d'intensité toutes les cinq longueurs d'onde en parcourant le spectre de 380 à 780 nanomètres. Cela donne en résultat un solide en trois dimensions : en abscisses la longueur d'onde, en ordonnées les valeurs numériques et en profondeur la lumination.

L'obtention des coordonnées en RVB caméra depuis les spectres s'effectuera en intégrant sur la longueur d'onde entre 380 et 780 nanomètres, de la même manière que sont obtenues les coordonnées en XYZ pour l'observateur standard CIE 1931, c'est-à-dire en prenant en compte la distribution spectrale de la source ($S\lambda$), le coefficient de réflexion ($R\lambda$) de l'échantillon et la sensibilité spectrale de la caméra (les fonctions de mélange $\bar{r}$, $\bar{v}$ et $\bar{b}$), K étant un coefficient d'adaptation. On a donc :

$$R = K * \int_{380}^{780} S\lambda * R\lambda * \bar{r} d\lambda \quad V = K * \int_{380}^{780} S\lambda * R\lambda * \bar{v} d\lambda \quad B = K * \int_{380}^{780} S\lambda * R\lambda * \bar{b} d\lambda$$

Le passage dans l'espace couleur d'enregistrement (par exemple le Wide Gamut pour l'Alexa de ARRI) suppose un pré-traitement de la couleur avant fabrication du fichier RAW. Ne disposant pas de cette information, la matrice sera neutre dans notre fonction (elle ne changera pas les valeurs traitées).

En format RAW, l'image est enregistrée à la température de couleur d'équilibre du capteur, la température de couleur de l'éclairage devenant une information enregistrée dans les métadonnées. Il faut donc implémenter dans la fonction les polynômes de balance des blancs, qui donnent le décalage à apporter dans les canaux rouge et bleu en fonction de la température de couleur de l'éclairage en mired, l'échelle linéaire étant préférée.

D – Résultats d'expérience et compte-rendu

Désignation	IRC 1974	IRC "Alexa R4S9"	Δ IRC
TH Fresnel 1kW DESISTI	99	97,63	1,37
HMI Alpha4V2 4kW	96,4	92,76	3,64
Kinoflo 2 tubes 120 "Daylight"	96,39	73,02	23,37
Kinoflo 4 tubes 60 "3200K"	92,29	92,5	-0,21
SoftLite T5 Small "Daylight"	98,22	76,12	22,1
Lite Panel 30x30	76,48	78,15	-1,67
LED 120W DESISTI	76,24	72,9	3,34
AREA 48 "3200K"	97,21	90,48	6,73
AREA 48 "Daylight"	94,55	81,39	13,16

Les résultats montrent clairement que la fonction développée est plus critique vis-à-vis de la qualité des sources voulant imiter la lumière du jour : seul le HMI conserve un indice de rendu de couleur tel qu'on peut l'utiliser en prise de vue. Nous avons donc ici la démonstration que l'ARRI Alexa Studio est très sujette à teinter l'image enregistrée si on utilise les sources "lumière du jour" à tubes fluorescents ou à LED en prise de vue. Il faut donc être très prudent lorsqu'on caractérise les sources avec le calcul d'un indice de rendu de couleur 1974.

L'expérience mériterait d'être étendue en implémentant la sensibilité spectrale d'autres caméras, pour avoir une vraie comparaison. En effet, si tous les fabricants tendent vers une reproduction des couleurs qui se veut proche du système visuel humain, nous avons ici une preuve très concrète qu'outre la distribution spectrale des sources, la sensibilité spectrale d'une caméra est une caractéristique très critique en termes de captation de la couleur.

E – Critique du protocole proposé

Plusieurs éléments de la fonction proposée pour le calcul d'un IRC "caméra" restent liés aux fonctions de mélange CIE 1931 et donc à la sensibilité spectrale du système visuel : le calcul de la température de couleur corrélée de la source ainsi que l'espace CIELUV qui traduit XYZ dans un espace de chromaticité (quasiment) uniforme. Pour s'affranchir complètement de toute pondération de la vision normalisée par la CIE, il faudrait en fait inventer un nouveau système de représentation basé uniquement sur les valeurs physiques. Nous développerons ce raisonnement dans la troisième partie du mémoire.

TROISIÈME PARTIE : CONFRONTATION DE NOTRE RECHERCHE AVEC LA PRATIQUE DES TOURNAGES

I – IMPACT SUR L'ÉVALUATION DES SOURCES :

A – Technologie des sources de lumière

Un bref regard sur les parcs de projecteurs utilisés lors des tournages actuels pourrait vite nous faire déduire que les bouleversements sont peu fréquents dans l'éclairage cinéma. En effet, les sources au tungstène-halogène restent extrêmement utilisées en plateau et en intérieurs naturels, plébiscitées pour leur puissance, leur IRC proche de 100 et leur capacité à être mise sur variateur. Les projecteurs HMI sont utilisés en décors naturels pour imiter la lumière du jour, ils disposent également d'un IRC au dessus de 90, proposent une gamme de puissance très complète ainsi que la possibilité, comme les tungstène-halogènes, de sources ponctuelles permettant de belles ombres nettes. Nous avons vu que les tubes fluorescents destinés au cinéma possédaient également un IRC correct. Ces sources à faible puissance mais de large taille permettent de créer des arrivées de lumière diffuses. Les tubes offrent également l'intérêt de ne pas émettre beaucoup de chaleur et peuvent donc être dissimulés dans beaucoup d'endroit inaccessibles pour les tungstène-halogènes ou les HMI. En termes de variété de technologie ces trois catégories forment la quasi totalité du magasin lumière des loueurs cinéma.

Les récentes avancées qualitatives des diodes électroluminescentes (DEL ou LED) ont permis leur intégration dans la liste des projecteurs utilisés en cinéma. Si, depuis le début des années 2000, certains projecteurs à DEL avaient été proposés, ils avaient de très lourds défauts de rendu de couleur, devant systématiquement être corrigés en vert ou en magenta. Certains projecteurs développés depuis le début des années 2010, comme le ARRI L7-C (technologie LED RVB) ou l'AREA 48 proposent, nous l'avons vu, de bien meilleurs IRC dûs à un spectre riche. De plus, la faible consommation de ces sources couplée à un rendement grandissant (l'AREA 48 rivalise avec une face ouverte tungstène-halogène 2kW) tendrait à leur faire une part de plus en plus belle dans le camion électrique. Pour avoir eu la chance de tourner avec des projecteurs à diodes électroluminescentes, nous dirons que les deux problématiques qui restent à régler est leur rapport poids / rendement et la gestion des ombres multiples, la puissance de ces sources dépendant encore du nombre de diodes qui les composent.

Le calcul d'un IRC relatif à la caméra permet d'être plus critique dans l'évaluation d'une source et ne pas se laisser bernier par son œil qui est en constante adaptation par rapport à la lumière qu'il reçoit et qui est fondamentalement différent du capteur photosensible. Nous avons vu que finalement, parmi les sources tentant de reproduire la lumière du jour, seul le HMI possède un rendu des couleurs correct. On notera aussi que le projecteur LED 120W DESISTI possédait un meilleur IRC "Caméra" que "Classique". Cela induit une potentielle stratégie de choix du parc de sources en fonction de la caméra.

Notre plan-test de reproduction de la lumière du jour a prouvé que, disposant de ces catégories de projecteurs, il était possible de retrouver la sensation d'un lieu éclairé naturellement, en terme de qualité de l'éclairage. Toutefois, nous savons par des témoignages d'opérateurs et de chefs électriciens que le vieillissement des lampes HMI et des tubes fluo détériore leur qualité de rendu des couleurs. Il n'est par exemple pas rare de devoir corriger un HMI qui émet trop dans le magenta par de la gélatine verte afin d'éviter (entre autres) des teintes chaires rougeâtres.

De plus, l'éclairage pré-existant sur le décor, comme les tubes ou les ampoules à économie d'énergie en intérieur peuvent être souhaités apparaître dans le cadre. Ces lampes ayant un IRC très faible, il faut alors soit les remplacer, soit les corriger.

B – Mesure des sources de lumière : vers un nouvel espace de représentation

Une question de fond que pose notre recherche par rapport à ce genre de cas pratique est finalement : avec quel instrument mesurer la correction à apporter ? Le thermocolorimètre reste la solution adoptée par la profession. Nous avons vu précédemment qu'on ne pouvait évaluer la qualité de la couleur enregistrée qu'en associant au calcul la sensibilité spectrale de la caméra. Or le référent sensible du thermocolorimètre sont bel et bien les fonctions de mélanges de l'observateur standard CIE 1931. En gardant cet instrument de mesure, on admet donc de fait son décalage. Il sert finalement plus comme comparateur pour équilibrer toutes les sources entre elles. Ainsi, si une source considérée "réfèrent" sur la prise (un ciel par exemple) est mesurée au thermocolorimètre et que l'opérateur ou le chef électricien s'ingénie à équilibrer toutes les sources selon la référence avec des gélatines de correction, il y a fort à parier que l'image sera teintée si l'indice de température de couleur annoncé sur la caméra suit la mesure du thermocolorimètre.

Comme évoquée en critique de la fonction proposée lors de la recherche, il est possible que la solution pour s'affranchir de toute représentation pondérée par les fonctions de mélange de l'observateur standard soit l'invention d'un nouveau modèle fondé uniquement sur des canaux d'enregistrement caméra.

C – L'indice TLCI (*Television Light Consistency Index*), un IRC pour les LED à la télévision

En 2012 la *European Broadcast Union (EBU)*, en française Union des Diffuseurs Européens, a normalisé un indice qualifiant les sources de lumières à LED dont beaucoup de plateaux télévisuels s'équipaient en raison de leur rendement. Fondé sur la recherche du *LED Lights Project Group* (Groupe de travail sur les sources à diodes électroluminescentes), le TLCI a vocation de supplanter l'indice de rendu de couleurs de 1974, reconnaissant ses biais²².

Le concept est d'avoir un outil permettant, d'une part de calibrer toutes les sources LED utilisées sur le plateau de la même manière, et d'autre part, de calculer la correction colorimétrique à apporter par l'ingénieur de la vision. Le principe d'évaluation du TLCI, assez similaire à celui de l'IRC²³, introduit la notion de caméra standard, et donc d'utilisation d'une sensibilité spectrale "type" calculée sur un panel de caméras utilisées en télévision. Le modèle de caméra est formé d'un capteur Tri-CCD. En voici les courbes :

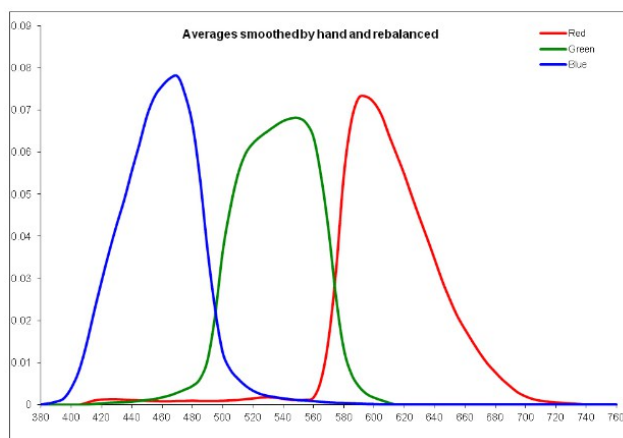


Illustration 29: Sensibilité spectrale de la caméra "Standard" proposée pour le calcul du TLCI 2012

22 EBU, FTV-LED, *TECH 3354 – Comparison of CIE Colour Metrics For Use In The Television Lighting Consistency Index (TLCI 2012)*, 2012, URL <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3354.pdf>

23 EBU, FTV-LED, *TECH 3353 – Development Of A "Standard" Television Camera Model Implemented In The TLCI 2012*, 2012, URL <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3353.pdf>

Voici maintenant les résultats de tests TLCI du projecteur AREA 48, fournis par son constructeur Henrik Christensen :

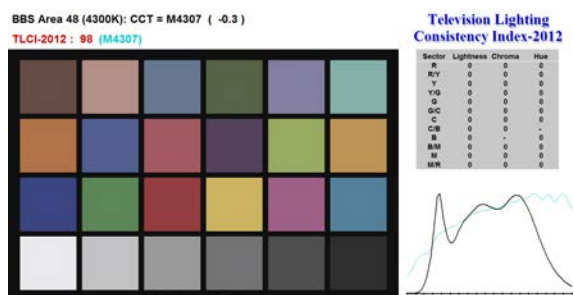


Illustration 31: Résultat TLCI pour AREA48 à 4300K



Illustration 30: Résultat TLCI pour AREA 48 à 3200K

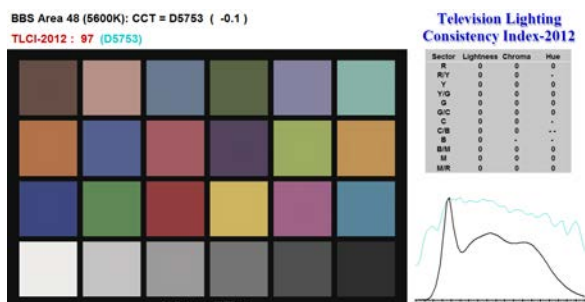


Illustration 32: Résultats TLCI pour AREA48 à 5600K

A chaque résultat on produit une *Color Checker* (une charte composée d'échantillons de couleur dont on connaît les caractéristiques) dans l'espace couleur REC709, accompagnée d'un tableau récapitulatif des modifications à effectuer pour chaque domaine de couleur, données en attributs de perception : teinte, saturation, clarté. Le spectre de la source testée en noir et le spectre de l'illuminant référent en bleu pour comparaison figurent sous le tableau.

A première vue, on serait tentés de relier le TLCI à notre recherche. Cependant il a été créé pour une gestion de la couleur "plateau" sur une image déjà développée et exprimée dans la norme REC709. Si nous appliquons le TLCI à la mesure des sources au cinéma, nous irions à l'encontre des stratégies de tournage en RAW. Le fait que la plupart des caméras cinéma numérique soient équipées de capteurs CMOS annule également tout lien possible. En revanche, le concept d'une caméra "standard" et le refus d'utiliser l'IRC de 1974 nous conforte dans la démarche entreprise dans ce mémoire en ce qu'ils remettent en cause les fonctions de mélange de l'observateur standard de

1931 comme étalon de gestion de la couleur. Il est également intéressant de vouloir raisonner en attributs de la perception, ce que permet l'espace CIE L*C*h* (pour *Lightness*, *Chroma*, *hue*) dérivé du CIE LUV 1976.

II – IMPACT SUR L'ÉVALUATION DES CAMÉRAS

A – Potentiel comparatif de la fonction proposée

Si la fonction proposée est d'abord destinée à tester des sources en fonction d'une caméra, il est tout à fait possible de l'utiliser en gardant la même source et en changeant les données de sensibilité spectrale de caméra implémentées. Cela donne un outil en plus dans le choix d'une caméra et permet de concrétiser son rendu de couleurs. Il ne s'agit pas, bien sûr, d'établir qu'une caméra est supérieure à une autre. Il est en revanche évident qu'en fonction du contexte d'éclairage ou d'une coloration de l'image voulue, une caméra sera plus adaptée qu'une autre.

B – Sensibilité spectrale, vers une nouvelle maîtrise de la captation des couleurs

L'idée de devoir maîtriser la sensibilité spectrale de la caméra est très récente. En effet, en pellicule c'est la structure chimique qui détermine la réponse en fréquence. Celle-ci est donc du ressort du fabricant. L'opérateur réglait donc ses sources selon la température de couleur indiquée par Kodak, Fuji ou Agfa : 3200 K ou 5600 K.

Le numérique change la donne : chaque caméra ayant une sensibilité spectrale et une température d'équilibre du capteur différentes, il devient possible de les choisir et, du même coup, de penser une stratégie d'éclairage adaptée pour enregistrer une image de la qualité souhaitée. Choisir, au final de ne pas teinter dès la prise de vue ces images, ou de le faire en connaissance de cause. Encore faut-il avoir les outils pour pouvoir comparer efficacement les sources entre elles. Peut-être qu'un nouveau standard de gestion de la couleur pourrait apporter des pierres à l'édifice ?

C – L'Academy Color Encoding System (ACES)

L'ACES est une proposition de l'AMPAS (*American Motion Picture Arts and Sciences*) destinée à unifier la gestion de la couleur dans le travail de postproduction cinéma. L'idée est de proposer un espace couleur théorique, le ACES RVB, dans lequel tous les films seraient travaillés. Les coordonnées des primaires R, V et B, situées géométriquement hors de l'espace de chromaticité XYZ, créent un nouvel espace de chromaticité suffisamment large pour englober celui formé par les primaires d'enregistrement en maximisant l'efficacité du codage. Ainsi, au moyen d'une *Input Device Transfer (IDT)*, chaque image est passée des primaires d'enregistrement vers l'ACES RVB.

La postproduction peut ensuite s'effectuer dans cet espace de travail sans risquer de dégrader l'image en travaillant dans un espace couleur plus petit, celui de la norme ITU-REC709 par exemple. Il faut cependant que les fabricants de caméra veuillent bien fournir les informations de primaires d'enregistrement et par extension de sensibilité spectrale pour construire la matrice de l'IDT, ce qui n'est pas toujours le cas.

L'ACES nous intéresse en tant que support de réflexion car il sert la même logique que la problématique connexe à ce mémoire : comment inclure la sensibilité spectrale de la caméra dans la chaîne de traitement de la couleur ?

Ce système y répond en proposant un espace couleur standard après enregistrement. Cependant, il faut souligner que l'espace couleur ACES est formé à partir des fonctions de mélanges d'une caméra théorique qui, comme l'indique Nejib Boubaker dans son mémoire²⁴, sont calquées sur celle de l'observateur standard 2° CIE 1931. En ce qui nous concerne, on se retrouve donc face au même problème que celui soulevé précédemment : le système visuel est utilisé comme référent. On ne peut donc pas l'appliquer à notre idée d'évaluation de la qualité des sources de lumière en fonction de la caméra. Il faut inventer autre chose.

²⁴ BOUBAKER Nejib, *Vers une gestion de la couleur au cinéma : l'Academy Color Encoding System (ACES)* Mémoire sous la direction d'Alain Sarlat, option Photographie à l'ENS Louis-Lumière, 93, soutenance de juin 2013

D – Proposition pour assumer un espace couleur propre à chaque caméra

En parcourant différents moyens d'appréciation et de gestion de la couleur au cinéma au long de ce mémoire, nous avons pu constater qu'aucun système ne répondait de manière complète à notre envie de pouvoir établir la qualité d'une source de lumière. Il ressort cependant très clairement que la sensibilité spectrale de la caméra utilisée est la pierre d'achoppement de l'édifice, si celui-ci a lieu d'être.

À l'heure de l'informatique, de calculs infiniment complexes possibles, et de la représentation en trois dimensions, n'est-il pas envisageable de pouvoir créer un espace couleur propre à la caméra utilisée ? Il suffit pour cela d'avoir mesuré la sensibilité spectrale de celle-ci. Les primaires R,V et B de la caméra délimiteraient un espace couleur en trois dimensions, la valeur numérique servant d'unité de base. La température de couleur corrélée et le fameux Δuv seraient obtenus dans un diagramme de chromaticité uniforme propre à la caméra. Peut-être pourrait-on alors parler de blanc référent de la caméra ? L'indice de rendu des couleurs aurait un référent correct. Il serait possible, en préparation ou sur le tournage, et en un clic, d'observer le décalage existant entre une source utilisée et un référent idéale pour la caméra.

Notre expérimentation a été un long apprentissage. Venant d'une filière non-scientifique, il a fallu nous former à des notions de mathématiques et de programmation de base, ce qui a pris du temps. Cela dit, pour qui est déjà mieux préparé à assimiler ces concepts, la création d'une fonction, voire d'un logiciel, pour formuler l'espace couleur d'une caméra et ainsi pouvoir prétendre à une gestion de la couleur maîtrisée dès le tournage serait un jeu d'enfants. Il s'agit en fait plus d'une question de temps de disponibilité et d'intérêt de la profession pour cette problématique.

Cette vision utopiste est pour l'heure limitée par trois facteurs : absence de demande (donc absence de recherche), renouvellement rapide des caméras, volonté des fabricants de ne pas divulguer trop d'informations (problème similaire à celui de l'IDT en ACES). L'absence de demande s'explique par le fait que la gestion de la couleur, qui plus est en numérique, est un phénomène nouveau pour une génération de directeurs de la photographie qui fait confiance à son œil, seul comparateur valable entre deux pellicules par exemple.

E – Vers une caméra Open Source

L'un des mécanismes, purement commercial, qui entrave une recherche avancée vers la gestion de la couleur est le manque d'enthousiasme des fabricants de caméra à communiquer leur manière d'amener les primaires d'enregistrement dans un espace couleur visible. Ce phénomène, que l'on peut difficilement mettre en cause puisque c'est un fond de commerce, est peut être sur le point d'être solutionné par l'arrivée sur le marché d'une caméra *Open Source*, ou code source ouvert : l'Axiom apertus°. Cette caméra, que l'utilisateur pourra commander avec les modules qu'il aura choisi, laisse un champ complètement ouvert en termes de gestion de la couleur puisque le code informatique traitant le signal est laissé complètement entre les mains de l'utilisateur. Il suffira donc de déterminer les caractéristiques natives de la caméra : sensibilité, sensibilité spectrale et température d'équilibre du capteur et, en ce qui concerne notre problématique, nous aurons toutes les informations requises pour une vraie maîtrise de la couleur filmée.

CONCLUSION

Maîtriser l'éclairage en cinéma numérique exige une connaissance aigüe de la chaîne du rendu de la couleur. Nous avons vu au long de ce mémoire que celle-ci était loin d'être normalisée et qu'il fallait savoir être prudent avec les sources que l'on utilise, particulièrement lorsqu'il s'agit d'imiter la lumière du jour.

Les récentes tentatives de solutions présentées dans la troisième partie sont rassurantes car il y a une vraie reconnaissance de deux données qui en film échappait au contrôle des directeurs de la photographie : la sensibilité spectrale de la caméra et la température d'équilibre du capteur. Loin de les considérer comme un fardeau, il est peut être temps de se les approprier et d'adapter les méthodes d'éclairage à la caméra utilisée. Devant l'importance considérable prise par la postproduction en numérique et les choix de couleur faits en post production, il semble intéressant pour qui signe l'image de se doter d'un moyen concret de poser la couleur et ce dès l'enregistrement. Si la multiplication des systèmes de retour vidéo sur le plateau brouille encore plus les pistes car, bien sûr, on n'y voit pas ce qu'on enregistre, il est sûrement envisageable d'introduire un nouvel instrument de mesure de la couleur, un colorimètre par exemple dans lequel il serait possible d'implémenter les caractéristiques de la caméra.

L'écriture de ce mémoire et la recherche associée auront été un long apprentissage en colorimétrie, en technologie des sources et en enregistrement de la couleur. Aujourd'hui en possession d'un bon nombre d'éléments permettant de tirer au clair le chemin de la couleur en numérique, nous sommes très reconnaissants auprès de l'ENS Louis-Lumière de faire exister un enseignement et une recherche de qualité sur ce sujet. Nous espérons très fort qu'ils perdurent.

BIBLIOGRAPHIE

BELLAÏCHE Philippe, *Les secrets de l'image vidéo*, Paris, Eyrolles, 2013

BOUBAKER Nejib, *Vers une gestion de la couleur au cinéma : l'Academy Color Encoding System (ACES)* Mémoire sous la direction d'Alain Sarlat, option Photographie à l'ENS Louis-Lumière, 93, soutenance de juin 2013

BRIET, Arthur, *Noir & blanc et couleur, Histoires d'oppositions et d'appariements* Mémoire sous la direction de Giusy Pisano et Alain Sarlat, option Cinéma à l'ENS Louis-Lumière, 93, soutenance de juin 2013

DEL LUNGO, Andrea, *La Fenêtre: Sémiologie et histoire de la représentation littéraire*, Paris, Poétique, 2014

EBU, FTV-LED, *TECH 3354 – Comparison of CIE Colour Metrics For Use In The Television Lighting Consistency Index (TLCI 2012)*, 2012, URL <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3354.pdf>

EBU, FTV-LED, *TECH 3353 – Development Of A "Standard" Television Camera Model Implemented In The TLCI 2012*, 2012, URL <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3353.pdf>

FOURNIER, Jean-Louis, *La sensitométrie, les sciences de l'image appliquées à la prise de vue cinématographique*, Paris, Dujarric - CST, 2006

KONICA MINOLTA SENSING INC., *Analyse des couleurs, parlons clair. De l'appréciation visuelle de la couleur à sa mesure précise*, 2005 URL : <http://www.konicaminolta.eu/fr/instruments-de-mesure/connaissances/couleur-et-apparence/analyse-des-couleurs-parlons-clair.html>

LE BARH, Laurène, *Les hautes lumières en cinéma numérique*, Mémoire sous la direction d'Alain Sarlat, option Cinéma à l'ENS Louis-Lumière, 93, soutenance de juin 2014

MORIN, Paul, *Quelles stratégies d'exposition en prise de vues numérique ?* Mémoire sous la direction d'Alain Sarlat et Jean Coudsi, option Cinéma à l'ENS Louis-Lumière, 93, soutenance de juin 2014

NAKAMURA, Junichi, *Image Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras*, Boca Raton, CRC Press Taylor and Francis Group, 2006

PINCHON, Pierre, *La lumière dans les arts européens 1800 – 1900*, Paris, Hazan, 2011

SALOMON, Marc, *Sculpteurs de Lumières, Les directeurs de la photographie*, Paris, Bibliothèque du Film, 2000

SEVE, Robert, *Science de la couleur aspect physique et perceptif*, Paris, Chalagam, 2009

TERRIEN, Jean et DESVIGNES, François, *La photométrie*, Paris, PUF, 1972

VALEUR, Bernard, *Lumière et luminescence*, Paris, Belin, 2007

VALEUR, Bernard, *La couleur dans tous ces éclats*, Paris, Belin, 2011

WAJCMAN, Gérard, *Fenêtre: Chroniques du regard et de l'intime*, Paris, Verdier, 2004

WYSZECKI, Günter, & STILES, W.S., *Color Science*, New York, Wiley Classics Library, 2000

FILMOGRAPHIE

MURNAU, Friedrich Wilhelm, *Sunrise, A Song of Two Humans (L'Aurore)*, USA, 1927, 2661 m, 35mm noir et blanc, 1 : 1,33, silencieux

HILL, George Roy, *Butch Cassidy and the Sundance Kid (Butch Cassidy et le Kid)*, USA, 1969, 3035 m, 35mm couleur, 1 : 2,35 anamorphique, sonore.

PARK, Chan Wook, *Oldeuboi (Old Boy)*, Corée, 2003, 35mm couleur, 1 : 2,35 anamorphique, sonore

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Tableau 1 : Jeune garçon mordu par un lézard - Le Caravage 1593.....	12
Tableau 2 : La Femme au luth - Johannes Vermeer 1662-1663.....	13
Tableau 3 : Morning Sun - Edward Hopper 1952.....	14
Illustration 1 : L'Aurore - Murnau 1927 photogramme.....	15
Illustration 2 : L'Aurore - Murnau 1927 photogramme.....	16
Illustration 3 : L'Aurore - Murnau 1927 photogramme.....	17
Illustration 4 : Butch Cassidy et le Kid - G.R. Hill 1969 photogramme.....	18
Illustration 5 : Butch Cassidy et le Kid - G.R. Hill 1969 photogramme.....	19
Illustration 6 : Butch Cassidy et le Kid - G.R. Hill 1969 photogramme.....	20
Illustration 7: Old Boy - Park Chan Wook 2003 photogramme.....	21
Illustration 8: Toile 2x2 m 1/4 de Grid Cloth diffusant un HMI Alpha 4V2.....	24
Illustration 9: Spectre d'un Kinoflo 2 tubes 120 de type lumière du jour. Les trois pics d'émission correspondent au mercure utilisé dans les tubes et la partie continue au phosphore qui émet par luminescence.....	26
Illustration 10: Spectre d'un tungstène-halogène face ouverte 800W communément appelé mandarine.....	27
Illustration 11: Spectre d'un HMI Alpha 4 V2 de K5600.....	27
Illustration 12: Réflectance spectrale d'une chair noire mesurée au spectrophotomètre Minolta CM 3600.....	28
Illustration 13: Courbes de densité optique des photorécepteurs réiniens. En abscisses la longueur d'onde (nm), en ordonnées la densité optique.....	29
Illustration 14: Représentation du lieu planckien dans le diagramme de chromaticité 1931. En bleu la température en Kelvin (K).....	30
Illustration 15: Sensibilité spectrale de l'ARRI Alexa Studio R4S9 – ARRIRAW enregistré sur Codex.....	35
Illustration 16: Fonctions de mélange CIE 1931 pour un observateur standard 2°.....	35
Illustration 17: Réponse des canaux rouge vert et bleu de l'Alexa R4S9 en enregistrement ProRes 4444 REC709.....	35
Illustration 18: Polynômes de réponse des canaux rouge et bleu de l'ARRI Alexa R4S9 en fonction de la température de couleur corrélée.....	37
Illustration 19: Spectre du projecteur tungstène halogène 1kW DESISTI.....	41
Illustration 20: Spectre du projecteur HMI Alpha4V2 de K5600.....	42

Illustration 21: Spectre d'un Kinoflo 4 tubes 60 cm "3200K"	44
Illustration 22: Spectre d'un Kinoflo 2 tubes 120 cm "5600 K"	44
Illustration 23: Spectre d'un Softlite T5 Small "5600 K"	44
Illustration 24: Spectre d'un projecteur Fresnel à LED DESISTI 120W	45
Illustration 25: Spectre du projecteur Lite Panel 30x30 40W	45
Illustration 26: Spectre du projecteur AREA 48, plaque de phosphore "3200 K"	46
Illustration 27: Spectre du projecteur AREA 48, plaque de phosphore "5600 K"	46
Illustration 28: Diagramme de chromaticité CIE LUV u' v'. Les couleurs ne sont qu'indicatives.....	55
Illustration 29: Sensibilité spectrale de la caméra "Standard" proposée pour le calcul du TLCI 2012	63
Illustration 30: Résultat TLCI pour AREA 48 à 3200K.....	64
Illustration 31: Résultat TLCI pour AREA48 à 4300K.....	64
Illustration 32: Résultats TLCI pour AREA48 à 5600K.....	64
Illustration 33: Diagramme de chromaticité CIE 1931 x y.....	76

ANNEXES

Annexe 1 : Espace de représentation de la couleur

Les travaux et mesures de Guild et Wright entre 1926 et 1929 sur un total de 17 observateurs ont permis de définir trois fonctions de mélange $\bar{x}$, $\bar{y}$, et $\bar{z}$ en 1931²⁵. Les mesures étaient effectuées sur des égalisations visuelles monoculaires dans un champ de 2° d'angle. Ces courbes ont ensuite permis à la Commission Internationale de l'Éclairage de définir un espace de représentation de la couleur en trois dimensions X, Y et Z, posant les bases de la colorimétrie moderne. On intègre sur la longueur d'onde entre 380 et 780 nanomètres le produit de la luminance spectrique de la source, du coefficient de réflexion spectrique de l'objet et de la fonction de mélange correspondante ($\bar{x}$ pour X, $\bar{y}$ pour Y et $\bar{z}$ pour Z).

Il est important de préciser que le système CIE XYZ est l'aboutissement d'un travail commencé sur un système RVB dont les fonctions de mélange présentaient des valeurs négatives, ce qui compliquait grandement les calculs. CIE XYZ offre l'avantage de travailler uniquement en valeurs positives et d'isoler la luminance sur une seule des composantes, Y, qui correspond au vert. X et Z portent l'information de chrominance²⁶.

Calcul des coordonnées CIE XYZ :

$$X = K * \int_{380}^{780} S(\lambda) * R(\lambda) * \bar{x} d\lambda \quad Y = K * \int_{380}^{780} S(\lambda) * R(\lambda) * \bar{y} d\lambda \quad Z = K * \int_{380}^{780} S(\lambda) * R(\lambda) * \bar{z} d\lambda$$

Avec K coefficient d'étalonnage afin que la luminance maximum, qui correspond à la valeur de Y maximum, soit égale à 1.

$K = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, $S(\lambda)$ la distribution spectrale de la source et $R(\lambda)$ la réflectance spectrale de l'objet.

On obtient donc un espace en trois dimensions contenant théoriquement l'ensemble des couleurs visibles. La volonté de séparer la clarté de la couleur des deux autres attributs de la perception et de pouvoir produire une représentation de la couleur en deux dimensions a entraîné la création du diagramme de chromaticité CIE xyY. Y étant la valeur de luminance, on obtient les coordonnées x et y par les équations suivantes :

²⁵ SEVE, Robert, *Op. Cit.*, p.66 à 89

²⁶ BELLAÏCHE Philippe, *Les secrets de l'image vidéo*, Paris, Eyrolles, 2013 p.32-34

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

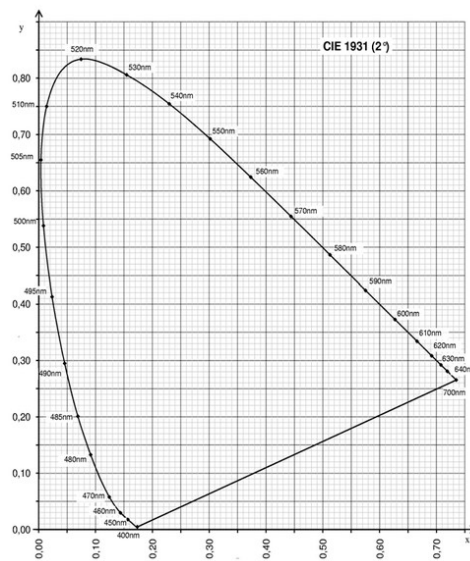


Illustration 33: Diagramme de chromaticité CIE 1931 x y

Cette représentation a servi de base à de nombreuses applications, même lorsque par la suite de nouveaux modèles ont été inventés. On retrouve par exemple souvent la représentation du triangle des couleurs formé par les primaires d'un appareil de prise de vue, qui définit l'ensemble des couleurs pouvant être produites, en CIE 1931 x y.

Annexe 2 : Script de la fonction de calcul d'un IRC "Caméra"

```
function [Ra, TCc, duv] = PPM_IRCCAM_V3(nom)
%% PPM_IRCCAM_V3
%
% Calcul d'un indice de rendu des couleurs en remplaçant les fonctions de mélanges
% de l'observateur standard 2° par la sensibilité spectrale de la caméra et
% en mettant à jour l'espace couleur d'expression du deltaE (CIELUV 1976 au
% lieu de CIEWUV 1964)
%
% Le reste de la fonction est inspiré de la méthode d'obtention de l'IRC
% définie en 1974.
%
% Auteur : Raphaël Auger
% Date : 17/05/2015
% Version : 3.0
%
% Ouvrages référents :
% SEVE, Robert, Science de la couleur aspect physique et perceptif, Paris, Chalagam, 2009
% WYSZECKI, Günter, & STILES, W.S., Color Science, New York, Wiley Classics Library, 2000
%
%% %% Import des paramètres

%% Import du spectre de la source testée

range1 = 380:1:780;
range2 = 380:5:780;

startRow = 2;
endRow = 2;

cd C:\Users\Raphaël\Desktop\Mémoire\PPM\Mesures\CSV\; % spectre mesuré au CS2000, export CSV

SRC_1 = importfile(nom, startRow, endRow);
SRC_1 = (SRC_1)'; % spectre mesuré sur le blanc

BLANC = importdata('Bullier_BLANC_980628.mat'); % Blanc de laboratoire pour pondérer la mesure

SRC_2 = zeros(401,1);

[l,c]=size(SRC_2);

for i=1:l
SRC_2(i,1) = SRC_1(i,1)*BLANC(i,2); % Spectre de la source testée
end

SRC_3 = diete(SRC_2); % Passage en pas de 5nm

clear endRow startRow BLANC SRC_1 i l c chemin

%% Import de la réflectance spectrale des échantillons testés
```

```

cd C:\Users\Raphaël\Documents\MATLAB\PPM_IRCCAM_V3\Datas;

ECH_1 = importdata('CIE-CRIref-1nm.mat');

ECH_2 = ECH_1(21:421,:);

[l,c]=size(ECH_2);

ECH_3 = zeros(81,c);

for i=2:c
    ECH_3(:,i)= diete(ECH_2(:,i)); % Passage en pas de 5nm
end

clear ECH_1 c i l

%% Import des fonctions de mélange CIE 1931 - Observateur 2°.

OBS = importdata('CIE-Observateurs-15.2-1986-1nm.mat');

%% Import de la sensibilité spectrale de la camera

SS = importdata('TEST_Alexa_5nm.mat');

%% %% Temperature de Couleur Corrélée

[~,Y,~,x,y,us,v76]=Spectre2XYZ(SRC_2,'S',1,0,range1);
vs = v76 * 2/3; % Adaptation CIE u'v'1976 vers USC 1960

[TCC,duv] = TCC(us,vs);

if duv < 0.0054 %référence à Sève
    disp(' ');
    disp(['TC proximale : ',num2str(TCC,'%1.0f'),' K, duv = ',num2str(duv,'%1.4f')]);
else

    warning(['ATTENTION : Cette source ne peut être considérée comme',...
        'une lumière blanche duv = ',num2str(duv,'%1.4f')]);

end

%% %% Choix de l'illuminant de référence
pas = 1;

if TCC < 5000

    % Radiateur de Planck

    Ref = CorpsNoir(TCC,range1);
    Ref = Ref(:,2);
    TCinfo=['Corps Noir à ',num2str(TCC,'%1.0f'),' K'];

```

```

else
    % Illuminant CIE Serie D à 500 K près

    TC=round(TCc/500)*5;
    Ref = SerieD(TC,min(rangel),max(rangel),pas);
    TCinfo=['D',num2str(TC,'%1.0f')];
end

disp(['Illuminant de Référence : ',TCinfo]);

Ref_2 = diete(Ref);

clear TCinfo us v76 vs x y Y

%% %% Passage en relatif pour le calcul

SRC_3 = SRC_3/max(max(SRC_3));
Ref_3 = Ref_2/max(max(Ref_2));
SS_2 = SS/max(max(SS));
ECH_4 = ECH_3/max(max(ECH_3));

%% %% Passage des échantillons en primaires caméra : un jeu REF et un jeu TST

Rs_REF = zeros(81,16);
Vs_REF = Rs_REF;
Bs_REF = Rs_REF;

[l,c]=size(Rs_REF);

for i=1:c
    for j=1:l
        Rs_REF(j,i) = Ref_3(j,1)*ECH_4(j,i)*SS_2(j,1);
        Vs_REF(j,i) = Ref_3(j,1)*ECH_4(j,i)*SS_2(j,2);
        Bs_REF(j,i) = Ref_3(j,1)*ECH_4(j,i)*SS_2(j,3);
    end
end

clear i j l c

RVB_REF = zeros(3,16);

[l,c]=size(RVB_REF);

for i=1:c
    RVB_REF(1,i) = sum(Rs_REF(:,i));
    RVB_REF(2,i) = sum(Vs_REF(:,i));
    RVB_REF(3,i) = sum(Bs_REF(:,i));
end

Rs_TST = zeros(81,16);
Vs_TST = Rs_TST;

```

```

Bs_TST = Rs_TST;

[l,c]=size(Rs_TST);

for i=1:c
    for j=1:l
        Rs_TST(j,i) = SRC_3(j,1)*ECH_4(j,i)*SS_2(j,1);
        Vs_TST(j,i) = SRC_3(j,1)*ECH_4(j,i)*SS_2(j,2);
        Bs_TST(j,i) = SRC_3(j,1)*ECH_4(j,i)*SS_2(j,3);
    end
end

clear i j l c

RVB_TST = zeros(3,16);

[l,c]=size(RVB_TST);

for i=1:c
    RVB_TST(1,i) = sum(Rs_TST(:,i));
    RVB_TST(2,i) = sum(Vs_TST(:,i));
    RVB_TST(3,i) = sum(Bs_TST(:,i));
end

clear Bs_REF Bs_TST ECH_2 ECH_3 ECH_4 OBS Ref Ref_2 Ref_3 SRC_3 Rs_REF Rs_TST SRC_2 SS SS_2 Vs_REF
Vs_TST i l c

%% Passage en ARRI Wide Gamut : par manque d'informations, matrice linéaire

M1 = [1,0,0;0,1,0;0,0,1];

[l,c]=size(RVB_TST);
RVBwg_TST = zeros(1,c);
RVBwg_REF = RVBwg_TST;

for i=1:c
    RVBwg_TST(:,i) = M1*RVB_TST(:,i);
    RVBwg_REF(:,i) = M1*RVB_REF(:,i);
end

clear M1 RVB_TST RVB_REF i l c

%% Balance des blancs :

% Adaptation de RVB en fonction de la TC d'équilibre du capteur.

Mired = 10^6/TCc;

load('TCeq-Arri-Alexa Studio-20141106-104932.mat');

POLY = [TCe.polyR;TCe.polyB];

GainR = 1/(polyval(POLY(1,:),Mired));

```



```

GainB = 1/(polyval(POLY(2,:),Mired));

RVBeq_TST = zeros(3,16);
RVBeq_REF = RVBeq_TST;

RVBeq_TST(1,:) = RVBwg_TST(1,:)*GainR;
RVBeq_TST(3,:) = RVBwg_TST(3,:)*GainB;

RVBeq_REF(1,:) = RVBwg_REF(1,:)*GainR;
RVBeq_REF(3,:) = RVBwg_REF(3,:)*GainB;

RVBeq_TST(2,:) = RVBwg_TST(2,:);
RVBeq_REF(2,:) = RVBwg_REF(2,:);

%clear RVBwg_TST RVBwg_REF
%% Passage en CIE XYZ 1931

M2 = importdata('RGBwg2XYZ.mat');

[l,c]=size(RVBeq_TST);
XYZ_TST = zeros(l,c);
XYZ_REF = XYZ_TST;

for i=1:c
    XYZ_TST(:,i) = M2*RVBeq_TST(:,i);
    XYZ_REF(:,i) = M2*RVBeq_REF(:,i);
end

clear RVBeq_TST RVBeq_REF i l c

%% Passage en CIE LUV 1976

% Ligne 1 et 2 : u' et v'
% Ligne 3 à 5 : L* u* v*

LUV_TST = zeros(5,16);
LUV_REF = LUV_TST;

[l,c]=size(XYZ_REF);

for i=1:c
    LUV_TST(1,i) = 4*XYZ_TST(1,i)/(XYZ_TST(1,i)+(15*XYZ_TST(2,i))+(3*XYZ_TST(3,i)));
    LUV_REF(1,i) = 4*XYZ_REF(1,i)/(XYZ_REF(1,i)+(15*XYZ_REF(2,i))+(3*XYZ_REF(3,i)));
    LUV_TST(2,i) = 9*XYZ_TST(2,i)/(XYZ_TST(1,i)+(15*XYZ_TST(2,i))+(3*XYZ_TST(3,i)));
    LUV_REF(2,i) = 9*XYZ_REF(2,i)/(XYZ_REF(1,i)+(15*XYZ_REF(2,i))+(3*XYZ_REF(3,i)));
    LUV_TST(3,i) = 116*((XYZ_TST(2,i)/XYZ_REF(2,i))^(1/3))-16;
    LUV_REF(3,i) = 116*((XYZ_REF(2,i)/XYZ_REF(2,i))^(1/3))-16;
    LUV_TST(4,i) = 13*(LUV_TST(3,i))*(LUV_TST(1,i)-LUV_REF(1,i));
    LUV_REF(4,i) = 13*(LUV_REF(3,i))*(LUV_REF(1,i)-LUV_REF(1,i));
    LUV_TST(5,i) = 13*(LUV_TST(3,i))*(LUV_TST(2,i)-LUV_REF(2,i));
    LUV_REF(5,i) = 13*(LUV_REF(3,i))*(LUV_REF(2,i)-LUV_REF(2,i));
end

```

```

clear i l XYZ_REF XYZ_TST
%% Calcul des Ri indice de rendu de couleur par échantillon

dEi = zeros(1,16);
Ri = dEi;

for i=1:c

    dEi(1,i)= sqrt(((LUV_REF(3,i)-LUV_TST(3,i))^2)+((LUV_REF(4,i)-LUV_TST(4,i))^2)+((LUV_REF(5,i)-
LUV_TST(5,i))^2));
    Ri = 100-dEi;
end

clear i c

%% Calcul de Ra indice général de rendu de couleur

Ra = mean(Ri(1,2:15));
end

```

ENS Louis-Lumière

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

Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

Partie Pratique de Mémoire de master-2

Spécialité cinéma, promotion 2012-2015

Soutenance de juin 2015

LUMIÈRE DU JOUR : REPRODUCTION ET VARIATIONS

Raphaël AUGER

Cette PPM fait partie du mémoire intitulé :

STRATEGIES D'ECLAIRAGE EN CINEMA NUMERIQUE

Directeur de mémoire : Alain SARLAT

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy PISANO

SOMMAIRE

CV	77
Note d'intention	78
Listes	80
Plan de travail du tournage	83
Plan de travail de postproduction	84
Étude technique et économique	85
Synthèse des résultats	85

Raphaël AUGER

**ASSISTANT
CAMERA**

Tél : 06 71 95 30 40

Mail : raphaelauger.pro@gmail.com

2 rue Francis Carco - 75018 PARIS

Né le 08 novembre 1990 à Nantes (44)



Habilitation électrique B1V / BR

Permis B

Expérience professionnelle

2014

1er Assistant caméra : divers exercices internes à l'ENS Louis Lumière, *Teddy* de Brice Barbier (Alexa Std, Phantom Gold & 2K, GoPro, Canon 7D, Horus)

Chef opérateur : divers exercices internes à l'ENS Louis Lumière, clips *Pénélope* et *Mon costume de singe* pour Les Films A REACTION

2012 à 2015 (en parallèle avec l'ENS Louis Lumière) :

- **Électricien et Chef Électricien** sur des courts métrages de La Fémis, de l'ENS Louis Lumière
- **Électricien** sur des publicités et clips INDAPROD, Olivier Schmitt, YAKA Productions, Baiacedez Productions, KnightWorks

2010 à 2012 :

- **Électricien et Chef Électricien** sur des courts métrages de La Fémis, le GREC, Les fées productions, Track Films, Aerts Prod, Shoot Me Again, Mosaïque Films, Fraterciné, Les Films d'Argile, ENS Louis Lumière
- **Électricien et Chef Électricien** sur des publicités de PRODDS

Mars 2011 : Stage de deux semaines à RVZ, société de location de matériel à Paris

Février 2010 : Stage d'un mois à Mosaïque Films, société de production à Paris

Juin/Juillet 2009 : Stage d'un mois et demi à 2A PROD, société de production à Paris

Formation

2012/2015 : ENS Louis Lumière section cinéma à La Plaine Saint Denis (93)

2008/2010 : BTS Audiovisuel au lycée Léonard de Vinci à Montaigu (85)

2008 : Baccalauréat ES option anglais renforcé mention Assez Bien.

Compétences particulières

Anglais courant ; Espagnol lu, parlé, écrit ; Dynamisme ; Application ; Motivation ; Bonne vue.

Centres d'intérêt

Musique, cinéma, photographie, littérature, sport (d'équipe/de raquette), philosophie, théâtre.

NOTE D'INTENTION

Cette partie pratique de mémoire (PPM) aura trois objectifs majeurs. En premier lieu collecter des données pour caractériser au mieux la lumière d'une pièce éclairée de jour par une fenêtre suivant un protocole de repérage. En second lieu, fort de cette caractérisation, reproduire en studio le plus identiquement possible le lieu précédemment repéré. Dans un troisième temps, faire varier un des paramètres d'éclairage de la pièce en suivant une intention, filmant une scène courte répétée à l'identique au jeu.

Les séquences tournées dans un troisième temps seront post-produites à l'identique, puis projetées à un panel de spectateurs. Ceux-ci devront répondre à un questionnaire les interrogeant sur leur ressenti devant les variations d'éclairage. Le panel susmentionné sera composé d'élèves de l'école internationale de théâtre Jacques Lecoq, dont l'intérêt est d'être tous de nationalités différentes et par leur formation de posséder un langage commun pour décrire leur ressenti.

En conséquence, il y aura trois résultats à cette PPM : une proposition de protocole de caractérisation de la lumière d'un lieu sous la forme d'un document texte, un compte-rendu détaillé de résultats de la reproduction de la lumière du jour par la fenêtre sous la forme d'un document texte, une analyse des résultats du panel de spectateurs sous forme d'un document texte. Le film sera donc divisé en deux parties : la première une comparaison entre le lieu repéré et le lieu recréé en studio, la seconde le film proposé au panel de spectateurs.

L'objectif de cette PPM n'est évidemment pas d'établir un dogme d'éclairage en définissant ce qu'il faut faire et ce qu'il ne faut pas faire. Il s'agit avant tout de se doter d'un langage, un vocabulaire précis pour caractériser la lumière et évaluer la qualité des sources de lumière ainsi que des matériaux servant au décor cinématographique.

Les données collectées sur le lieu repéré concerneront la qualité de la lumière, la géométrie de la lumière, la quantité de la lumière, la réflectance spectrale des matériaux. Les mesures seront effectuées au spectroradiomètre CS2000, et les repérages seront effectués avec la caméra utilisée pour le studio. On tournera en RAW pour avoir la plus grande précision et contrôler au maximum le traitement de l'image.

La reproduction du décor et des conditions d'éclairage sera précédée d'une journée de caractérisation de l'ensemble des sources. Le lieu repéré sera volontairement simple à reproduire (deux meubles, peinture unie et de préférence neutre).

Les variations d'éclairage porteront sur les sources de lumières mais aussi sur la qualité des matériaux en présence. On cherchera des variations extrêmes pour marquer des intentions fortes. Exemples : la peinture blanche devient sombre, le costume vert devient rouge, la source ponctuelle devient diffuse.

LISTE CAMERA

ENSSL :

- 1x ARRI ALEXA STUDIO
- 1x Série ZEISS GO (18mm, 25mm, 35mm, 50mm, 85mm)
- 1x Carte SxS PRO 32 GO
- 2x Tiges 19mm
- 1x Commande de point Chrosziel
- 1x Matte Box Chrosziel 4*5,6
- 1x Cravate
- 1x Transformateur 230V - 14V
- 4x Batteries 14V + chargeur + câble d'alimentation
- 1x Moniteur SONY OLED 22"+ câble d'alimentation + roulante
- 1x Moniteur TRANSVIDEO 6" + transformateur + câble d'alimentation + accroche
- 4x Batteries Aaton + chargeur + câble d'alimentation
- 3x câble BNC 5m
- 3x câble BNC 40cm
- 2x multiprise réglette 4 prises 16A
- 1x Ordinateur de sauvegarde équipé de Shot Put Pro
- 1x Tour RAID
- 2x Disque Dur navette 1 TO
- 1x Grandes branches
- 1x Petites branches
- 1x Base 120
- 1x Tête fluide Sachtler Studio 90 + manche et contre-manche
- 1x Valise d'assistant composée de :
 - 1x Décamètre
 - 1x Pistolet Dust-Off
 - 1x Table de profondeur de champ
 - 1x Mire Gris 18%
 - 1x Mire Blanc 90%
 - 1x Mire Noir 2%
 - 1x Kit flèches pour conformation de cadre
 - 1x Gaffer Jaune 25mm
 - 1x Gaffer Bleu 25mm
 - 1x Rapport image
- 1x Valise opérateur composée de :
 - 1x Cellule Spectra digitale
 - 1x Spotmètre Pentax
 - 1x Thermocolorimètre Minolta
 - 1x Chercheur de champ
 - 1x Verre de contraste

NEXT SHOT :

- 1x Codex

LISTE LUMIERE

ENSSL :

Sources :

Tungstène :

1x Fresnel 10kW
2x Fresnel 5kW
4x Fresnel 1kW
4x Fresnel 500W
4x Blonde 2kW
4x Mandarine 800W

HMI :

1x HMI PAR 4kW
1x Joker 800 + chimera
1x Joker 400 + chimera

Fluo :

2x Kinoflo 4T120 double jeu
2x Kinoflo 4T60 double jeu

Grip :

15x Pied 1kW
10x Pied U126
4x Pied Manivelle
15x Rotule
3x Déport 1m
3x Déport 50cm
3x Bras magique
6x Clamp
4x Cyclone PM
4x Cyclone GM
3x Main de singe
30x Pincers Stanley
3x Porte-poly
3x Pince pélican

LOUEUR EXTERIEUR :

- 1x Alpha 4kW + Chimera (Transpalux)
- 2x Arri L7-C (Acc&Led)
- 2x SmartLight 1 (Acc&Led)
- 1x Softlight T5 SMALL (Transpalux)
- 2x Cadre 3x3, Grid Cloth ¼, ½, Full, Ultrabounce, Silk, bleached, Griffolin, Unbleached Muslin (Volt Face, Electro d'choc)
- 1x Louver (nid d'abeilles) 3x3.(Volt Face)

Contrôle :

1x Kit Cadres 120 : 216, 250, 251, 252
4x Drapeau PM
2x Drapeau MM
2x Drapeau GM
4x Floppy
3x Taps 3x4
1x Kit Mamas GM
1x Kit Mamas PM
3x Poly 1x2m
2x Poly 1x1m
3x Plaque dépron
1x Grand réflecteur 1*1 Hard/Soft

Consommables :

nx Pincers bois
1x Rouleau de Cinéfoil
1x Gaffer Blanc
1x Gaffer Noir
1x Permacel

Kit Gélamines (réf Lee Filters) :

201, 202, 203, 218, 204, 205, 206, 223, 209,
210, 211, 244, 245, 246, 278, 247, 248, 249, 279

Distribution :

1x Bloc de gradateur 6x16A
1x Console lumière
6x ligne 32A TRI
10x ligne 32A
4x Boîte M6
20x ligne 16A
4x Multiprise réglette

LISTE MACHINERIE

2x Jeu de cubes de base
10x 15x20
10x sangles
20x élingues
4x barre alu d50 3m
2x barre alu d50 4m
4x Collier double
6x Collier 28mm
6x Collier 16mm
3x Borniol 4*5
1x Grand Clap
1x Petit Clap
1x Feutre Velleda

PLAN DE TRAVAIL – TOURNAGE

Repérages : semaine du 09/02 au 14/02/2015

Lieu repéré : un petit bureau du 3ème étage de l'ENSSL

Lieu de tournage demandé : Plateau 1 de l'ENSSL

Période idéale : semaine du 16/02 au 21/02/2015

PLAN DE TRAVAIL – POSTPRODUCTION

Le film prêt-à-diffusé sous sa forme DCP sera fini le 14/03/2015, pour une projection devant le panel de spectateurs le vendredi 20/03/2015 après-midi.

La postproduction s'effectuera en labo de sensitométrie pour le développement des RAW, en salle de montage AVID dans la semaine du 2 au 7 mars 2015, et en salle d'étalonnage RAIN dans la semaine du 9 au 14 mars 2015.

Les travaux d'analyse et de compte-rendu des données sont partie intégrante du mémoire et seront rendus dans le même délai que celui-ci.

ETUDE ECONOMIQUE

<i>Objet</i>	<i>Coût TTC</i>
Régie pour 5 personnes * 5 jours : 25 repas	100,00 €
Assurance matériel prêté	Non connu, 200€ anticipés
Décor & costumes	240,00 €
Imprévus (10%)	60,00 €
TOTAL TTC	600,00 €

SYNTHÈSE DES RESULTATS

Comme nous l'avons indiqué au sein du mémoire, la partie pratique s'est avérée très différente de ce que nous avions imaginé. En effet, la partie tournée n'a été que le début de la recherche, la suite étant le traitement des mesures obtenues et surtout l'élaboration de la fonction "IRC caméra" dont il est question dans la partie II.

Le tournage nous a permis de résoudre rapidement les problématiques de géométrie de la lumière et de se concentrer sur l'aspect qualitatif des sources. Les résultats figurant en annexes, nous n'allons pas nous étendre dessus. Nous aimerions toutefois souligner que ce long exercice aura d'une part porté ses fruits en terme de compréhension de la gestion de la couleur en tournage, et d'autre part aura permis l'existence d'un moyen d'évaluer les sources plus juste que ceux que nous avions à notre disposition jusqu'alors.

Pour répondre à l'interrogation initiale de cette partie pratique, il est possible de reproduire en studio la lumière du jour d'un décor existant. La vraie difficulté est de trouver un système permettant d'imiter une source aussi large qu'un ciel et de la mettre hors champs. Nous avons été trop prudent sur la pose de la découverte, il ne faut pas hésiter à recréer un contraste large entre l'extérieur et l'intérieur, surtout en tournage en RAW.