

École Nationale Supérieure Louis Lumière

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

01 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

Mémoire de Master

Spécialité Cinéma, Promotion 2014–2017

Soutenance de Juin 2017

Le HDR (High Dynamic Range) de la prise de vue à la projection



rédigé par Quentin Bourdin

Accompagné de la partie pratique de Mémoire intitulée :

Allers Simples, réalisation Émilie Fretay

Directeur de Mémoire Interne : Jacques Pigeon

Directeur de Mémoire Externe : Thierry Beaumel

Président du Jury et Coordinateur des Mémoires : David Faroult

École Nationale Supérieure Louis Lumière

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

01 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

Mémoire de Master

Spécialité Cinéma, Promotion 2014–2017

Soutenance de Juin 2017

Le HDR (High Dynamic Range) de la prise de vue à la projection

rédigé par Quentin Bourdin

Accompagné de la partie pratique de Mémoire intitulée :

Allers Simples, réalisation Émilie Fretay

Directeur de Mémoire Interne : Jacques Pigeon

Directeur de Mémoire Externe : Thierry Beaumel

Président du Jury et Coordinateur des Mémoires : David Faroult

Remerciements

Je remercie les membres du Jury David FAROULT coordinateur des mémoires et Président du Jury, Francine LÉVY et John LVOFF.

Un grand merci à Thierry BEAUMEL et Ymagis / Éclair qui m'a apporté toute l'aide dont j'avais besoin pour réaliser ce mémoire.

Jacques PIGEON pour son aide dans la mise en œuvre et la finalisation de ce mémoire.

Anaïs LIBOLT et Ian LOWE pour leur aide chez Dolby.

Jean-Yves MARTIN, Olivier GARCIA et Pablo GARCIA pour le prêt de la Sony F55 ayant permis la réalisation de la partie pratique de mémoire et leur aide chez Sony.

Didier NOVÉ, Didier GREZES et Next Shot pour le prêt du matériel nécessaire à la réalisation de la partie pratique de mémoire.

Giusy PISANO pour son aide dans la méthodologie de ce mémoire.

Stéphane BOURDIN pour sa relecture attentionnée.

Émilie FRETAY pour m'avoir fait confiance et laisser mettre en lumière son film.

Un grand merci à Karim EL KATARI pour l'étalonnage de la partie pratique de mémoire.

Un grand merci à Alain Sarlat, Eléna ERHEL et l'ensemble des étudiants de la majeure psychophysique de l'image.

Un grand merci à Laurent STEHLIN et François BARANGER pour leur aide et leur accompagnement.

Résumé

Le HDR (High Dynamic Range) est un nouvel outil encore très peu utilisé dans le domaine cinématographique mais qui tend à se démocratiser. Comme tout nouvel outil, il apporte son lot d'interrogations que ce soit au niveau de la pré-production, du tournage, de la post-production et de la télévision. Ce nouvel outil poussé par la télévision tarde à se mettre en place dans le domaine du cinéma. Pour la première fois avec le HDR un nouveau procédé apparaît d'abord sur les téléviseurs avant d'être utilisé au cinéma. Cette nouvelle donne remettant en cause la suprématie du cinéma qui a toujours fait figure de standard dans le domaine. Ce mémoire a pour but de remettre à plat les fondamentaux et les termes utilisés pour que chacun puisse comprendre quel que soit son niveau de connaissance l'apport et les limites de ce nouveau procédé technologique. La mise à plat des connaissances théoriques permettant de mieux expliciter et faciliter la compréhension des enjeux techniques que le HDR soulève. Il sert ainsi de fil conducteur pour envisager l'ensemble de la chaîne cinématographique en HDR de sa théorie, à son utilisation sur le plateau. Puis de l'exposition de son image à son traitement par les laboratoires au moment de l'étalonnage. Puis de l'étalonnage aux différents procédés de diffusions. Puis de la diffusion au point de vue des spectateurs sur cette nouvelle technologie quant à son implémentation future.

Mots Clefs : HDR, Contraste, Dynamique, Couleur, Capteur, Projection, Exposition, Œil, Sensibilité, Dolby, Éclair, Courbes, Étalonnage, HLG, PQ

Abstract

The HDR (High Dynamic Range) is a new tool still rarely used in the cinematographic field but which tends to be democratized. Like any new tool, it brings a lot of questions, about pre-production, filming, post-production and television. This new tool pushed by television is slow to establish in the field of cinema. For the first time with the HDR a new process first appears on televisions before being used in the cinema. This new situation questions the supremacy of the cinema which has always been a technical standard. The purpose of this thesis is to review the fundamentals and the terms used so that everyone can understand, regardless of his level of knowledge, the contributions and limitations of this new technological process. The flattening of the theoretical knowledge to better explain and facilitate everyone to understand the technical issues that HDR raises. It thus serves as a guideline for considering the entire HDR cinematographic chain of its theory, for its use on the stage. Then the exposure of its image to its treatment by the laboratories during grading. Then from grading to different diffusion processes. Then from the viewers' perspective on this new technology as to its future implementation.

Keywords : HDR, Contrast, Dynamic, Color, Sensor, Projection, Exposure, Eye, Sensitivity, Dolby, Éclair, Curves, Grading, HLG, PQ

Sommaire

Remerciements	2
Résumé	3
Abstract	4
Glossaire	8
Introduction.....	15
1 ^{ère} Partie : Perception et prise de vue de sujets à hauts contrastes.....	22
I – Perception Visuelle	22
a) Composition de l'œil.....	22
b) L'adaptation Lumineuse	28
c) La Couleur.....	30
II - Du capteur à l'image	34
a) La Pellicule.....	34
b) Les Capteurs Numériques.....	38
c) Capteurs et Valeurs Numériques	48
III – Contraste – Gradation.....	53
a) Contraste.....	53
b) Gradation	55
IV – Stratégie d'exposition et de captation HDR	60
a) Sujet Standard	60
b) Etendue Utile.....	60
c) Exposition par les hautes lumières.....	62
2 ^{ème} Partie : Dispositifs de projection HDR	69
I – Apports du dispositif de projection	69
a) La Projection numérique	69
b) La Projection HDR.....	72
c) Tests Projection HDR.....	76

II – Moniteurs et Courbes.....	81
a) Technologies Téléviseurs.....	81
b) BT.2020.....	84
c) La Courbe HLG	86
d) La courbe PQ	88
III – Stratégies d'étalonnage en HDR.....	93
a) Diagramme de Jones et Sigmoides	93
b) Stratégie d'étalonnage HDR.....	97
IV – Tests Perceptifs en HDR	106
a) <i>Brice de Nice</i> de James Huth - 20 Novembre 2016	106
b) <i>Dalida</i> de Liza Azuelos - 18 Janvier 2017	107
c) <i>La La Land</i> de Damien Chazelle - 26 Janvier 2017.....	108
d) <i>Chacun sa vie</i> de Claude Lellouche.....	110
e) Hybrid Log Gamma – HDR	111
3 ^{ème} Partie : Le HDR dans la Pratique.....	113
I – Le HDR sur le Plateau et en Post-Prod.....	113
a) Le Matériel HDR.....	113
b) L'Étalonnage en HDR.....	114
II – Amélioration du HDR	118
a) 1 ^{ère} Solution : Améliorer les filtres	118
b) Deuxième solution : Modifier les filtres chromatiques du capteur.....	118
c) Troisième solution : Diminuer le bruit.	121
d) Quatrième Solution : Améliorer la qualité du signal.....	129
III – État des Lieux de la projection	131
Conclusion.....	139
Filmographie.....	143
Bibliographie.....	144

Partie Pratique de Mémoire de Master	146
Sommaire	147
CV	148
Note d'Intention.....	149
Synopsis	150
Liste Matériel	151
Matériel Caméra.....	151
Matériel Lumière.....	153
Matériel Machinerie	154
Choix du Matériel.....	155
Plan de Travail du Tournage	157
Plan de Travail de Post-Production	158
Équipe Technique	159
Synthèse.....	160

Glossaire

Le Flux Lumineux : est la quantité globale de lumière émise par une source lumineuse dans toutes les directions. Il s'écrit φ et s'exprime en Lumen (lm)¹.

$$\varphi = I \times \Omega$$

L'Intensité Lumineuse : est le flux lumineux transmis uniformément dans un cône d'angle solide unitaire Ω et dans une direction donnée. Elle s'écrit I et s'exprime en Candela (cd)¹.

Le Candela est une grandeur du système international.

L'Éclairement : est le flux lumineux reçu par unité de surface de l'élément. Il s'écrit E et s'exprime en Lux¹.

$$E = \frac{I}{d^2} \times \cos \alpha$$

La Luminance : est l'éclairement modulé par les caractéristiques de l'objet. Elle s'écrit L et s'exprime en Candela par mètre carré (cd/m²)¹.

Il peut également s'exprimer en Nits où X Nits = X cd/m²

Pour un objet mat : $L_{mat} = \frac{E \times R}{\pi}$

Pour un objet brillant : $L_{brillant} = \frac{E \times R}{1}$

La Lumination : est le produit de l'éclairement image reçu par la surface photosensible par le temps de pose. Elle s'écrit H et s'exprime en Lux par seconde (lux/s)¹.

$H = 0,64 \times \frac{L}{A^2} \times t$ où A est l'ouverture du diaphragme et t le temps d'exposition.

¹ BELLAICHE Philippe, Les Secrets de l'image vidéo, Paris, Eyrolles, 2009

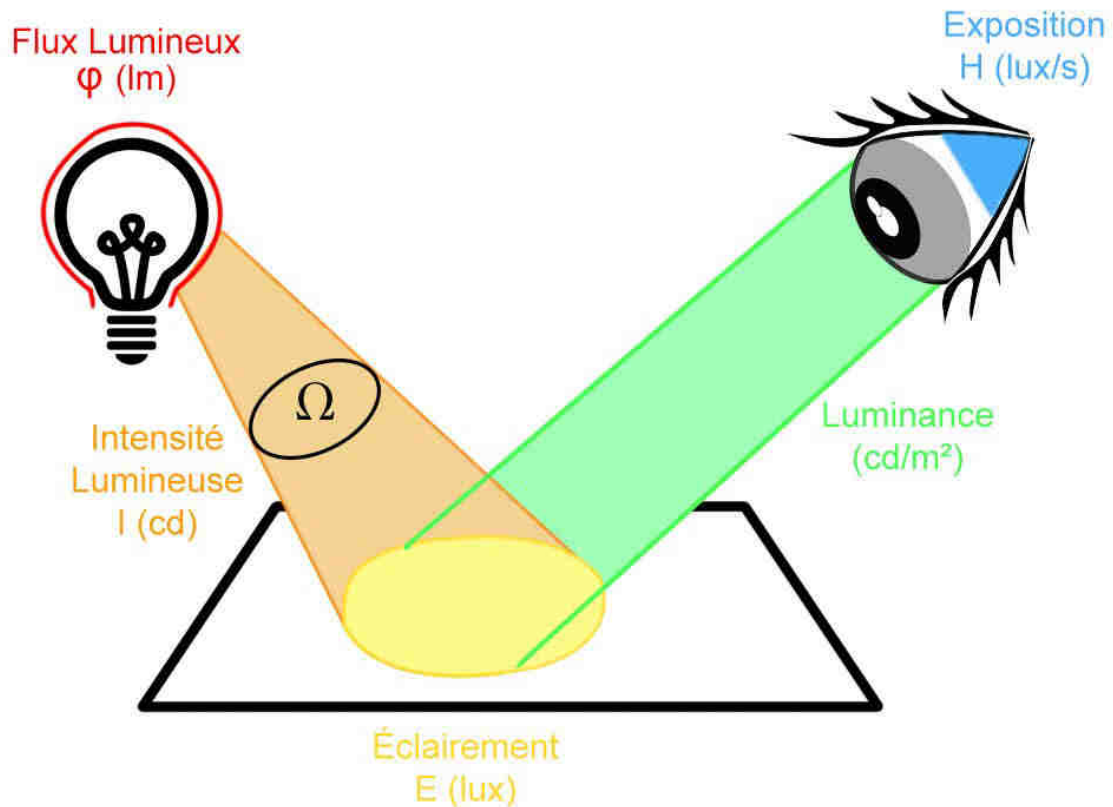


Fig.1 Schéma des grandeurs photométriques

Le Contraste : est le rapport dans une échelle arithmétique et photométrique de la luminance la plus forte sur la luminance la plus faible.
ex: Dans une salle de cinéma sur une mire à damier noire et blanche

$$L_{blanc} = 48 \text{ cd/m}^2 \text{ et } L_{noir} = 0,4 \text{ cd/m}^2$$

$$\text{Contraste}_{image} = \frac{48}{0,4} = 120:1$$

La Dynamique : est le rapport dans une échelle logarithmique et perceptive de la différence entre luminance la plus forte et la luminance la plus basse. Elle s'exprime en EV (Exposure Value) qui est gradée selon une échelle en Logarithme de Base 2. Les EV sont comparables aux valeurs en diaphragme, la différence étant que l'échelle des EV est une suite arithmétique de base $n + 1$ quand l'échelle des diaphragmes est une suite géométrique de base $(\sqrt{2})^n$

La dynamique se rapproche plus de la perception visuelle car on ne perçoit pas de la même manière une différence de luminosité entre 48 et 24 cd/m^2 qu'entre 24 et 0 cd/m^2 .

ex : Dans une salle de cinéma sur une mire à damier noire et blanche

$$L_{blanc} = 8 EV \text{ et } L_{noir} = 1 EV$$

$$Dynamique_{image} = 8 - 1 = 7 EV$$

Étendue Utile : Dans le cadre du capteur on ne parlera pas de dynamique mais d'étendue utile. Le capteur n'a non pas une dynamique mais une capacité d'enregistrement d'une dynamique sujet qui s'appelle l'étendue utile. L'étendue utile est une échelle qui s'étend de la valeur de saturation du capteur correspondant à la valeur où les puits de photosites sont remplis, au bruit qui correspond à l'amplification électronique et l'absence de modulations significatives qui permettent de détacher l'image du sujet d'un aplat noir.

L'étendue utile du capteur s'exprime en fonction de la dynamique sujet qu'il est capable de capter et de restituer. Elle s'exprime en EV dans une échelle logarithmique de base 2.

Les Valeurs Numériques : c'est la conversion d'une information analogique en information numérique. En numérique, la retranscription se fait de manière binaire par des 0 ou des 1, ce qui nous donne 2 informations possibles. La profondeur de codage nous donne l'étendue des chiffres 0 et 1 enregistrés par notre appareil de prise de vue. La profondeur de codage s'exprime en Bit. Le nombre de valeurs enregistrées sera donc de 2^{bits} .

ex : Un appareil ayant une profondeur de codage de 8 bits nous donnera $Valeurs Numériques = 2^8 = 256$

N.B. : Il ne faut pas confondre bits et bytes qui est la traduction anglaise d'octets. En effet $8 bits = 1 byte = 1 octet$

La Linéarité : est la représentation de l'image de manière photométrique telle qu'elle est enregistrée par le capteur. La perception visuelle n'est ici pas prise en compte.

ex : Sur un signal linéaire en 8 bits avec 256 valeurs numériques. Le 1^{er} EV en prend 128, le suivant 64, celui d'après 32...

L'information n'est donc pas répartie équitablement en fonction de chaque EV.

Le Logarithme : qu'on retrouve dans toutes les caméras (Log-C, S-Log, ...) est

l'expression sous un log de base 2 des informations linéaires enregistrées par le capteur. Ainsi la perception est ici prise en compte.

ex : Sur un signal log en 8 bits avec 256 valeurs numériques. Les 8 EV prennent chacun 32 valeurs.

Rappel : $\text{Log}_2(2^n) = n$ et $\text{Log}_{10}(10^n) = n$ la fonction Log base X est inverse de la fonction X puissance $\text{Log}_x(X^n) = n$

Le Pixel : est la plus petite unité de l'image, c'est un carré qui correspond à 1 point de l'image. Sa couleur lui est donnée par l'assemblage des couleurs issues des 3 canaux RVB. Ce qui lui donne une valeur de :

Nbre Canaux × Prof de Codage = Nbre Bits

ex : ce qui nous donne pour un pixel ayant une profondeur de codage de 8 bits $3 \times 8 = 24$ donc 24 bits soit 3 octets par pixels.

La Résolution : est la dimension en pixels de notre image. Elle s'exprime en fonction de la longueur par la largeur *Résolution* : $L \times l$

ex : Pour une image en HD, on parlera d'une Résolution de 1920x1080.

La Définition : est la surface en pixels de notre image. *Définition* = $L \times l$

ex : Pour une image en HD ayant une Résolution de 1920x1080 on aura une Définition de 2 073 600 pixels.

Le Format : est la surface affichée de notre image. Elle est le quotient de la Longueur sur la Largeur. Dans le cas d'un format anamorphique, on viendra rajouter à cette valeur un coefficient de désanamorphose où le pixel n'apparaît plus comme carré mais

comme rectangulaire. *Format* = $\frac{L}{l} \times \text{pixel aspect ratio}$

ex : Pour une image ayant été tournée avec une optique anamorphique de rapport 1,3

en anamorphose : *Format* = $\frac{1998}{1080} \times 1,3 = 2,40$

La Gradation : C'est la répartition des niveaux de gris dans l'image. C'est ce qu'on a

communément tendance à appeler contraste. On parlera ainsi de gradation dure et de gradation douce.

Une gradation dure apparaît lorsque les niveaux de gris se rapprochent des valeurs extrêmes (blanc et noir).

Une gradation douce apparaît lorsque les niveaux de gris s'éloignent des extrêmes pour se rapprocher d'un gris neutre.

La Pureté : C'est une couleur qui tend vers les extrémités du diagramme dans les représentations de la CIE. C'est ce qu'on appelle communément saturation qui n'est pas le terme exacte pour en parler.

La Clarté : C'est l'intensité lumineuse réfléchie par un objet colorée. Elle correspond à la grandeur L, telle qu'elle est représentée dans le diagramme L*a*b* de la CIE.

L'Objet : C'est un personnage, un objet, un paysage brut dans sa forme en trois dimensions.

Le Sujet : C'est l'objet mis en lumière qui met en avant son apparence (forme, texture, transparence, teinte et brillance).

Contraste Sujet Standard : Le sujet standard a un contraste qui va de 80% de la lumière réfléchie à 2%. Sous une même lumière, un objet aura donc un contraste de 40:1 soit 5 EV $\frac{1}{3}$ de dynamique. On parle de dynamique sujet standard.

Image : C'est la représentation visuelle du sujet sur un support de visualisation après l'ensemble des traitements OOTF. Elle se traduit par un ensemble de pixels. La taille de l'image dépend du nombre de pixels donc de la résolution.

OOTF : Optico-Optical Transfer Function. C'est l'ensemble des traitements OETF et EOTF qui ont lieu entre la prise de vue du sujet et sa restitution sur un support de visualisation.

OETF : Optico-Electrical Transfer Function. C'est l'ensemble des traitements faits par tous les circuits de traitement du signal de la caméra afin de traduire des valeurs photométriques en valeurs numériques binaires.

EOTF : Electronico-Optical Transfer Function. C'est l'ensemble des traitements faits par les logiciels et les écrans afin de restituer une image à partir des valeurs numériques enregistrées par la caméra.

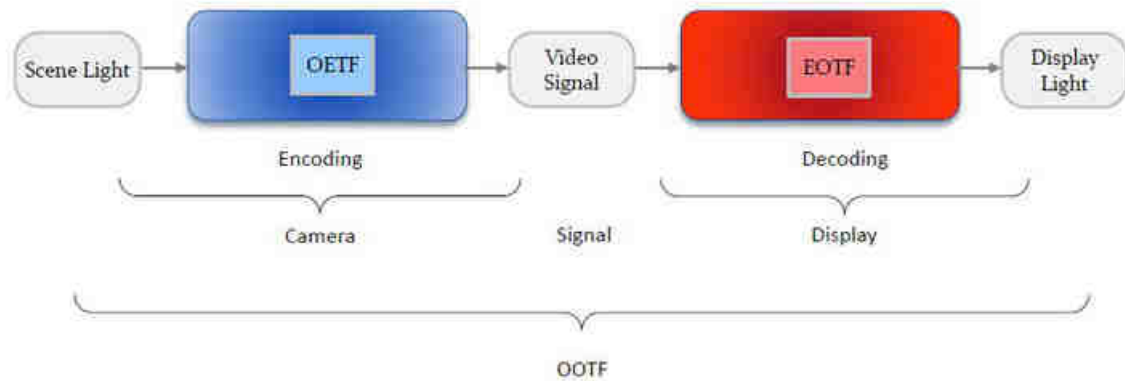


Fig.2 Traitements EOTF, OETF et OOTF

Saturation : Se dit quand le puits de lumière d'un photosite est rempli et qu'il ne peut plus le quantifier, on dit que la valeur maximale du photosite est atteinte et qu'il sature. Ceci se traduit sur l'image par un aplat blanc sans détails.

Sensibilité : C'est la capacité pour un capteur à réagir plus ou moins avec un certain nombre de photons et s'exprime en ISO. Une forte sensibilité va apporter une saturation plus rapide du capteur qu'une faible sensibilité. Il est essentiel d'identifier à ce stade deux types de sensibilité. La sensibilité haute qui se calcule à partir de la valeur de saturation du capteur. La sensibilité basse qui se calcule selon la norme ISO par le rapport signal sur bruit. La sensibilité sert à déterminer l'endroit où l'on décide d'exposer son gris à 18%. La sensibilité haute nous donne la valeur à partir de laquelle on peut exposer un gris à 18% sans saturer le capteur. La sensibilité nominale nous donne la valeur en dessous de laquelle on ne peut plus exposer correctement son gris à 18%.

L'ouverture : C'est le rapport de la focale en mm / diamètre de la pupille d'entrée en mm. On l'appelle le diaphragme ou diaph. Il s'exprime selon une suite géométrique de base $(\sqrt{2})^n$. La sensibilité donnée d'une caméra nous permet de définir à la prise de vue un diaphragme à afficher, afin que notre sujet soit bien exposé par rapport au gris neutre.

La LUT : Acronyme de Look Up Table en anglais, signifie table de conversion en français. Elle permet pour une valeur donnée de lui en réaffecter une nouvelle. Elles sont beaucoup utilisées en traitement d'image pour passer d'un espace colorimétrique à un autre ou pour donner un look à un film.

Introduction

Le HDR est un acronyme anglais qui signifie High Dynamic Range. On pourrait le traduire en français par Hautes Gammes de Contraste. Le HDR signifie ainsi plusieurs choses en fonction de la manière dont il est employé. Dans tous les cas il s'agit de la captation ou de la restitution d'un sujet à fort contraste. Il peut signifier au niveau de la captation un dispositif de captation avec une plage dynamique étendue. C'est le cas par exemple de la plupart des caméras professionnelles utilisées pour le cinéma comme l'ARRI Alexa, la RED Weapon, les Sony F65 et F55, la Panasonic VarriCam, la Canon C700,... et la pellicule argentique. Cependant ce terme peut aussi désigner la recombinaison de deux images avec une dynamique restreinte pour obtenir une image avec une dynamique étendue. Dans ce cas-là on effectue deux à plusieurs prises de vue fixes du même sujet en faisant varier le temps de pose. Seul le temps de pose varie car la variation du diaphragme entraîne une modification de la profondeur de champ dans l'image. Une modification de la profondeur de champ entraînant une modification de la géométrie de la scène ce qui crée une image différente de la précédente. On recompose ensuite l'image soit de manière informatique soit en recombinaison des négatifs par découpe ou masquage au moment du passage sur l'agrandisseur. Le premier photographe à avoir fait des prises de vue HDR fut Gustave Le Gray qui réalisa le premier une image recombinaison. Exposant un paysage de mer, il commença d'abord par réaliser un photogramme exposé pour le ciel, puis un photogramme exposé pour la mer. Après développement, il se retrouvait avec 2 négatifs ayant le même cadrage mais 2 valeurs d'exposition. Il découpa le négatif en s'aidant de l'horizon de la mer pour accoler le négatif de la mer à celui du ciel et créer la première prise de vue HDR en recombinaison 2 images avec la restitution d'une plage de contraste étendue.



Fig.3 “*Les Marines*” de *Gustave Le Gray*

Des photographes comme Pierre-Henry Muller en ont aujourd'hui fait leur spécialité. Aujourd'hui ils ne se contentent plus de réaliser 2 expositions mais entre 3 et 10 valeurs d'exposition afin d'avoir le meilleur échantillonnage des valeurs d'exposition au moment de la recombinaison. Ceci permet à la fois de bénéficier de la meilleure quantification pour chaque partie de l'image et d'améliorer les délimitations entre 2 valeurs. Bien souvent ces images sont peu appréciées car faites pour marquer le spectateur avec une abondance de détail et une sur-saturation de l'image. Le principal souci de la photographie HDR étant qu'aucun médium n'est capable de restituer dans son entièreté l'image ainsi formé (le papier photo offre un rendu sur 6 EV, un écran sur 8 EV). L'image est donc tassée afin de garder l'ensemble des informations au détriment du rapport entre le contraste image et le contraste sujet. Le contraste image touchant à la fois le contraste lumineux et le contraste couleur, les images apparaissent plus fades. Les photographes HDR vont avoir recours à outrance à la correction de contour et à la saturation de leur image faute de ne pouvoir le restituer sur un support adapté.



Fig.4 "Izmir Harbor" de Klaus Hermann

De la même manière des tentatives de double exposition d'images recombinaées ont été tentées dans le cinéma. Tout d'abord au moyen d'un rig miroir similaire à celui utilisé dans les rigs 3D où 2 caméras sont mises en parallèle afin que chacune puisse enregistrer une image avec une exposition différente. Ainsi une sera sous-exposée afin d'offrir du détail dans les hautes lumières, tandis que l'autre sera au contraire sur-exposée afin d'offrir du détail dans les basses lumières. Mais cette option pose des soucis au niveau de l'encombrement d'un rig miroir, de la complexité et du temps que demande le calage parfait des 2 caméras, le coût de la location pour utiliser 2 caméras à la prise de vue et du temps de traitement des fichiers afin de recomposer les deux images obtenues. L'autre solution développée par RED fut d'implémenter le HDR à sa caméra grand capteur, la Weapon. La stratégie de RED a été d'augmenter la capacité d'enregistrement d'un contraste sujet, en réalisant deux expositions d'une même image. Ainsi imaginons qu'on enregistre à 25 images par secondes avec une cadence image de 1/50e de secondes. Pendant ce 1/50e de seconde d'exposition, la caméra va enregistrer un photogramme à 1/200e de seconde afin d'enregistrer une image sous-exposée de 4 EV. Créant ainsi par recombinaison une image avec une étendue utile plus importante que celle enregistrée en une seule passe sur 1/50e de seconde. Le principal problème de cette technique est qu'il y a un décalage de vitesse de prise de vue qui n'est pas gênante pour un sujet fixe mais qui peut l'être pour un sujet en mouvement. Or le cinéma filme bien souvent des sujets en

mouvement qui ne vont pas occuper la même place d'une image sur l'autre. Dans un même photogramme on va se retrouver avec un sujet qui en fonction de son mouvement va être plus flou sur une partie de l'image que sur l'autre. Le problème d'une double exposition est d'avoir 2 images à recombinaison qui ne sont pas exactement pareils géométriquement parlant. La solution pour conserver une bonne restitution du mouvement en ayant une étendue utile augmentée est donc d'augmenter la capacité des caméras à enregistrer un contraste sujet important en une seule passe. Or avec la pellicule depuis plusieurs années et les capteurs des caméras numériques depuis les années 2010, l'enregistrement se fait sur une plage de contraste équivalente à ce qu'on appelle aujourd'hui le HDR. L'enregistrement se fait sur des plages allant de 11 à 14 EV en fonction des caméras et des optiques utilisées. Les optiques induisant un taux de flare qui crée pour certaines une remontée du niveau des noirs. Les différentes questions que cela soulève sont donc est-il nécessaire d'augmenter encore cette étendue utile? A quoi cela sert-il de réaliser des prises de vues avec un contraste sujet important si l'on n'est pas capable de restituer cette dynamique sujet au moyen des différents médiums qui nous sont proposés notamment la projection considérée depuis plusieurs années comme le format de référence pour les films?

Sur cette question de la restitution du HDR les téléviseurs furent pour la première fois les premiers à proposer à la fois du contenu HDR au moyen de Netflix et au moyen des Blu-Ray Ultra HD, tout en disposant d'un parc de téléviseurs important remettant en cause la suprématie des salles de cinéma dans la diffusion du DCP qui est aujourd'hui encore considéré comme la meilleure copie d'un film selon les professionnels. Aujourd'hui 3 normes de diffusion télé coexistent dans la restitution d'une image HDR. La Norme Dolby Vision et la norme HDR 10 basé sur la courbe PQ (Perceptual Quantifier) élaborée par Dolby, et la norme HLG (Hybrid Log Gamma) basée sur une courbe élaborée par la BBC. Au niveau des projections HDR en salle de cinéma, il existe 2 solutions qui ne font pas figure de normes car pas encore acceptées par la SMPTE mais qui ont vocation à le devenir. Il s'agit du Dolby Cinema et de l'Eclair Color. Se pose ainsi la question des différences qui peuvent éventuellement exister entre toutes ces normes? Ces normes sont-elles dangereuses pour le spectateur? Le cinéma et le DCP peuvent-ils toujours être considérés comme le format de référence pour un film?

En tant que futur Directeur de la Photographie et Assistant Caméra, il est nécessaire de savoir quels changements l'arrivée du HDR amène dans notre pratique de l'image. Notamment la nécessité de penser son image de l'exposition du sujet à sa diffusion que ce soit en salle ou sur moniteur HDR. L'arrivée de ce nouveau format entraînant des modifications du workflow notamment au niveau des courbes OETF (Optico-Electronic Transfer Function) et EOTF (Electro-Optical Transfer Function) qu'il sera essentiel de comprendre pour maîtriser son image durant la chaîne de post-production. L'exploitation d'une dynamique de diffusion étendue entraîne-t-elle un changement dans la pratique et dans la manière de poser son image pour les Directeurs de la Photographie? Est-on toujours capable de maîtriser son image en HDR?

Le HDR semble arriver dans le cinéma comme une solution de repli au 4K qui peine à convaincre à la fois les spectateurs, mais aussi les acheteurs de télévision. Les fabricants ont donc cherché à promouvoir dans leur version 2 de l'UHD (Ultra High Definition), le HDR et le HFR qui étaient des évolutions beaucoup plus visibles pour le spectateur. Le fait que ces technologies soient promues par les fabricants de téléviseur pose la question de la morale de l'image. Les fabricants et les étalonneurs ne vont-ils pas chercher à pousser la technologie HDR afin de montrer une image qui ne respecterait pas les volontés artistiques mais qui répondrait plus aux volontés du public de voir une image plus lumineuse, plus colorée. Surtout quand on voit les implémentations qui sont faites au niveau des téléviseurs depuis plusieurs années où chaque fabricant implémente ses propres traitements interne. Le mode démo ultra lumineux qui est là pour présenter une image fort lumineuse, avec une gradation forte et des couleurs très pures ne risque-t-il pas de se retrouver sur nos films. On se retrouve donc très vite avec des contraintes entre les volontés artistiques et les désirs commerciaux. Le but est non pas de trouver un compromis mais de voir dans quelle mesure l'outil peut nous permettre à la fois d'étendre nos possibilités artistiques mais également de garantir que tout le monde puisse voir la même image.

Cette apparition du HDR est quant à elle vue par la presse professionnelle plus comme une évolution des normes qui va dans la lignée des évolutions technologiques que ce soit au niveau des caméras numériques, des technologies d'écran OLED, des projecteurs laser plutôt que comme une innovation technologique à part entière comme cherchent à le vendre les fabricants. D'autant plus que la norme

des téléviseurs est actuellement basée sur le Rec.709 qui est une norme issue des écrans cathodiques. Mais comme toute évolution des normes il est essentiel d'envisager les modifications que cela aurait à la fois sur la prise de vue et le matériel à utiliser, le workflow qu'il faut mettre en place, le traitement des images à l'étalonnage, quel format pour quelle diffusion, le coût que cela entraîne, quelle plus-value pour le spectateur.

Toutes ces questions venant à s'interroger dans quelle mesure le HDR est-il utile et envisageable dans la production cinématographique actuelle ?

Dans ce mémoire, mon but est d'explicitier à chacun, même néophyte dans le domaine du cinéma, ce qu'est le HDR. Pour que tout le monde puisse comprendre les tenants et les aboutissants, j'ai décidé à chaque fois de revenir sur toutes les bases de la prise de vue et de la diffusion cinématographique. Mon mémoire se décompose de 3 grandes parties, la première partie portant sur la prise de vue d'un sujet à haut contraste, la deuxième partie sur sa restitution par un dispositif de visualisation, la dernière portant sur la mise en pratique de cette nouvelle technologie.

La captation d'un sujet à haut contraste se divisera en quatre points, la première s'axant sur la vision et la perception visuelle et colorée de ce sujet. Puis je tâcherai d'explicitier dans un second point le fonctionnement d'une surface photosensible, la pellicule dans un premier temps, puis le capteur numérique dans un second afin d'expliquer les mécanismes qui leur permettent d'enregistrer un sujet à fort contraste. Ensuite je définirai les termes de contraste et de gradation souvent utilisés de manière confuse par les professionnels. Enfin je donnerai ma méthode pour enregistrer un sujet à haut contraste.

La restitution d'un sujet à haut contraste se divisera en quatre points. Tout d'abord on s'intéressera aux dispositifs de projection HDR dans un premier point puis des dispositifs de restitutions télévisuels dans un second. Une fois ses dispositifs de projection présentés, on s'intéressera à l'étalonnage des images en HDR et les modifications que cela engendre de manière théorique sur la perception d'un sujet traité en HDR par rapport au même sujet en SDR. Enfin on s'intéressera aux différences visuelles entre HDR et SDR au moyen de tests perceptifs réalisés sur différents films en HDR.

Le HDR dans la pratique nous amènera à voir dans un premier temps les solutions pour la visualisation du HDR sur le plateau. Puis on s'intéressera à mes propositions personnelles afin d'améliorer les prises de vue en HDR. Enfin on étudiera le sondage mené autour d'un panel pour mesurer les moyens de consommation actuel des films et l'appétence pour les nouvelles technologies.

1^{ère} Partie : Perception et prise de vue de sujets à hauts contrastes

I – Perception Visuelle

a) Composition de l'œil

Le système visuel est un système comprenant l'œil, la rétine, le nerf optique, le chiasme optique où se croisent les deux nerfs optiques, les bandelettes optiques, le corps genouillé latéral et le cortex occipital dit cortex visuel.

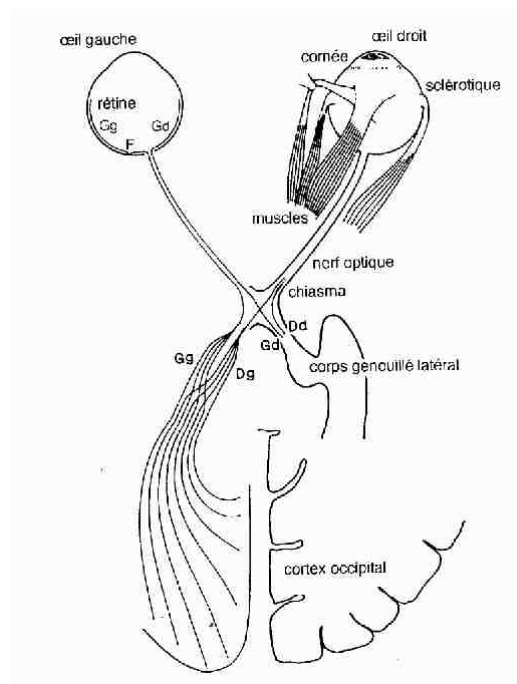


Fig.5 Composition du système visuel humain

L'œil se présente comme un globe presque sphérique d'un diamètre de 25mm. Il est rattaché au cerveau par le nerf optique. Ainsi au sein de l'œil, la cornée permet la déviation des rayons notamment des ultra-violets. Tandis que le cristallin agit comme une lentille convergente d'environ 4mm d'épaisseur qui peut se déformer pour faire varier sa vergence. Cette convergence permet l'accommodation de l'œil et faire varier sa distance de mise au point. L'axe du cristallin est l'axe optique de l'œil. On dit que le cristallin a une distance focale d'environ 24mm. Bien qu'on ne puisse pas véritablement considérer l'œil comme un système optique centré au vu de ses nombreuses discontinuités, on lui applique l'approximation de Gauss afin de le considérer comme un système centré. L'iris situé devant le cristallin permet de faire

varier au moyen de sa pupille, la quantité de lumière qui rentre. Son diamètre varie de 2mm lorsqu'elle est contractée à 8mm quand elle est relâchée. La variation du diamètre de la pupille permet d'adapter la taille à la quantité de lumière envoyée. On peut ainsi considérer l'ensemble cornée, cristallin et iris comme un bloc optique qui serait l'équivalent pour l'œil d'un objectif de caméra. La frontale de l'objectif correspondant à la cornée de l'œil, le cristallin au bloc de mise au point et l'iris qui correspondrait au diaphragme.

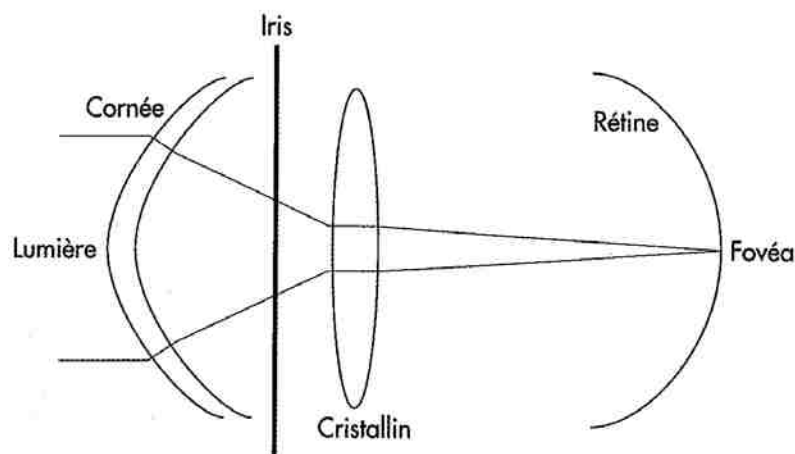


Fig.6 *Système Optique de l'œil*

Si nous prenons la formule du diaphragme de l'objectif, on obtient la formule suivante.

$$N = \left(\frac{f}{d}\right) \Leftrightarrow N_{min} = \left(\frac{25}{8}\right) = 2,8^{1/3} \text{ et } N_{max} = \left(\frac{25}{2}\right) = 11^{1/3}$$

Or ceci nous donne une valeur minimale et maximale en échelle d'ouverture photographique. Si nous voulons obtenir la dynamique de l'iris, il faut le transférer en échelle logarithmique, ici l'Aperture Value.

$$A = (2 \text{Log}_2(2,8^{1/3})) - (2 \text{Log}_2(11^{1/3})) = 4$$

La dynamique de l'iris est donc de 4 EV. L'iris réagit avant tout de manière réflexe par rapport aux variations lumineuses. L'iris joue également sur la perception visuelle de l'œil. Plus la pupille d'entrée sera ouverte moins on pourra voir de détails ceci étant dû notamment à la diffraction. On appelle cette aptitude à percevoir les détails fins, l'acuité visuelle.

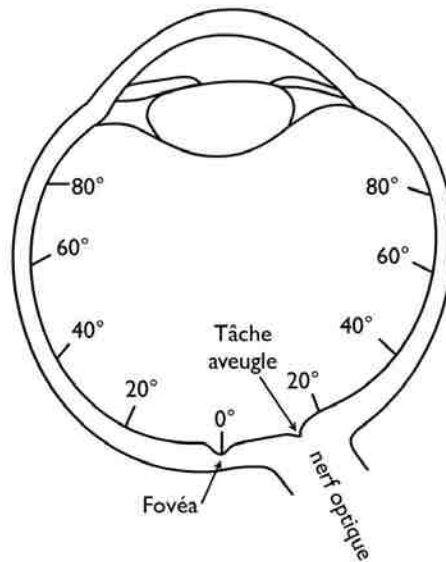


Fig.7 Coupe transversale de l'œil

La rétine est composée de cellules sensibles à la lumière et de cellule qui vont transmettre l'information lumineuse au cerveau. La partie de la rétine située sur l'axe optique s'appelle la fovéa, c'est la partie la plus mince de la rétine et mesure 1500µm de diamètre. C'est ici que se trouve la majeure partie des cônes. Il existe 4 types de photorécepteurs au niveau de la rétine, trois sortes de cônes et une sorte de bâtonnets. Ils se différencient par leur photosensibilité. Le maximum de sensibilité des bâtonnets se trouve à 495 nm, tandis qu'il se trouve à 420 nm pour les cônes S (short), 530 nm pour les cônes M (Medium) et 560 nm pour les cônes L (Long). C'est dans la fovéa que se trouve la majeure partie des cônes, tandis que les bâtonnets se situent plus en périphérie de la fovéa. A 16° de l'axe optique se situe le nerf optique où sont absents les photorécepteurs, on dit que cette zone est insensible à la lumière.

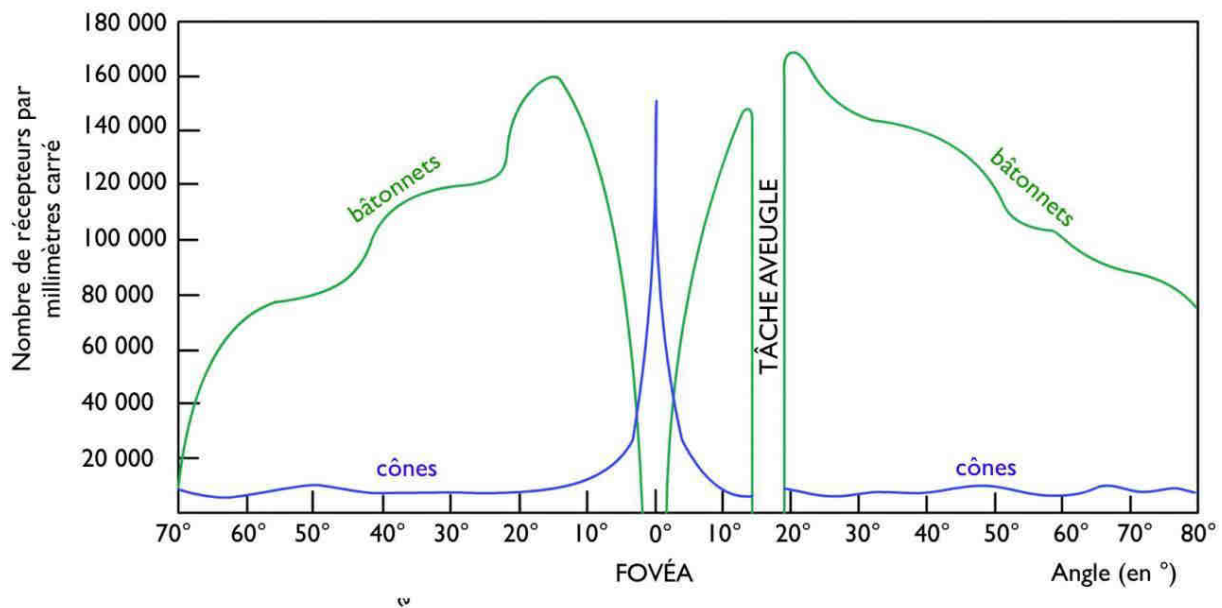


Fig.8 Graphique représentant l'emplacement des photorécepteurs dans la rétine

Les cônes ont chacun un spectre d'absorption spécifique qui entraîne trois réponses physiologiques différentes mais simultanées. Ces trois réponses entraînent un codage de la couleur à partir de 3 informations colorées simples pour recombinaison l'information couleur. C'est de là que naît le codage trivariant de la couleur. Les cônes M et L, sont chacun 50 fois plus nombreux que les cônes S. Ce qui explique que notre œil soit plus sensible au vert et au jaune qu'aux autres couleurs. Cependant la réaction des cônes à une sensibilité donnée ne peut expliquer à elle seule l'information couleur. Ainsi on considère que l'information couleur est structurée selon trois canaux. Le canal achromatique qui va caractériser l'intensité lumineuse au moyen de l'addition des réactions des cônes M et L en faisant abstraction de leur composition spectrale. Le canal Bleu-Jaune qui va transmettre une information antagoniste opposant les cônes S avec les cônes M et L. Le canal Vert-Rouge qui va transmettre une information antagoniste opposant les cônes L avec les cônes M.

Les bâtonnets ne réagissent qu'à des luminosités inférieures à 10 candelas par mètre carré et ne possèdent qu'un seul type de bâtonnet lui conférant qu'une seule sensibilité spectrale. L'interprétation de l'information colorée des bâtonnets est limitée de par leur sensibilité lumineuse différente de celle des cônes et de par leur sensibilité spectrale unique.

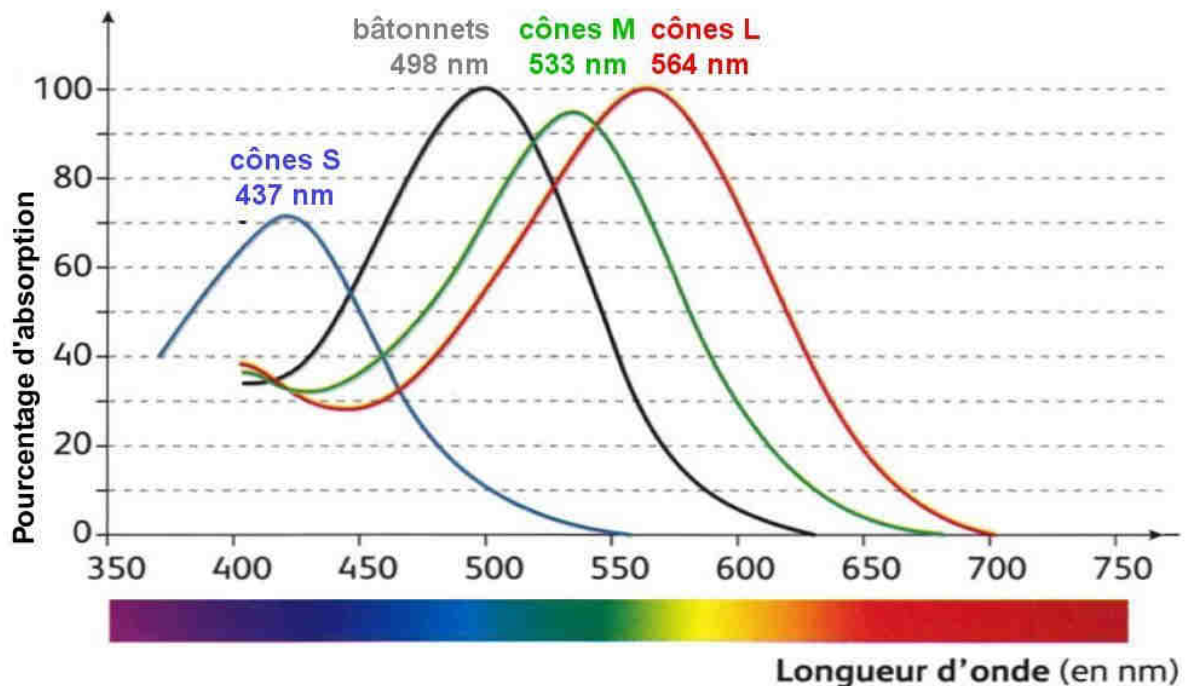


Fig.9 Sensibilité spectrale des photorécepteurs S, B, M, L

Le fonctionnement du système change en fonction de la luminosité ambiante qu'on peut diviser en trois catégories. La vision scotopique est la capacité pour le système visuel de réagir à de faibles luminosités, la nuit. Une vision qui ne met en action que les bâtonnets, entraînant la non perception des couleurs et la perte de détails. Les bâtonnets étant situés en périphérie, la vision latérale est élargie et améliorée. La vision photopique ou diurne est la capacité pour le système visuel à voir dans un environnement lumineux, le jour. Seuls les cônes réagissent et par leur système de canaux permettent de détecter et s'adapter rapidement à de fortes différences de lumière et reconnaître les différentes couleurs. Au-dessus de plusieurs milliers de candela par mètre carré, c'est la zone d'éblouissement. Cette zone se traduit dans un premier temps par une saturation du canal rouge-vert qui entraîne une dérive globale du traitement de l'information colorée dans l'antagonisme bleu-jaune où les rouges deviennent jaunes. Puis dans un second temps la saturation des 3 cônes amenant une perte de l'information colorée. La vision mésopique ou crépusculaire met en action les cônes et les bâtonnets simultanément. Elle apparaît avant la saturation des bâtonnets, à des niveaux inférieurs à une dizaine de candela par mètre carré. Elle entraîne un accroissement de la sensibilité aux courtes longueurs d'onde où les bleus ont tendance à devenir plus lumineux que les rouges.

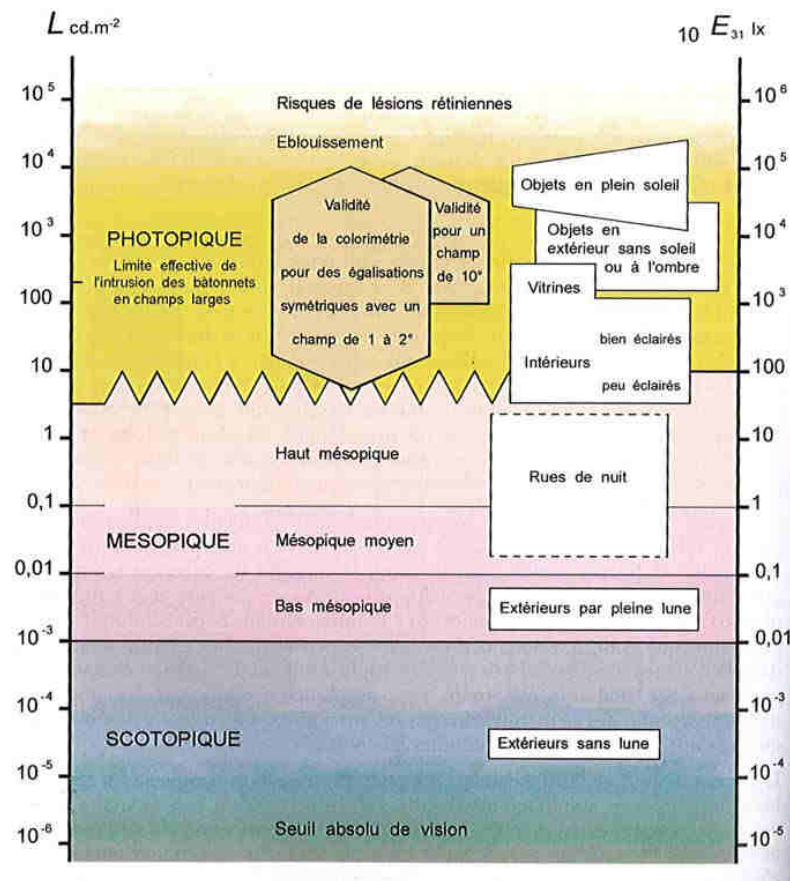


Fig.10 Graphique montrant les 3 types de vision

L'information visuelle passe ensuite par le nerf optique, puis par le Chiasme Optique qui va recouper les informations visuelles des 2 demi-images issues des deux yeux de manière à améliorer l'interprétation du relief et potentiellement des brillances et des hautes lumières. L'information va ensuite être séparée à nouveau pour se diriger vers le cortex visuel où l'information va être amplifiée par le corps genouillé. Le cortex visuel va traiter l'information visuelle qui lui est transmise. Il va ainsi la transmettre soit sous forme de perception visuelle du monde, soit sous forme de comportement où une information visuelle entraîne une réaction envoyée à une autre zone cérébrale (reconnaissance de la nourriture, ballon de football qui arrive, ...).

b) L'adaptation Lumineuse

L'étendue utile de l'œil c'est à dire la capacité à percevoir un objet éclairé, appelé sujet, s'étend pour le point le plus sombre de 10^{-5} cd /m² à 10^5 cd/m² pour le point le plus clair. Ce qui donne à l'œil un contraste de $10^{10} : 1$. Cependant l'œil ne réagit pas de manière arithmétique, mais est plus proche d'une réaction logarithmique de base 2. C'est de cette manière que l'échelle des diaphragmes se compose où deux fois plus de lumière se traduit par un indice de 1, quatre fois plus de lumière par un indice de 2 et ainsi de suite. On nommera le contraste qui s'exprime de manière arithmétique en candela par mètre carré et la dynamique qui s'exprime de manière logarithmique en EV (Exposure Value) ou dans sa traduction française IL (Indice de Lumination). Ceci nous donnant pour l'œil une dynamique de $Dynamique_{Totale} = \text{Log}_2(10^{10}) = 33 \text{ EV}$

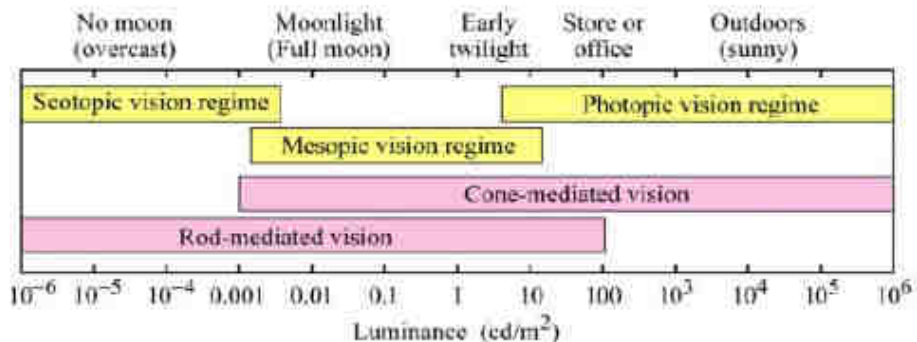


Fig.11 Graphique du contraste de l'œil

N.B. "Rod" signifie bâtonnet en anglais

Cependant de toute la dynamique que l'œil est capable de percevoir, seule une infime partie peut être vue de manière simultanée, on l'appelle la Dynamique Instantanée, celle qu'est capable de voir l'œil à un instant T, sans variation de la pupille. La Dynamique Instantanée se limite à la possibilité de voir du détail à la fois dans les hautes et dans les basses lumières. Cette dernière est estimée à 14 EV pour l'œil humain. L'œil s'adapte à la luminance en fonction de la vision utilisée. La vision photopique va utiliser les cônes pour s'adapter à la luminosité ambiante, tandis que la vision scotopique va utiliser les bâtonnets pour s'adapter à la luminosité. A noter qu'il faut une trentaine de minutes d'adaptation pour passer d'une vision photopique maximale à une vision scotopique minimale.

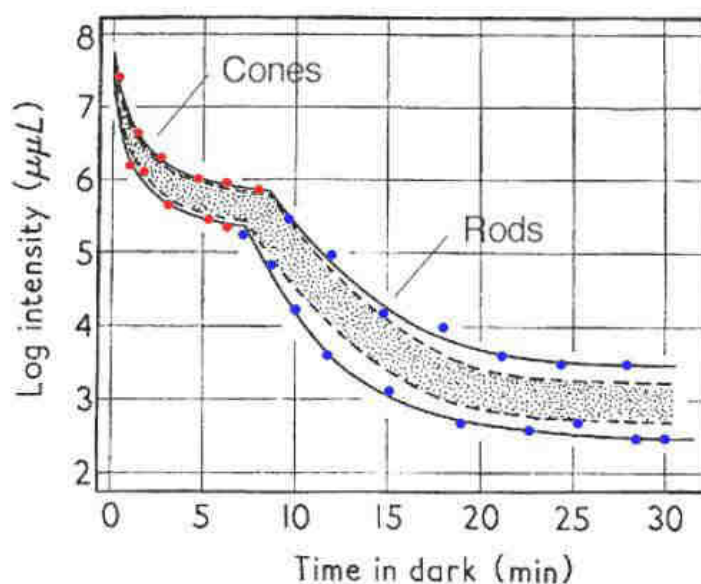


Fig.12 Graphique montrant le temps l'adaptation des cônes et des bâtonnets à un certain niveau lumineux

La vision mésopique, oblige les cônes et les bâtonnets à participer de manière conjointe à l'adaptation lumineuse. Les cônes s'adaptent à la lumière dans l'axe de vision tandis que les bâtonnets s'adaptent à la vision périphérique. Ceci expliquant pourquoi on est plus ébloui au cinéma que face à un écran de télévision. L'écran de cinéma est situé dans un environnement noir contrairement à la télévision qui est située dans un environnement sombre à lumineux. L'éblouissement est dû à une variation lumineuse supérieure aux capacités de l'iris. Une modification de luminosité supérieure à 4 EV fait que l'iris qui agit de manière réflexe ne peut pas se fermer suffisamment pour compenser l'écart de lumière. La rétine doit à défaut, s'adapter à cette variation de lumière dont le temps d'adaptation dépend de l'écart de luminance. C'est ce temps d'adaptation qui marque la durée de l'éblouissement. Exemple dans un tunnel on prend un certain temps pour passer de la vision photopique à la vision mésopique. La rétine composée de cônes et de bâtonnets s'adapte à cette nouvelle valeur de luminance, on gagne au fur et à mesure de l'adaptation du détail dans les zones sombres. Quand on sort du tunnel l'iris ne peut pas compenser la différence de luminosité. Les cônes et les bâtonnets saturent et mettent un certain temps à se réadapter. Ce temps de réadaptation, c'est le temps d'éblouissement.

Après plusieurs recherches je n'ai pas trouvé de risques causés par l'éblouissement, juste une gêne pour le spectateur. Les causes de dégâts de la rétine entraînant des détériorations des cônes et des bâtonnets, sont principalement les

rayons ultraviolet du soleil qui au même titre qu'ils brûlent la peau vont entraîner une brûlure des photorécepteurs.

c) La Couleur

“La perception visuelle est l'opération mentale de structuration de la sensation visuelle, d'interprétation du donné visuel immédiat. L'apparence visuelle est le résultat de l'opération perceptive et cognitive.”² On reconnaît ainsi 5 classes d'apparence visuelle : la forme, la couleur, la brillance, la transparence et la texture. La forme et la texture participent à définir la géométrie de l'objet. La couleur et la transparence caractérisent sa matière et forment une complémentarité à l'aspect géométrique. La brillance se retrouve ainsi entre les deux, ne dépendant pas de la géométrie car non palpable, et ne dépendant pas de la matière car ne participant pas à la caractérisation de la matière interne à l'objet. La brillance serait donc une matière en surface qui se rapprocherait plus de la texture.

La perception des formes est possible au travers de la perception tactile et visuelle, tandis que la perception de la couleur est uniquement visuelle. Le langage a permis de donner des codes, mais si deux personnes ne sont pas d'accord sur le terme employé, il est très difficile de savoir si cela vient d'un défaut de langage ou de perception. Ceci montre donc l'importance de l'aspect cognitif dans la perception de la couleur. Cette perception est toujours due lorsqu'on regarde une source lumineuse ou un objet coloré à un rayonnement lumineux émis dans le premier cas, réfléchi dans le second. Pour les caractériser on emploiera deux modes d'apparence distincts. On parlera de couleur d'ouverture pour une lumière émise, et de couleur de surface pour une lumière réfléchie qui est diffusée et transmise par la surface d'un objet.

On qualifiera la couleur par sa teinte. Une couleur qui a une teinte, a une tonalité chromatique c'est le cas du rouge, bleu, vert, jaune, rose, violet, ... par exemple. Une couleur qui n'a pas de teinte est achromatique, on la qualifiera de neutre. C'est le cas du blanc, du gris (et du noir uniquement pour une couleur de surface). On qualifiera la couleur par sa pureté (ce qu'on a l'habitude d'appeler saturation) et pour une couleur de surface par sa clarté, la luminosité étant réservée uniquement pour une couleur d'ouverture. Les termes de teinte, pureté et clarté sont les attributs

² Robert SEVE, *Science de la couleur* p.9

de la perception ou de l'apparence colorée.

La lumière fait partie des rayonnements électromagnétiques et la notion de rayonnements lumineux ou de lumière n'est réservée qu'aux rayonnements électromagnétiques qui ont un effet visuel. Les rayonnements lumineux qui ont un impact visuel sont ceux compris entre 380 et 780 nm. En dessous, on est dans le domaine des ultra-violets, au dessus, on est dans le domaine des infra-rouges. Le flux d'énergie, c'est à dire la puissance du rayonnement lumineux régit quant à lui l'intensité lumineuse. Le bleu situé à 473 nm, le Vert situé à 512 nm, le Jaune situé à 570nm et le Rouge situé entre 600 et 620 nm forment l'ensemble des teintes élémentaires qu'Hering a regroupé en paires antagoniste Bleu-Jaune et Rouge-Vert. Toutes les autres teintes peuvent être créées à partir des teintes élémentaires pour créer des teintes binaires. Dans le traitement des couleurs, il faut différencier les primaires qui composent les mélanges de matières colorantes aux primaires qui composent les mélanges de lumières colorantes. Ainsi pour les matières, on utilisera les primaires cyan, magenta, jaune en utilisant les lois de mélange soustractif, la somme de ces 3 matières colorées donnant du noir. Tandis que pour les mélanges des lumières colorées, on utilisera les primaires rouge, vert, bleu en utilisant les lois de mélange additif, la somme de ces 3 lumières colorées donnant du blanc.

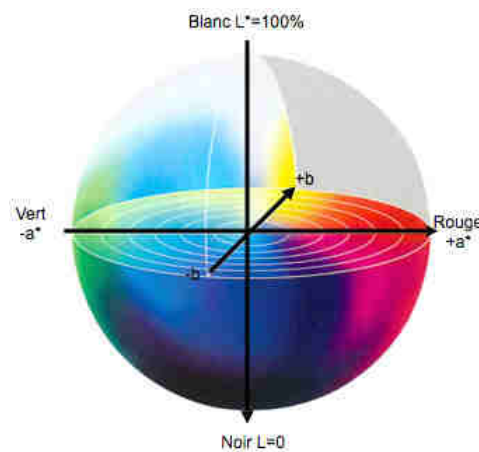


Fig.13 Espace Couleur CIE $L^*a^*b^*$

La CIE a reconnu en 1976 l'espace couleur CIE $L^*a^*b^*$ qu'on abrège CIE Lab pour caractériser les couleurs de surfaces. Elle se définit par l'axe L correspondant à la clarté, l'axe a aux antagonistes vert / rouge et l'axe b aux antagonistes jaune / bleu. Au centre de l'axe se trouve les couleurs neutres et en périphérie de la sphère, les couleurs pures. Cet espace a pour but de simuler la réponse de l'oeil à une couleur de

surface.

Chevreur dans ses études pour la Manufacture des Gobelins a énoncé les lois suivantes pour ce qu'il appelle "le Contraste Simultané"³ : "Des couleurs placées côte à côte tendent à paraître plus différentes qu'elles ne le sont lorsqu'on les voit séparément."

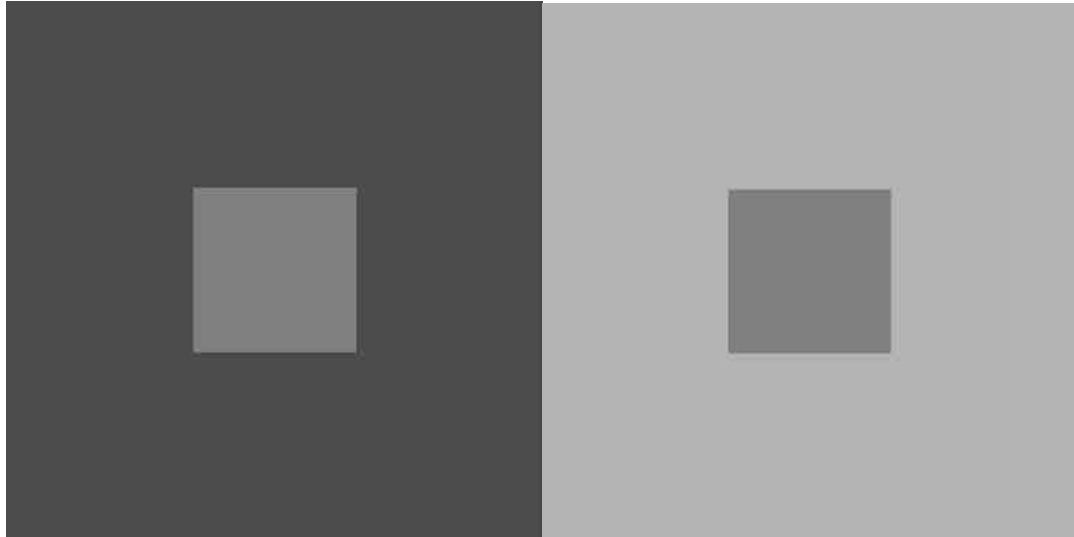


Fig.14 Image de 2 gris à 50% dans 2 environnement lumineux différents

"Une surface de luminosité moyenne paraît plus sombre sur un fond clair, et plus claire sur un fond sombre."⁴ Ici nous avons au centre 2 gris à 50% parfaitement identique qui ne sont pas perçus de la même manière en fonction de l'environnement qui l'entoure. C'est le contraste de luminosité.

³ CHEVREUL Michel-Eugène, De la loi du contraste simultanée des couleurs et de l'assortiment des objets colorés

⁴ Robert SEVE, *Science de la couleur* p.9

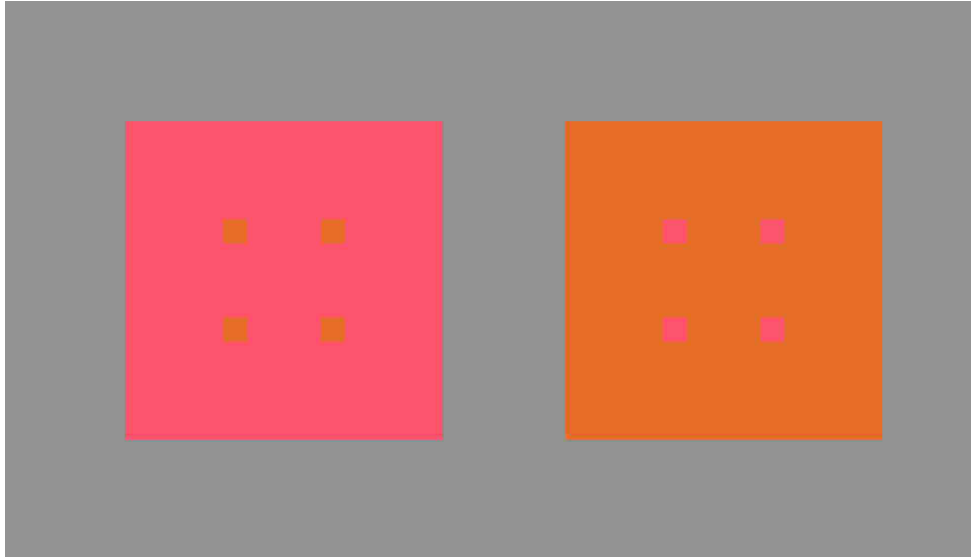


Fig.15 Image de 2 teintes ayant la même luminosité dans deux environnements colorés différents sur fond neutre.

“Au contact d'une plage de couleur d'une teinte différente, mais de luminosité aussi égale que possible, une couleur change de teinte pour s'éloigner de celle qui lui est juxtaposée.”⁵ Ici on observe que dans le carré rose les petits carrés orange tendent vers le vert, tandis que les carrés roses tendent vers le magenta dans le carré orange.

L'effet de contraste simultané est à prendre en compte dans la perception des couleurs. Les contrastes colorés et lumineux participent à modifier la perception qu'on se fait d'une couleur. La modification de la perception entraîne une interprétation différente des informations de teinte et de clarté. Le système visuel a ainsi la capacité de s'adapter rapidement à des modifications de lumière, qu'on nomme l'adaptation lumineuse, et à sa répartition spectrale, l'adaptation chromatique. L'adaptation chromatique permet d'adapter la perception du spectre des couleurs à la lumière environnante. L'œil va adapter facilement sa reconnaissance des couleurs en fonction qu'il soit dans une ambiance orangée comme sous une lumière tungstène ou une ambiance bleutée comme un ciel nuageux. C'est la balance des blancs qu'il est par exemple nécessaire de faire avec un système de prise de vue n'ayant pas la capacité de corriger automatiquement cette dérive du spectre du visible.

⁵ Robert SEVE, *Science de la couleur* p.9

II - Du capteur à l'image

a) La Pellicule

Le capteur s'inspire dans sa conceptualisation de la pellicule, qui s'inspirait lui-même de l'œil comme photorécepteur. La pellicule est en effet composée de grains d'argent plus ou moins gros répartis de manière aléatoire sur la pellicule. Ces grains d'argent qui noircissent au contact de la lumière transforment la couche photosensible en un négatif noir et blanc après développement. Le temps d'exposition vient faire noircir plus ou moins chaque grain d'argent ce qui crée des nuances de gris entre le blanc non exposé et le noir surexposé. Pour connaître la latitude d'exposition de notre sujet on réalise un coin sensitométrique. C'est l'exposition d'un morceau de pellicule devant une gamme de gris comportant un pas précis entre deux valeurs de gris. Ce pas est bien souvent de 0,2 en densité. La densité s'exprimant en Logarithme de base 10, cela correspond en logarithme de base 2 à $\frac{2}{3}$ EV. Une fois notre coin sensitométrique exposé, puis développé, on obtient une gamme de gris sur la pellicule qu'on mesure au moyen d'un densitomètre. Le densitomètre va nous permettre de connaître la densité de chaque plage exposée qu'il nous suffira ensuite de répertorier dans un tableau qui va nous donner une courbe comme celle qu'on peut observer ci-dessous.

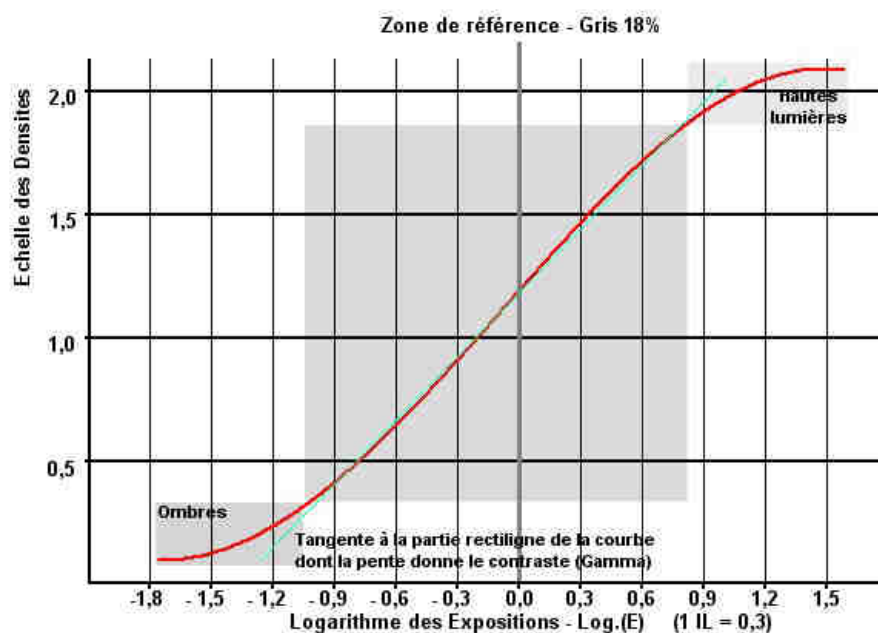


Fig.16 Image d'une courbe sensitométrique

Nous pouvons voir ici qu'il s'agit d'un négatif Noir et Blanc car nous n'avons qu'une seule courbe. Une courbe de négatif couleur serait composée de 3 courbes RVB. Il s'agit d'un négatif car les sujets sombres ont une faible densité donc transmettent beaucoup de lumière. Alors que les sujets fortement éclairés ont une densité forte donc occultent beaucoup de lumière. La densité notée D qui se trouve sur l'axe des ordonnées a pour formule $D = \text{Log}_{10} (\text{Opacité})$. L'échelle des Densités s'exprime donc selon un Logarithme de base 10. Au niveau des abscisses, est représenté le Logarithme d'exposition. Or l'on sait que 1 EV correspond à 2 fois plus de lumière donc $\text{Log}_{10} (2) = 0,3$. Sur le schéma ci-dessus, on a donc un pas de 0,3 qui correspond à 1 EV. Ici, ils sont répartis en fonction d'un gris à 18% qui se trouve plus ou moins à équidistance des 2 extrémités de la courbe. On peut constater ici qu'on a 9 EV d'étendue utile. La taille des grains d'argent va quant à elle déterminer la sensibilité de la pellicule. Le noircissement se faisant par une réaction d'oxydo-réduction, au contact des photons et plus particulièrement de leurs électrons e^- . Les halogénures d'argent Ag^+ vont réagir pour s'oxyder et retrouver leur forme neutre Ag. Plus les grains d'argent vont être gros, plus ils arriveront à réagir avec des photons.

En couleur, on va ainsi avoir au moins 3 couches d'émulsion photosensibles. La combinaison de 3 couleurs permettant d'obtenir toutes les autres.

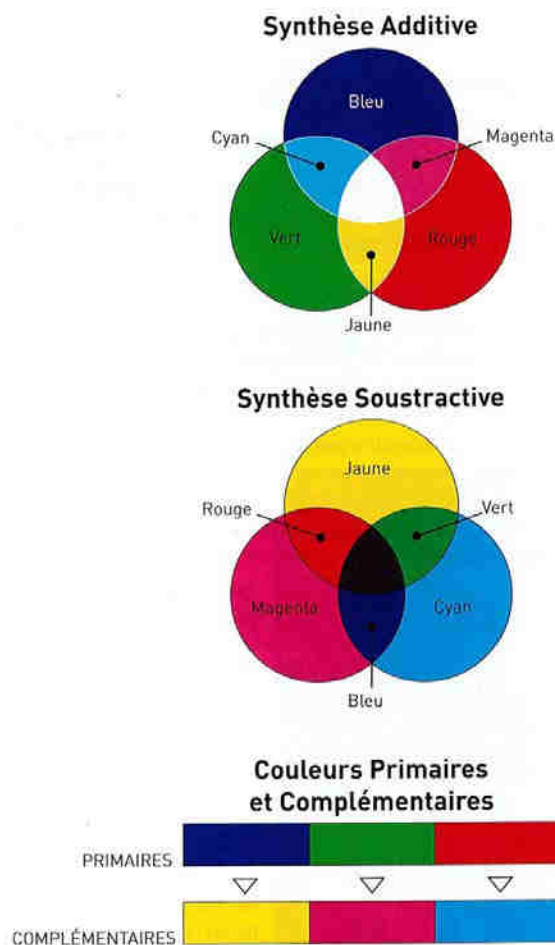


Fig.17 Schéma de la synthèse des couleurs (Source Kodak)

Il est donc nécessaire d'impressionner les couleurs Rouge, Vert, Bleu dans des couches séparées. Si Technicolor a au début commencé par enregistrer 3 négatifs rouge, vert, bleu. Les avancées techniques ont permis la réussite de l'enregistrement des 3 couches sur un seul négatif. Cependant comme on peut le voir sur le schéma ci-dessous, les halogénures d'argent ne sont pas sensibles aux mêmes rayonnements que le système visuel humain et vont être sensibles au bleu et aux ultra-violet.

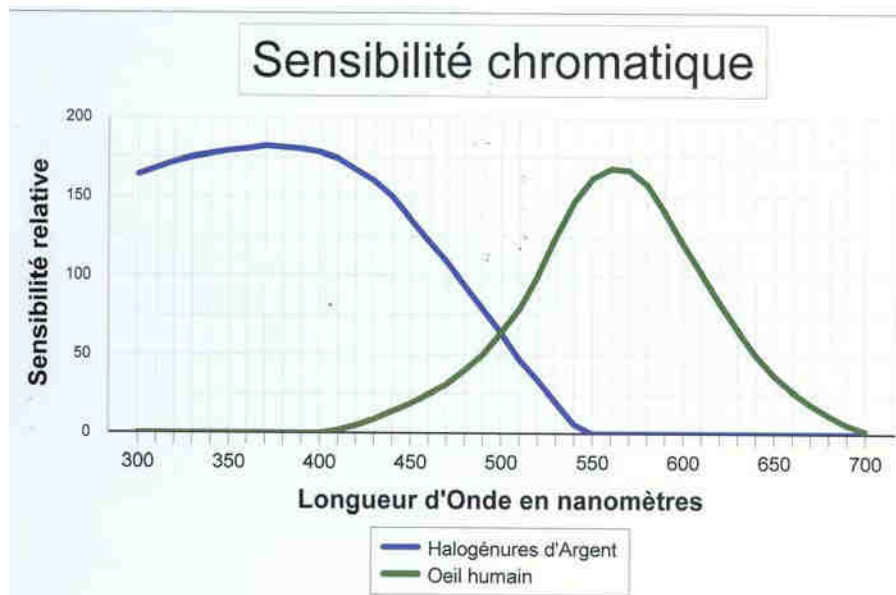


Fig.18 Sensibilité spectrale des halogénures d'argent (Source Jean-Louis Fournier)

Or a été inventé la pellicule orthochromatique qui permet de n'être sensible qu'au vert et au bleu et la panchromatique sensible à toutes les longueurs d'onde. L'enregistrement des 3 couches est donc possible à condition de respecter un ordre précis. Les ultra-violetes auxquels la pellicule est très sensible vont être filtrés afin de permettre le passage des longueurs d'onde du spectre visible. Les halogénures restent toujours sensibles au bleu. La première couche va permettre au bleu de réagir avec les coupleurs jaunes et d'impressionner l'image bleue. Le filtre Jaune va quant à lui permettre d'arrêter la réaction du bleu et de laisser uniquement le jaune passer. Or le jaune étant la composante du vert et du rouge, l'émulsion orthochromatique va être utilisée pour réagir avec les coupleurs Magenta et impressionner l'image verte. La dernière couche va être l'émulsion panchromatique qui va réagir avec les coupleurs cyan et former l'image rouge. Le vert passe avant le rouge dans les couches d'émulsion car la pellicule orthochromatique n'est pas sensible aux rouges, de plus notre système visuel est plus sensible au vert. De plus l'image finale sera composée d'environ 30% de rouge, 60% de vert et 10% de bleu. Pour des raisons qualitatives il aurait été préférable de mettre la couche verte en premier et la bleue en dernier mais pour des raisons techniques ceci n'est pas possible.

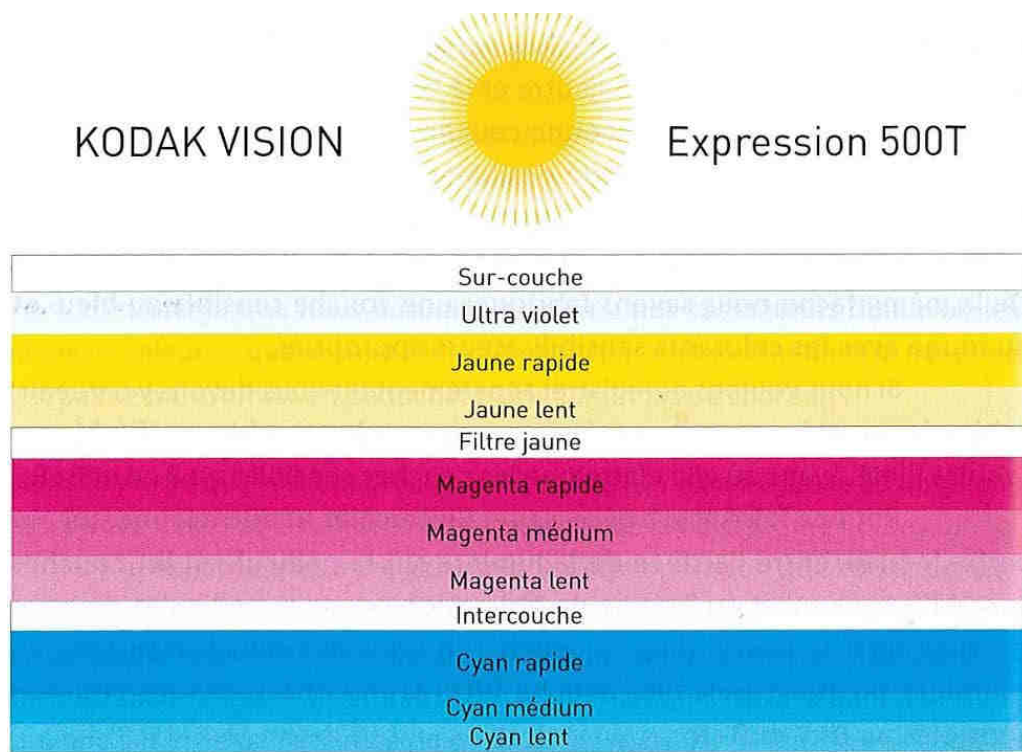


Fig.19 Coupe transversale d'une pellicule négative couleur (Source Jean-Louis Fournier)

Les différentes couches au sein de l'impression d'une même couleur permettent de mettre différentes tailles de grains d'argent. Ainsi la couche intitulée "rapide" va contenir de gros grains d'argent pour réagir aux faibles luminances tandis que la couche "lente" va avoir un grain très fin pour réagir avec les hautes lumières. Cette spécificité permet d'avoir des négatifs ayant une grande étendue utile.

b) Les Capteurs Numériques

Les capteurs numériques fonctionnent sensiblement de la même façon qu'une pellicule d'où la nécessité de faire un parallèle. D'autant plus que les méthodes de reconstitution colorées qui arrivent tendent à se rapprocher de celles de la pellicule. Il existe 3 types de capteurs numériques, le CCD, le CMOS et le Fovéon.

Le CCD (Charge-Coupled Device) qui se traduit en français par DTC (Dispositif à Transfert de Charge) est historiquement le premier capteur conçu en 1969. Il se compose de plusieurs photosites carrés disposés les uns à côté des autres. Composés de Silicium, ce sont eux qui forment la surface photosensible. Au contact de photons, le photosite va capter les électrons qui vont remplir son puits potentiel. Ainsi le nombre d'électrons est proportionnel à la quantité de photons reçus. Les

électrons vont être collectés dans les puits potentiels de chaque photosite puis transférés de manière horizontale jusqu'au registre horizontal appelé photodiodes. Ce dernier va transformer le nombre d'électrons en tension de manière proportionnelle afin de créer un signal analogique. Ce signal sera ensuite amplifié et numérisé à l'extérieur du capteur. Ce capteur a évolué avec le temps pour tenter d'améliorer le transfert de charge pour qu'il se fasse plus près des photosites et donc plus rapidement.

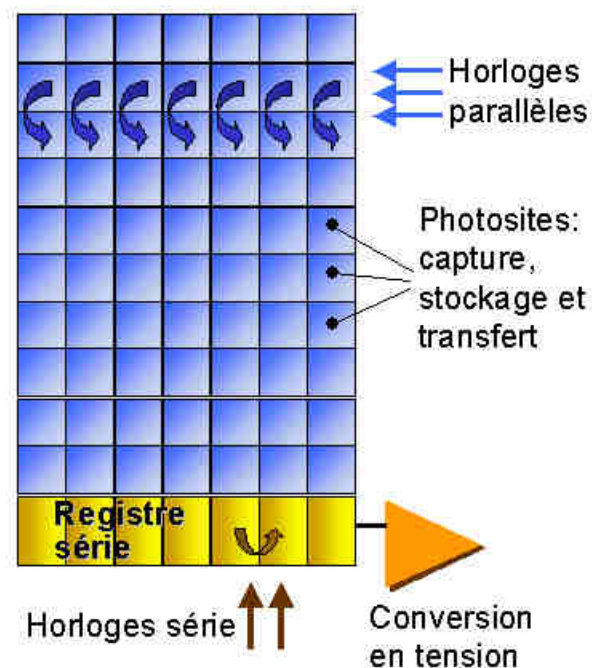


Fig.20 Schéma d'un capteur CCD

Fujifilm a tenté d'améliorer l'étendue utile du CCD avec sa technologie Fujifilm SR et SR II. Partant d'une matrice composée de photosites hexagonaux "S" auxquels ils juxtaposent des photosites plus petits "R" qui vont capter moins de lumière mais permettre de gagner 2 EV dans les hautes lumières. Principe qui reprend celui en pellicule de la couche rapide et de la couche lente où coexistent deux tailles de grain et deux sensibilités d'émulsion différentes.

Le CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) est un capteur proche du CCD à la différence que chaque photosite a son propre système de transfert de charge. Il n'y a donc plus de problèmes lors du transfert de charge, et affiche une consommation électrique et un coût de fabrication réduits. Le principal inconvénient du CMOS vient du fait que soient juxtaposées l'un à côté de l'autre le photosite et le

photodiode qui font que la surface photosensible est considérablement réduite. Pour cela on utilise comme c'est le cas sur certains CCD des micro-lentilles situées au-dessus de chaque photosite qui ont pour but de concentrer les rayons de lumière et améliorer la sensibilité du capteur.

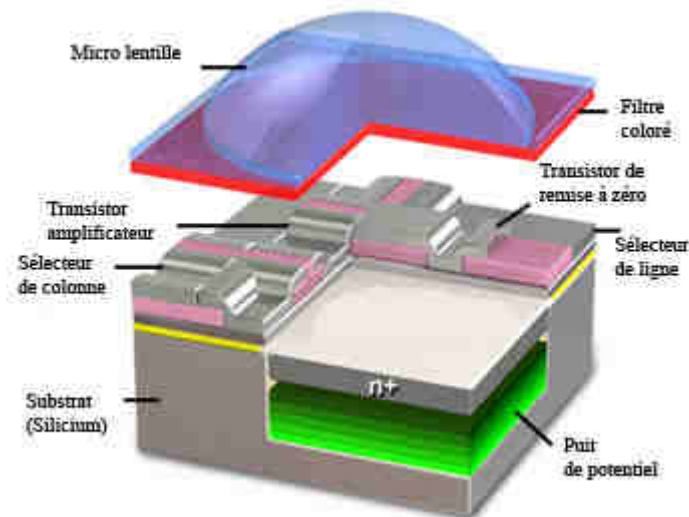


Fig.21 Schéma d'un capteur CMOS

Selon la définition du Larousse, la sensibilité c'est l'aptitude d'un organisme à réagir à des excitations externes ou internes. Ici on remarque qu'en numérique ou en argentique, on est confronté à cette sensibilité dès qu'il y a une réaction photochimique ou photovoltaïque qui se produit. Ici on se retrouve sur le même principe qui veut que plus la surface photosensible sera grande, plus elle arrivera à capter de photons. Plus cette surface sera grande plus elle va réagir donc plus elle sera sensible. Ainsi dans les deux cas photochimiques et numérique, on va tenter de quantifier cette réaction. La quantifier nous permet de déterminer la lamination minimale qui lui est nécessaire pour commencer la réaction, et la lamination maximale qui signifie que la réaction est totale.

$$H = 0,64 \times \frac{L}{A^2} \times t$$

On peut voir que les éléments qui déterminent la lamination sont la Luminance du sujet (L) donc l'intensité lumineuse réfléchie par l'objet. L'ouverture de l'objectif (A) qui va déterminer la lamination qui passe au travers du système optique avant d'aller illuminer la surface photosensible. Le temps d'exposition (t) qui va déterminer, le temps de la réaction. Connaître la sensibilité de notre surface photosensible va ainsi nous

permettre de maîtriser sa lamination. Connaître la valeur de lamination de la surface photosensible nous permet de maîtriser la luminance de notre sujet comme on peut le retrouver dans la formule ci-dessous.

$$EV = \text{Log}_2\left(\frac{\text{Luminance} \times \text{Sensibilité}}{\text{Constante d'étalonnage}}\right)$$

Un point que nous n'avons pas abordé c'est la gestion de la couleur avec les capteurs numériques. Pour les CCD, on avait comme à l'époque du Technicolor, des systèmes Tri-CCD. Avec cette méthode là comme avec celle de la pellicule, un groupe de prismes vient séparer la lumière blanche en 3 couleurs Rouge, Vert, Bleu. Chaque capteur monochrome va porter sur sa matrice en noir et blanc les informations d'un des 3 canaux Rouge, Vert ou Bleu. Ces 3 matrices vont être "colorées" en fonction des canaux de sortie du séparateur optique, grâce à 3 filtres dichroïques, respectivement rouge, vert et bleu.

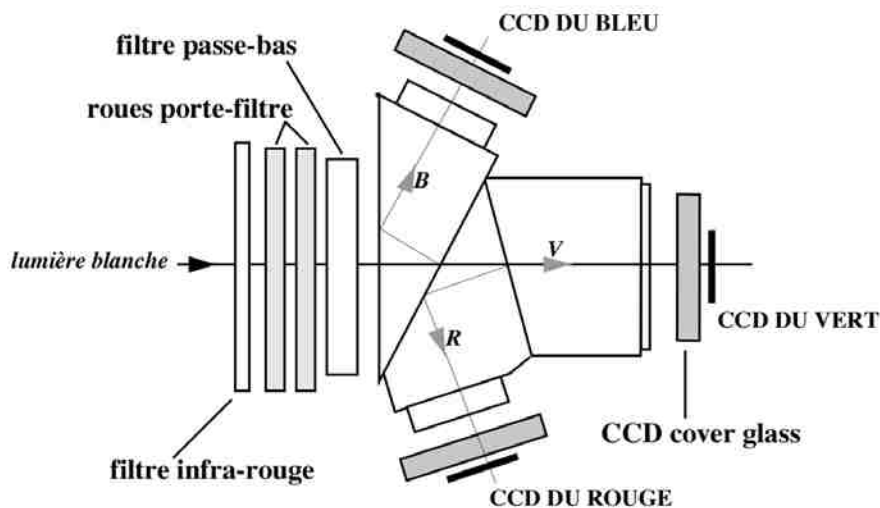


Fig.22 Schéma d'un dispositif Tri-CCD (Source Sophie Bosquillon)

Une fois ces matrices colorées, on va pouvoir additionner les valeurs de chaque photosites afin de créer les pixels de notre image RVB finale. Pour cela on va pondérer les valeurs de chaque canaux selon l'équation suivante telle qu'elle est présentée dans la norme Rec 709 pour les téléviseurs HD.

$$Y = 0,2126 R + 0,7152 V + 0,0722 B$$

Ceci permettant d'obtenir notre image RVB finale à partir des 3 matrices RVB.

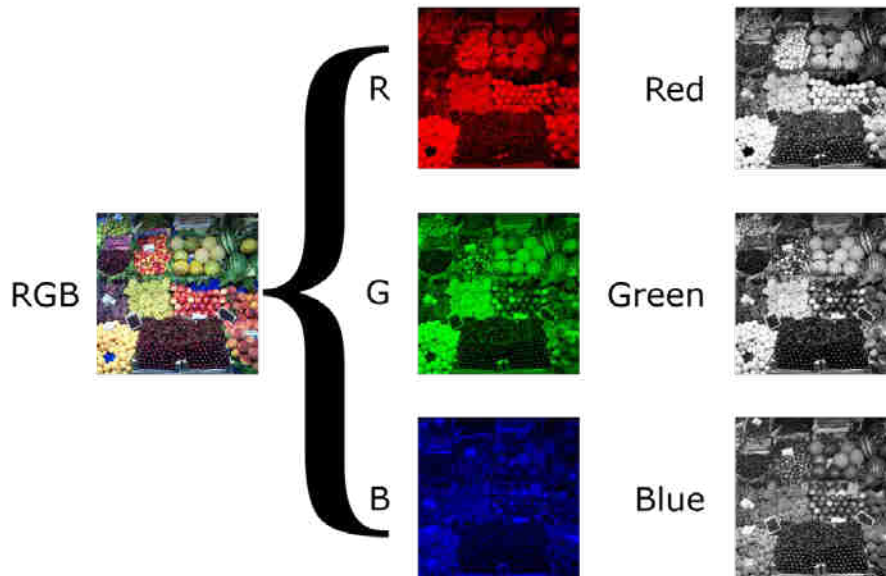


Fig.23 Graphique de la recombinaison RVB en numérique

Pour l'enregistrement de la couleur sur un seul Capteur CCD ou CMOS, on va utiliser ce qu'on appelle une Matrice de Bayer. Le principe de cette matrice est de placer devant chaque photosite des filtres rouge, vert ou bleu de manière à créer des carrés composés de 2 photosites vert, 1 photosite rouge et 1 photosite bleu.

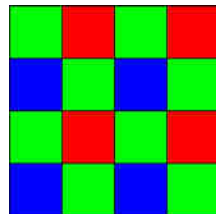


Fig.24 Matrice de Bayer

Une fois cette matrice créée sur le capteur, on va obtenir une image composée de différents niveaux de gris irréguliers puisque chaque photosite correspond à un canal couleur donné. Il va donc falloir séparer chaque photosite afin de passer d'une couche exprimée en Luma à 3 couches Rouge, Vert et Bleu.

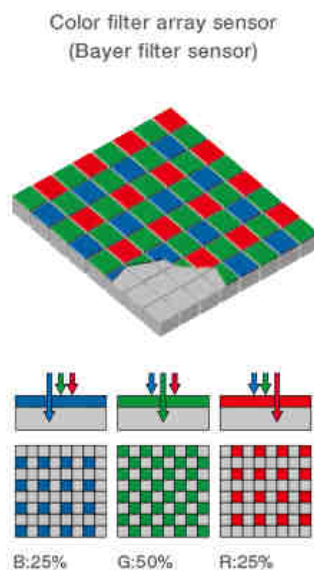


Fig.25 Séparation des couches de la Matrice de Bayer (Source Sigma)

Une fois ces 3 couches séparées, on va passer à la recombinaison afin de combiner les photosites colorés pour créer des pixels comportant les 3 informations colorées.



Fig.26 Recomposition d'image (Source David Alleysson - 30 years of demosaicing)

Ainsi pour la Débayerisation plusieurs méthodes existent et qui sont détaillées dans l'article d'Alleysson *30 ans de Démosaïquage* dont nous nous contenterons ici de développer les méthodes simples. La première méthode est dite la méthode de copie de pixels. Cette méthode consiste à dupliquer l'information colorée d'un photosite sur celle de son voisin comme sur le schéma ci-dessous.

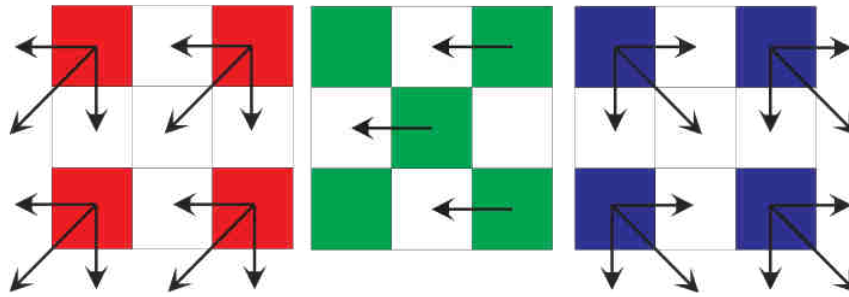


Fig 27 Schéma de Débayérisation par copie de pixel (Source David Alleyson)

La seconde méthode est la méthode dite de recombinaison bilinéaire par pondération. Ce qui équivaut à recréer l'information couleur en pondérant avec les valeurs périphériques.

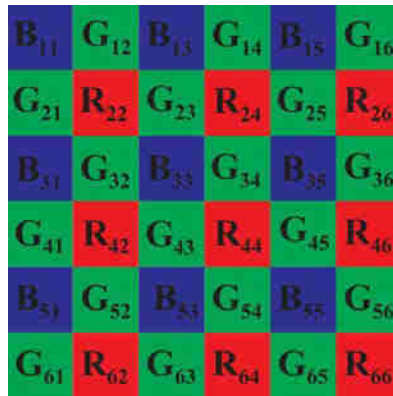


Fig 28 Schéma des photosites d'une matrice de Bayer (Source David Alleyson)

$$B_{22} = \frac{B_{11} + B_{13} + B_{31} + B_{33}}{4} \text{ et } G_{22} = \frac{G_{12} + G_{21} + G_{23} + G_{32}}{4}$$

On peut donc voir qu'ici les valeurs sont pondérées de manière à utiliser 4 photosites colorés pour recréer l'information colorée. Ce qui donne comme on peut le voir sur la photo suivante un effet de tramage beaucoup moins marqué.



Débayerisation par copie Débayerisation par pondération

Fig.29 Méthodes de Débayerisation (Source David Alleyson)

Des traitements vidéo de reconnaissance de forme, de contour et de teinte vont ensuite être développés de manière à diminuer l'effet de moirage visible sur cette image. Le moirage est une conséquence du processus d'échantillonnage, produit lorsque le pas du détail dans l'image impressionnée sur le capteur est inférieur au pas des pixels. Des franges colorées apparaissent à la place du détail. Cet effet est visible notamment sur les chemises à très fines rayures. Ceci ne se retrouve pas en pellicule car le grain n'a jamais la même place entre deux photogrammes et ne procède pas à la recombinaison de deux informations colorées séparées les unes des autres.

Cette information colorée par couches qu'on a sur la pellicule argentique a été développé dans un capteur numérique par l'entreprise Fovéon. Ce capteur a aujourd'hui été racheté par Sigma qui l'exploite dans ses appareils photos numériques mais porte toujours le nom de l'entreprise qui l'a conçu. Ce capteur utilise les propriétés du silicium qui font que plus sa densité est importante, plus il occulte les faibles longueurs d'onde et ne transmet que les grandes longueurs d'onde.

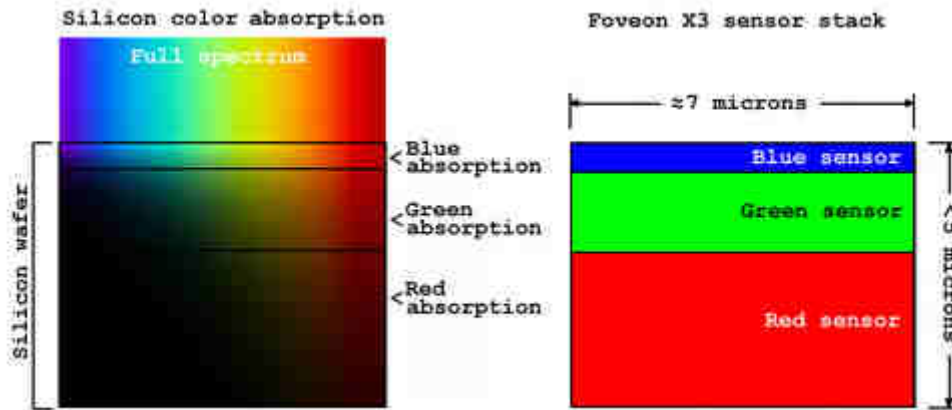


Fig.30 Absorption des longueurs d'onde dans un capteur Fovéon

Entre chaque couches il y a une photodiode qui va récupérer une partie du signal. De ce qu'on peut voir sur ce schéma, on n'enregistre qu'une information de couleur pure, celle du Rouge. Cette information va ensuite être soustraite à la couche Verte et Rouge qu'on vient à son tour soustraire à la couche Bleue, Verte et Rouge. Ceci permet d'avoir à la fin une couche Rouge, Verte et bleue. Les atouts de ce capteur sont qu'on a une information couleur par pixel qui ne nécessite pas de recombinaisons avec d'autres photosites. Le capteur Fovéon accorde la même surface photosensible pour chaque couleur.

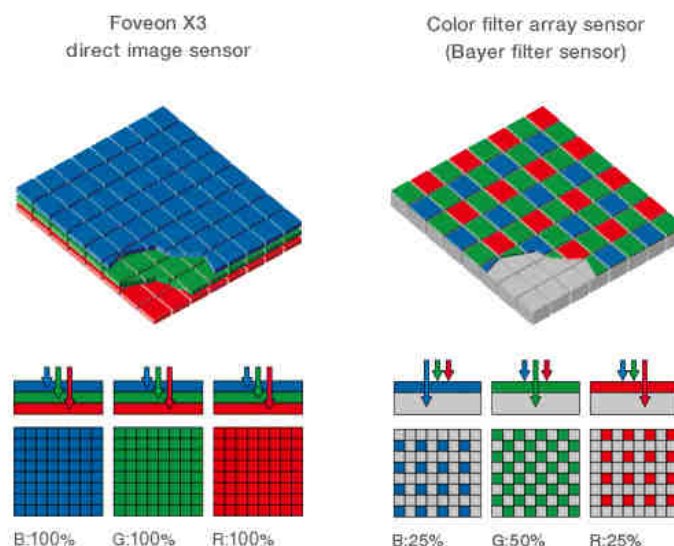


Fig.31 Différence Capteur Fovéon et Filtre Bayer (Source Sigma)

Il permet de diminuer les effets de trame (moirage) qu'on a de manière plus importante sur les fins détails avec la matrice de Bayer, de supprimer les filtres passe-

bas qui évitent les phénomènes d'aliasing en occultant une partie des basses fréquences particulièrement visibles avec la matrice de Bayer. Il permet de supprimer le filtre anti-UV qui est absorbé par le silicium. Autre point important c'est la longueur d'onde qui est capturée par le capteur.

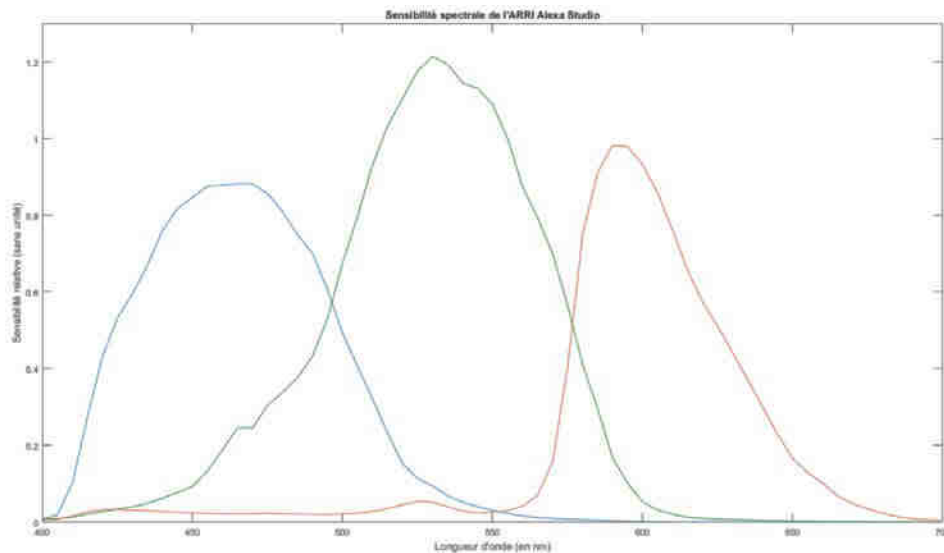


Fig.32 Sensibilité Spectrale de l'Alexa Studio en Matrice de Bayer (Source Olivier Patron - Mémoire "La nuit extérieur rurale")

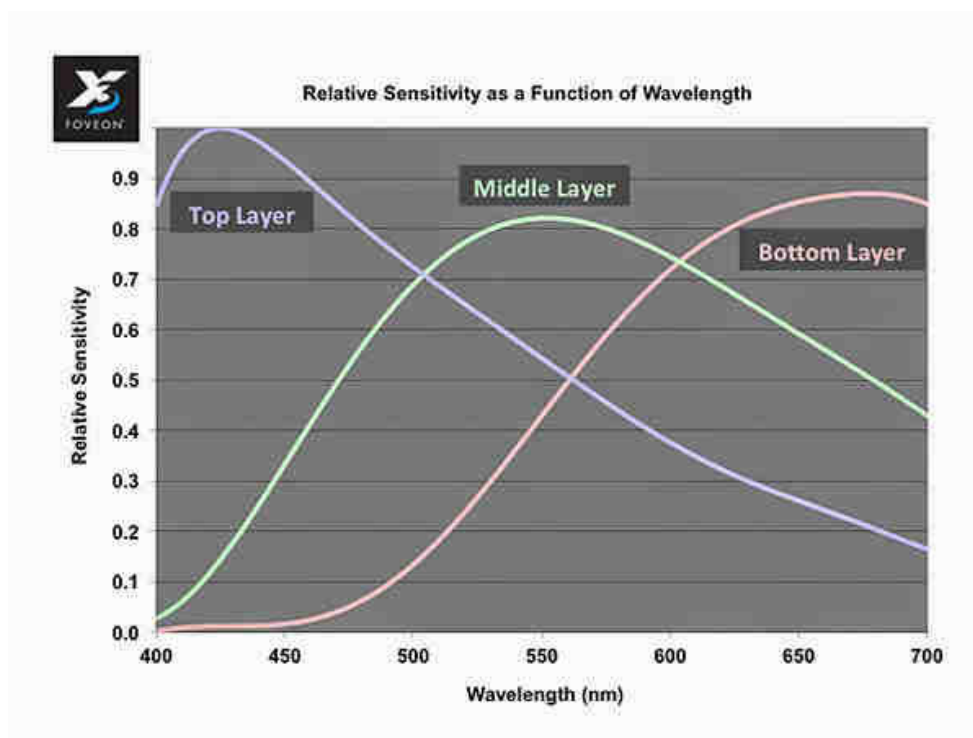


Fig.33 Sensibilité Spectrale du capteur Fovéon (Source Fovéon)

On peut voir que les sensibilités sont moins franches avec le capteur Fovéon ce qui permet de gagner en information sur les couleurs secondaires. Il permet aussi grâce à sa première couche d'avoir une vraie caméra noir et blanc sans recombinaison avec des informations colorées.

Ses défauts sont son manque de sensibilité dans les verts et les rouges dû au silicium. Son manque de réactivité et la faible vitesse de traitement actuellement l'empêchent de proposer des prises de vues rapides et de faire de la vidéo.

c) Capteurs et Valeurs Numériques

Le traitement des informations envoyées par le capteur sont ensuite transmises par des connections électriques jusqu'au processeur qui va les traiter afin de les envoyer dans ses divers circuits, soit pour être enregistrées sur un support mémoire, soit pour être affichées sur un moniteur. Dans ces divers traitements il y a des circuits de conversion pour appliquer soit du masking en cas de pixels morts (pixels apparaissant toujours noir), soit transformer l'information linéaire du capteur. Le capteur délivre un signal analogique qui sera ensuite quantifié en bits. Chaque caméra enregistre sous un nombre de bits défini. Ce nombre de bits définit la profondeur de codage de chaque canal Rouge, Vert, Bleu. Ces 3 signaux sont ensuite quantifiés selon un nombre de bits bien précis tel que la valeur analogique codée par photosite coloré est égale à 2^{bits} . Le signal issu de chaque photosites va donc être découpé en 2^{bits} valeurs numériques qui vont répondre de manière arithmétique. Ce qui signifie qu'un photosite qui sature à 100 000 photons et qui est converti sur 10 bits de quantification va être découpé en $2^{10} = 1024$ Valeurs Numériques (VN). Ainsi on va avoir à peu près 1000 tranches de 100 photons. Or notre oeil ne réagit pas de manière linéaire à l'information qui nous est envoyée mais de manière logarithmique comme nous avons pu le voir plus haut. Ainsi si l'on reprend notre exemple $1^{er} EV = \frac{100\ 000}{2} = 50\ 000\ photons = 500\ VN$

EV	VN	Photons
10 EV	1024	100 000
9 EV	512	50 000
8 EV	256	25 000
7 EV	128	12 500
6 EV	64	7 250
5 EV	32	3 625
4 EV	16	1 312
3 EV	8	656
2 EV	4	328
1 EV	2	164
0 EV	1	82

Il faut aussi considérer qu'on a besoin au minimum de 8 Valeurs Numériques pour qu'un photosite porte suffisamment d'informations pour être exploitable. On peut voir que de la quantification de notre signal dépend notre étendue utile du capteur. C'est à dire la capacité de notre capteur à enregistrer un sujet à fort contraste.

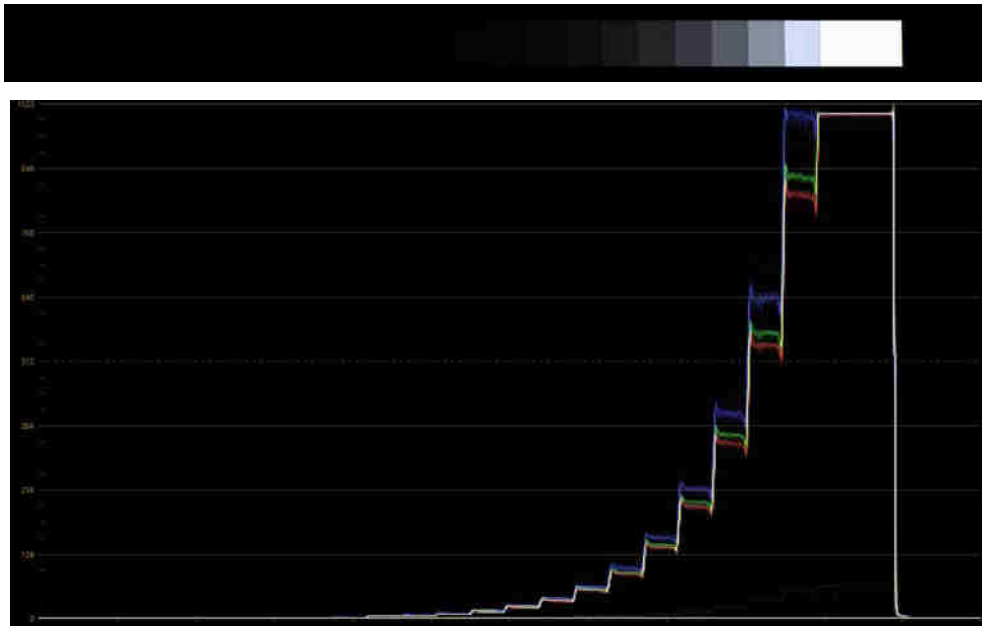


Fig.34 Réponse Linéaire d'un capteur de Sony F55

Pour éviter l'enregistrement d'informations "inutiles" on transforme notre signal linéaire en un signal logarithmique. C'est à dire qu'on encode un signal linéaire sur 14 bits par exemple en un signal logarithmique sur 10 bits. On se retrouve donc avec des tranches de 10 où le Log s'appliquant sur le nombre de photons permet de quantifier de manière égale chaque EV. Cependant cette quantification ne s'applique que sur un signal déjà "appauvri".

EV	VN 14 Bits	Photons	VN 10 Bits
14 EV	16384	100 000	1024
13 EV	8192	50 000	921
12 EV	4096	25 000	819
11 EV	2048	12 500	717
10 EV	1024	7 250	614
9 EV	512	3 625	512
8 EV	256	1 312	410
7 EV	128	656	307
6 EV	64	328	205
5 EV	32	164	102
4 EV	16	82	1

Cette solution vise à n'enregistrer que l'information "utile" et diminuer ainsi la taille du pixel. En effet le nombre d'octets d'un Pixel est de

$$Pixel = \frac{3 \times n}{8}$$

Ce qui pour un pixel 10 bits fait 4 octets et pour un pixel de 14 bits fait 6 octets. Soit une image un tiers de fois moins lourde.

Chaque constructeur a ainsi fait sa courbe Log afin d'obtenir à poids égal une image qui soit de qualité à peu près égale. La principale différence vient du fait que ce Log est appliqué sur le pixel une fois calculé à partir des 3 photosites et de tout le traitement appliqué en amont. Ainsi par rapport à une image RAW, on ne peut ni modifier la balance des blancs (amplifications des canaux rouge / vert / bleu entre eux), modifier la sensibilité électronique ou gain de la caméra (amplification des canaux rouge / vert / bleu de manière globale). Pour la sensibilité seul ARRI qui applique une courbe Log différente à chaque Sensibilité permet la modification après coup au moyen de LUTs. Ce sont les LUTs qui permettent par exemple le passage d'un Logarithme à un Rec.709 (Norme pour la diffusion télé). La LUT Rec.709 permet à n'importe quelle

caméra de délivrer un prêt à diffuser. Chaque constructeur fait une courbe Logarithmique qu'il adapte à sa manière pour équilibrer, comme on peut le voir sur le tableau ci-dessus, la perte subie dans les hautes lumières et la surquantification dans les basses.

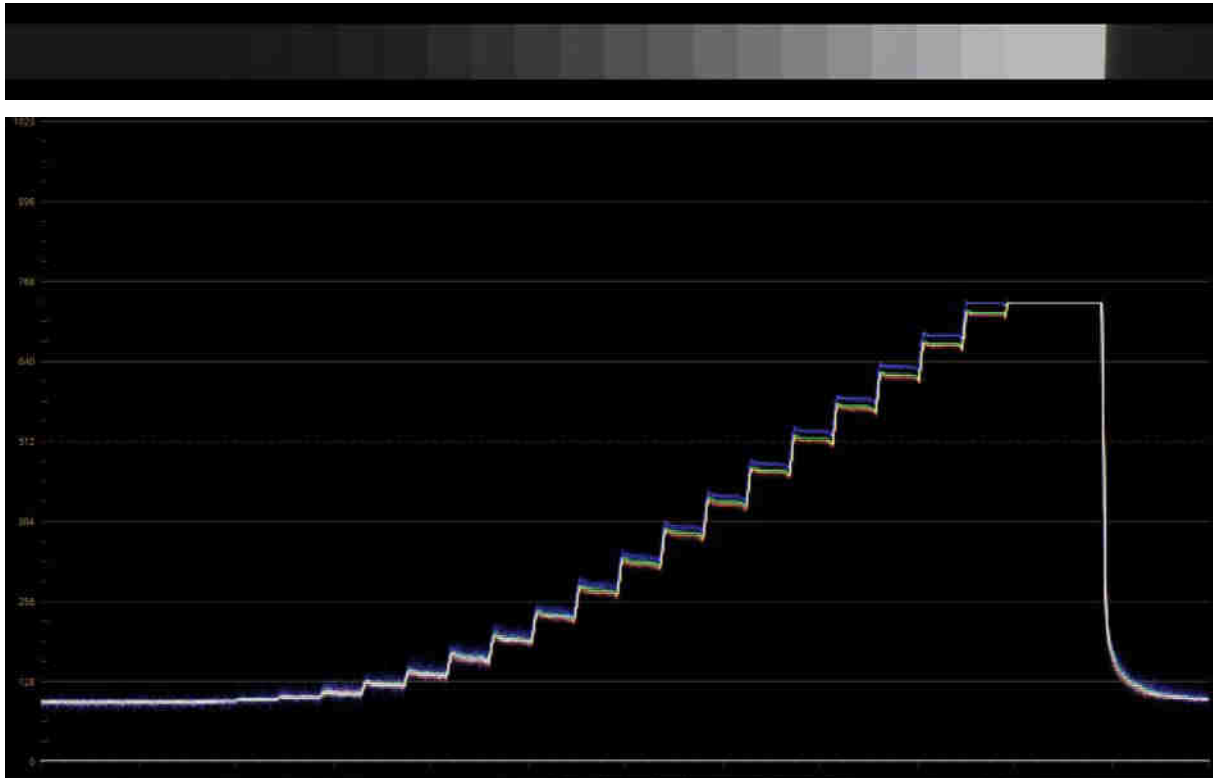


Fig.35 Réponse Logarithmique d'un F55 en S-Log3

Une fois l'image traitée, elle est soit enregistrée sur un support d'enregistrement, soit véhiculée par un canal vidéo type SDI ou HDMI pour être transmise à un moniteur ou un enregistreur externe.

III – Contraste – Gradation

a) Contraste

Si nous prenons la définition du Larousse: “Le contraste est l'opposition de deux choses dont l'une fait ressortir l'autre”. Cette définition nous dit que deux objets ou éléments antagonistes ont la capacité de se mettre en avant mutuellement. Ainsi le contraste n'est pas qu'une question de plus lumineux ou de moins lumineux. C'est également une manière de faire ressortir plus ou moins des éléments, que ce soit au niveau du sujet ou au niveau de l'image. On parlera donc de contraste sujet et de contraste image. Le contraste sujet étant le contraste tel qu'on le crée en architecturant sa lumière dans la scène. C'est ce contraste sujet qui est enregistré par la caméra. Ce contraste sujet est ensuite soumis aux traitements internes de la caméra, aux choix d'espace couleur de travail et au traitement qui est ensuite fait à l'étalonnage pour donner à la fin un contraste image. En terme de lumière, le contraste en référence au diagramme CIE $L^*u^*v^*$ qu'on abrège Luv, peut être soit un contraste coloré axe u et v, soit un contraste lumineux avec la clarté sur l'axe L. La caméra enregistre avec un wide gammut, un espace plus grand que le domaine du visible. Ainsi l'image enregistrée ne va pas être limitante.

Cependant, en passant le filtre anti infrarouge de la Varicam au densitomètre, nous avons pu observer qu'elle coupait au-delà des infra-rouges dans la partie visible du spectre. Les filtres sont parfois de qualité moyenne et vont avoir tendance à couper plus de lumière et limiter une partie de l'enregistrement du domaine visible. Vient ensuite le domaine dans lequel on travaille et on débayerise son image. Il ne faut pas débayeriser son image dans un domaine restreint, comme le Rec.709, sous peine de limiter son espace de travail. L'important est d'essayer de garder un domaine large sur toute la partie de traitement et c'est en ça que l'ACES est un espace couleur idéal. Le dernier espace limitant va ensuite être celui du moniteur ou de l'écran sur lequel est étalonnée l'image finale. Ce dernier va avoir un espace couleur et lumineux défini par une norme (DCI-P3, Rec.709). Cependant il se peut qu'en fonction du pourcentage de recouvrement de l'espace couleur ou des capacités de contraste du moniteur l'utilisation de certaines couleurs soit potentiellement restreinte. L'espace couleur et le dispositif de diffusion vont ainsi être les bornes de notre contraste.

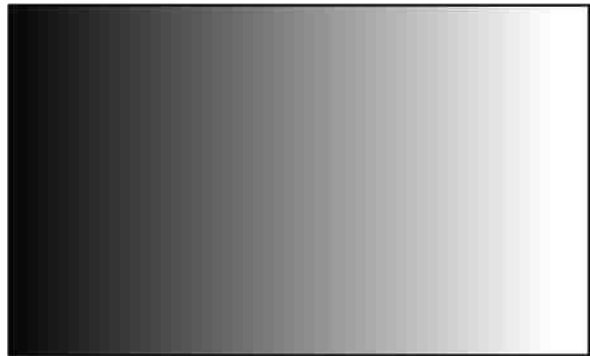
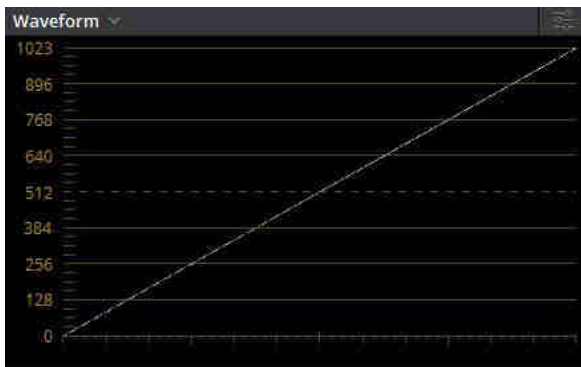


Fig.36 Image Neutre

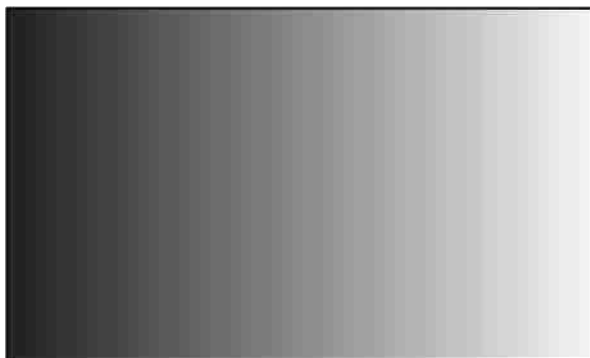
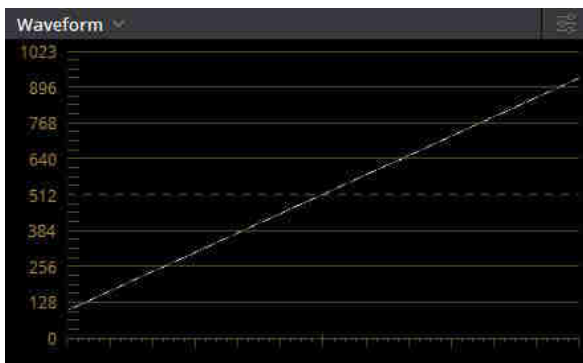


Fig.37 Image à Faible Contraste

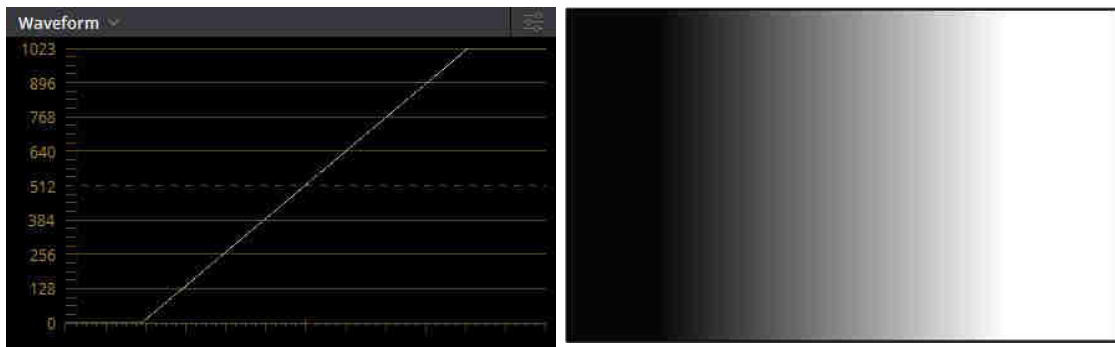


Fig.38 Image à Fort Contraste

Comme on peut le voir sur ces images, une image contrastée correspond à une variation des valeurs de blancs maximum et de noirs minimum. La répartition des valeurs de gris dans l'image n'est cependant pas modifiée.

b) Gradation

Le pendant du contraste est la gradation. Dans le dictionnaire Larousse la définition de la gradation est donnée comme-ci : “Progression par degrés le plus souvent ascendants, d'un état à un autre”. Ainsi un pixel de l'image débayerisée va porter une valeur numérique sur chaque canal rouge, vert et bleu. Ces valeurs sont enregistrées sur chaque canal comme des valeurs de gris allant en 8 bits de 0 pour le noir à 255 pour le blanc. A partir de ces valeurs rouge, vert et bleu on peut donner à chaque pixel des coordonnées de chromaticité et de luminance. Ces différentes valeurs numériques créent sur la représentation de l'espace couleur des points correspondant à l'image du sujet traité électroniquement par le capteur. Cet espace couleur nouvellement créé peut être représenté de manière cartésienne sous la forme d'un prisme triangulaire. A l'origine on a le Noir de valeur (0, 0, 0), puis sur l'axe X le rouge ($V_{N_{max}}$, 0, 0), sur l'axe Y le vert (0, $V_{N_{max}}$, 0), sur l'axe Z le bleu (0, 0, $V_{N_{max}}$) et

comme barycentre de ce triangle ainsi formé le blanc qui a pour coordonnées $(VN_{max}, VN_{max}, VN_{max})$. Du point noir au point blanc on obtient l'axe des luminances pour les couleurs neutres. Sur les côtés du triangle on obtient les points Cyan, Magenta, Jaune qui ont pour coordonnées respectives Cyan $(0, VN_{max}, VN_{max})$, Magenta $(VN_{max}, 0, VN_{max})$, Jaune $(VN_{max}, VN_{max}, 0)$.

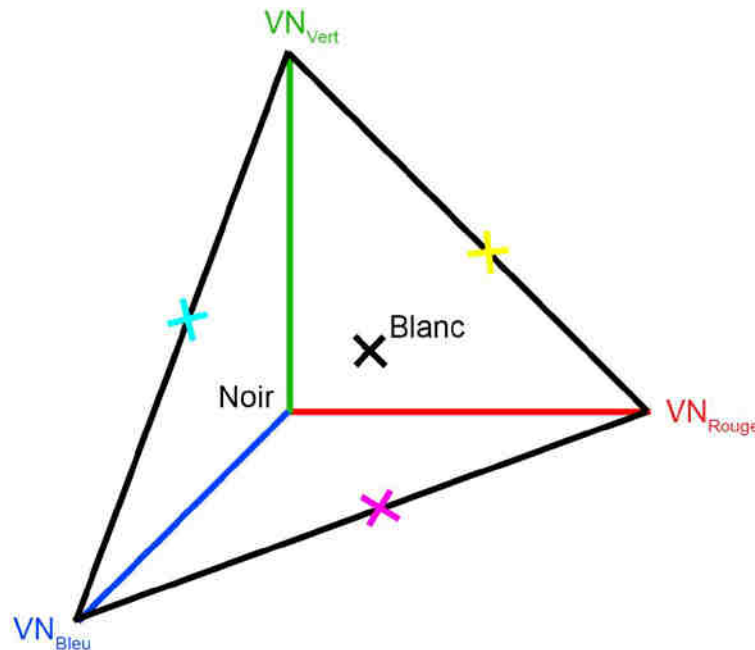


Fig.39 Représentation du prisme d'enregistrement de l'information couleur numérique

En créant un graphique avec le Log_2 VN Sujet en abscisse et le Log_2 VN Image en ordonnée, on obtient une droite qui correspond à la gradation de notre image (les valeurs numériques sujet et image étant échelonnées). On passe en Log_2 de VN afin que les valeurs numériques de notre capteur passent d'un modèle photométrique linéaire à un modèle perceptif qui s'exprime en EV. Ainsi le Log Sujet correspond à l'image enregistrée par le capteur une fois débayerisée sans étalonnage et en respectant les valeurs d'exposition du Sujet initial (EV). Le Log Image correspond aux valeurs d'exposition du Sujet (EV) obtenues dans l'image après l'étalonnage.

La courbe de gradation va avec l'étalonnage modifier sa forme afin de réaffecter des valeurs et donc modifier la gradation. On peut ainsi créer 4 courbes de gradation. La courbe Y pour la luminance, la courbe R pour les rouges, la courbe V pour les verts et la courbe B pour les bleus. La courbe Y touchant les 3 canaux rouge, vert et bleu. On peut donc affirmer qu'en réaffectant de nouvelles valeurs du sujet dans

l'image finale, on modifie la gamme de gris enregistrée par le capteur sur les 3 canaux. On peut donc parler avec la gradation de changement de la disposition des gris dans une image et non de changement du contraste car les valeurs limites de notre image ne sont, elles pas modifiées. On peut donc parler de gradation dure lorsque les gris tendent vers les valeurs extrêmes et de gradation douce lorsque les gris s'éloignent des valeurs extrêmes.

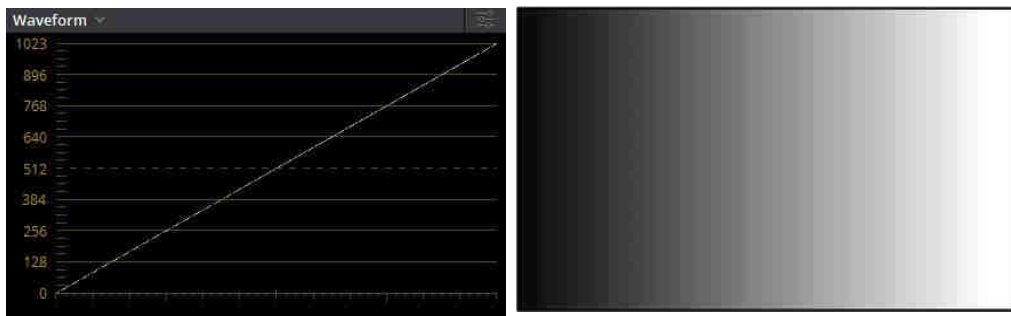


Fig.40 Image Neutre

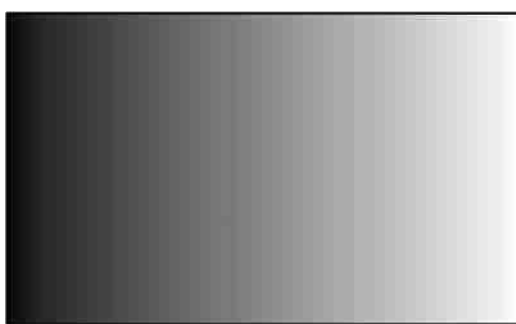


Fig.41 Image avec une Gradation Douce

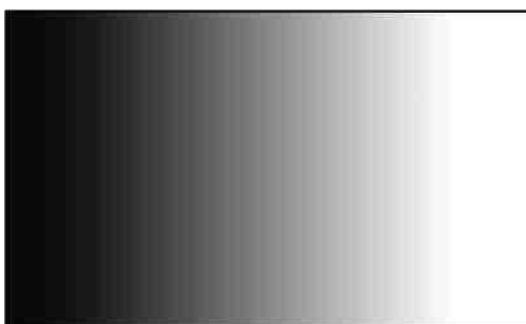
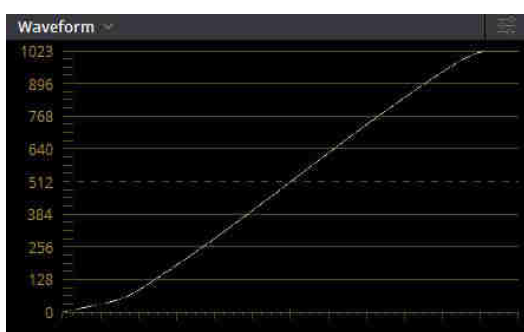


Fig.42 Image avec une Gradation Forte

Une gradation forte va amener de la clarté dans les couleurs qui vont ainsi paraître plus pures. Au contraire une gradation douce va faire diminuer la clarté dans les canaux colorés, les couleurs nous paraissent moins pures.

Image Neutre



Contraste Faible

Image Neutre



Gradation Douce

Fig.43 Différence Contraste Gradation

IV – Stratégie d'exposition et de captation HDR

a) Sujet Standard

Un objet standard est un objet s'étendant d'un blanc avec un taux de diffusion de 80% à un noir avec un taux de diffusion de 2%. Lorsque cet objet standard est éclairé, il devient un sujet standard qui a un contraste de 40:1. En passant ce contraste sujet en base logarithmique on obtient une dynamique du sujet standard de 5 EV $\frac{1}{3}$. Un objet éclairé de manière uniforme aura donc cette dynamique. Notre but en tant qu'opérateur n'est pas d'éclairer de manière uniforme mais d'architecturer notre lumière afin de créer du contraste. Ainsi c'est pour cela qu'on parle souvent d'une dynamique de 2 EV entre la partie éclairée d'un visage et sa partie ombragée. Ceci est dû en partie au fait que dans la réalité, au moyen des mesures effectuées avec un spotmètre, on constate que par temps ensoleillé, sur un même objet on a en moyenne 2 EV de différence entre sa mesure effectuée à l'ombre et sa mesure au soleil. Les tests de Keylight permettent de déterminer une dynamique sujet qui va définir le contraste de la scène et permettre d'architecturer la lumière. Il faut donc prendre en compte l'entièreté du sujet dans notre manière d'exposer. Cette dynamique sujet doit ensuite être mise en relation avec l'étendue utile du capteur qui détermine la dynamique sujet maximale que la caméra est capable d'enregistrer.

Si la dynamique sujet est plutôt facile à calculer au moyen d'un spotmètre qui va nous donner des valeurs en EV nous permettant de déterminer l'élément le plus clair dans notre scène et l'élément le plus sombre. La différence des deux nous donne ensuite notre dynamique sujet.

$$(\text{EV max du sujet}) - (\text{EV min du sujet}) = \text{Dynamique Sujet}$$

b) Etendue Utile

Pour déterminer l'étendue utile d'une caméra, il nous faut un sujet disposant d'une importante gamme de contrastes éclairé de manière uniforme. Pour cela on utilise une gamme carbone placée devant une sphère d'intégration préalablement vérifiée par un spectroradiomètre. Le spectroradiomètre nous permet de déterminer l'écart entre 2 plages de la gamme, de vérifier l'uniformité de la lumière qui éclaire la plaque et d'obtenir une valeur photométrique des plages ainsi exposées. En plaçant la caméra face à la gamme, on va enregistrer une image. Pour que cette dernière soit

exploitable, il faut au moins qu'il y ait 2 plages de la gamme qui soient saturées. Par saturation nous entendons que les puits de photosites sont remplis sur les 3 couches rouge, vert et bleu. Cela se traduit par une Valeur Numérique maximum atteinte dont la valeur dépend de la quantification de la caméra.

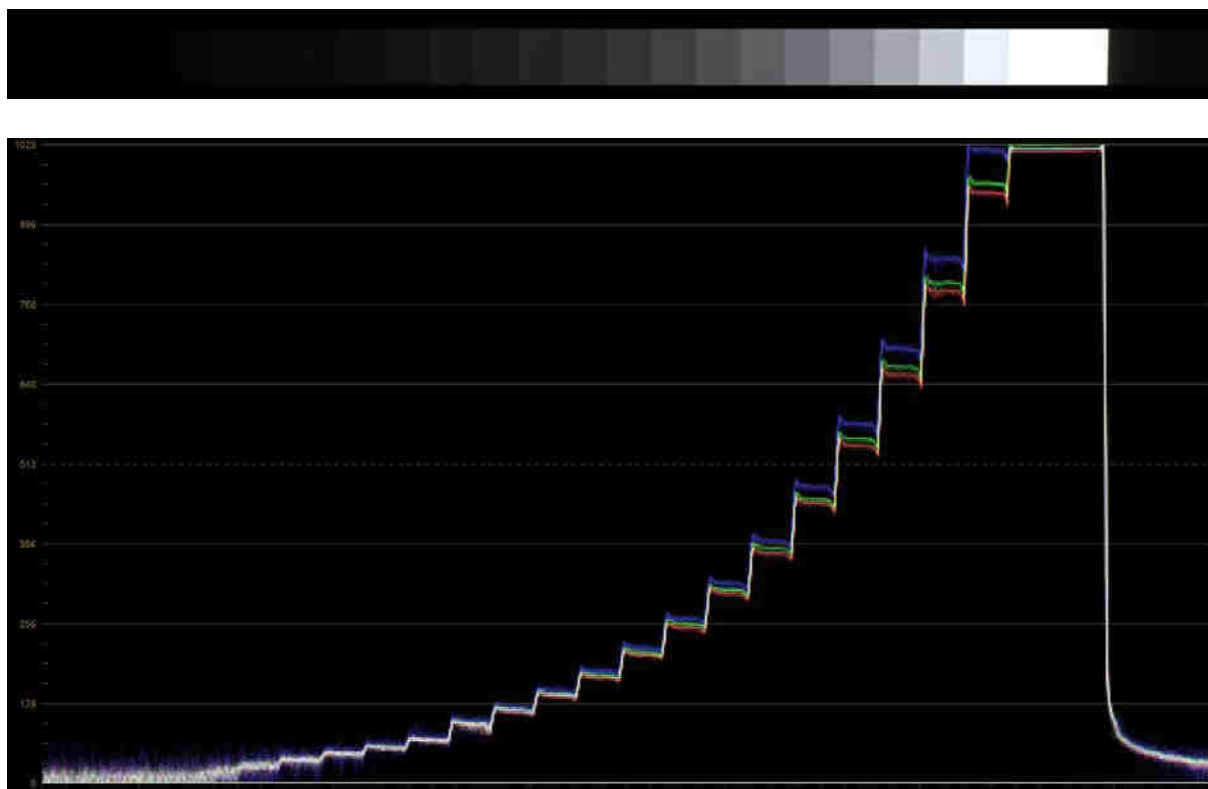


Fig.44 Étendue utile de la Sony F55

Le pas de chaque plage étant de $\frac{2}{3}$ EV, on peut observer ici qu'on a 17 plages modulées ce qui fait environ 11 EV d'étendue utile. On peut donc avec la Sony F55 enregistrer un sujet ayant une dynamique de 11 EV.

Maintenant que nous disposons de cette information, on peut se demander comment exposer un sujet par rapport à la caméra. On remarque que notre caméra nous limite dans les hautes lumières où l'on a un aplat blanc si l'on surexpose trop notre image et un aplat noir si au contraire on la sous-expose trop. En vérité dans les noirs, nous n'avons pas un aplat mais des fluctuations dues aux traitements électroniques sur le capteur et aux quelques photons qui réagissent avec les surfaces photosensibles qui créent du bruit. Ce bruit qui atteint avec plus ou moins d'importance les dernières plages modulées fait que l'on ne peut pas s'y fier pour déterminer la sensibilité d'une caméra. On va donc la déterminer à partir des hautes lumières et des blancs saturés qui nous fixent une véritable limite. La sensibilité se calcule en fonction

du gris à 18%, qui correspond à un éclaircissement légèrement inférieur à celui d'une peau caucasienne. On va donc réfléchir à la manière de poser ce gris à 18% par rapport à notre plage de saturation. Car au-delà de cette plage on sait qu'on ne peut plus enregistrer d'informations.

c) Exposition par les hautes lumières

Notre but est de trouver une manière d'exposer qui permette de toujours bien exposer un gris à 18% sans perdre d'informations. En réfléchissant par rapport à notre sujet standard de $5 \frac{1}{3}$ EV qui s'étend d'un blanc à 80% jusqu'à un noir à 2%. On a donc environ 2 EV entre un blanc à 80% et un gris à 18%, puis encore $\frac{1}{3}$ EV entre un blanc diffus à 80% et un blanc diffus à 100%. Au-delà de ce blanc diffus à 100% nous avons les objets brillants qui ne diffusent pas la lumière mais qui la réfléchissent. On appelle ces lumières réfléchies des spéculaires et les objets brillants des objets spéculaires. Il faut donc dans notre manière d'exposer notre image prendre en compte ces spéculaires.

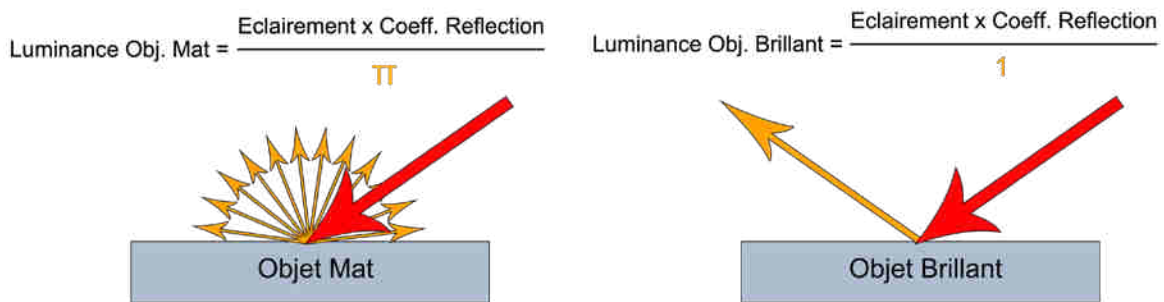


Fig.45 Différence objet mat et objet brillant

On remarque dans ces formules que le facteur de réflexion est de π .

$$Luminance\ Obj.\ Mat \times \pi = Luminance\ Objet\ Brillant$$

$$\Leftrightarrow \log_2(Luminance\ Obj.\ Mat) + \log_2(\pi) = Luminance\ Objet\ Brillant$$

$$Or \log_2(\pi) \approx 1,65 \Leftrightarrow \log_2(\pi) \approx 1 + 2/3$$

On peut donc dire que le facteur de réflexion π est sensiblement égal à $1 \frac{2}{3}$ EV.

On a donc $1 \frac{2}{3}$ EV de différence entre un objet mat à 100% et un objet en totale réflexion. Ce qui fait qu'on a 2 EV d'écart entre un Objet blanc diffus à 80% et un Objet spéculaire en totale réflexion. On peut donc dire qu'on a 4 EV d'écart entre notre gris

à 18% et notre valeur lumineuse maximum. On sait donc que notre sensibilité minimale se trouve 4 EV sous la plage de Saturation.

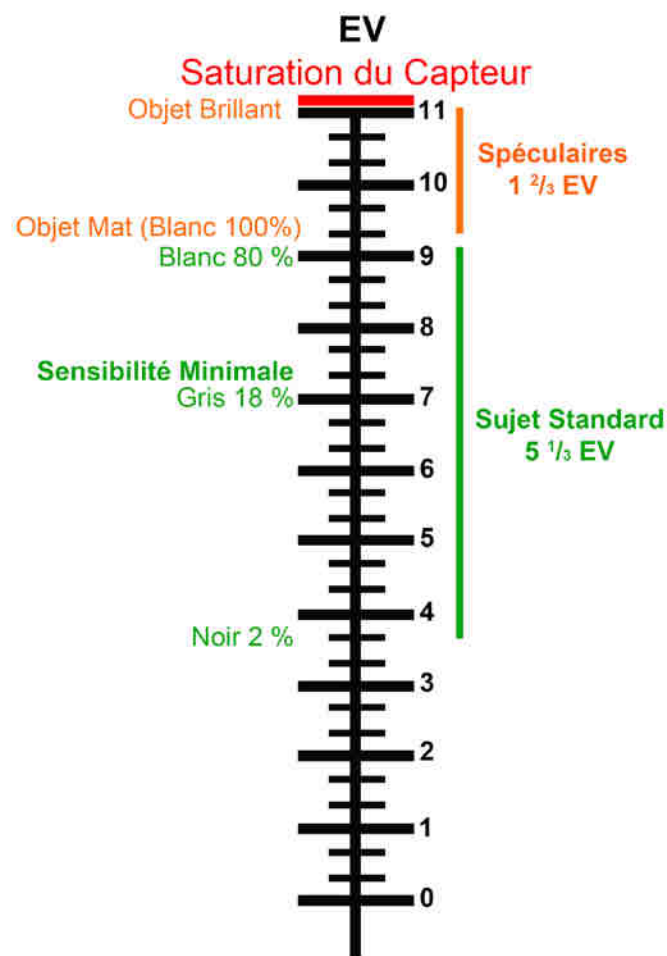


Fig.46 Échelle d'exposition optimale dans les hautes lumières pour un capteur ici de 11 EV

Pour déterminer la valeur de Sensibilité minimale d'une caméra, j'ai décidé de mettre en évidence une formule plus simple que de se reporter graphiquement à la courbe de réponse du capteur. Déterminer la sensibilité minimale d'une caméra est principalement utile pour régler tous les appareils de mesure sur le plateau à savoir la cellule et le spotmètre. Des outils qui sont à mon sens indispensables pour maîtriser l'exposition de son image et qui sont bien plus fiables que les retours écrans. Pour cela j'ai eu besoin en plus de la caméra montée, d'une sphère d'intégration avec une gamme carbone précise au 1/3 EV près. Si la précision est inférieure, il sera nécessaire de faire varier l'exposition avec le diaphragme pour regagner cette précision au 1/3 d'EV près. J'ai également eu besoin d'un spectroradiomètre, de logiciels tels que DaVinci Resolve ou Matlab qui me permettent de lire l'image et d'identifier la dernière plage de

saturation de la caméra.

Dans un premier temps, j'ai utilisé la formule de la sensibilité.

$$(1) EV = \text{Log}_2\left(\frac{\text{Luminance} \times \text{Sensibilité}}{\text{Constante d'étalonnage}}\right)$$

Si nous étudions cette formule nous pouvons connaître la valeur de Luminance de la plage saturée grâce à un spectroradiomètre qui nous donnera une valeur en cd/m^2 . La constante d'étalonnage nous est donné par notre outil de mesure, le spotmètre qui en fonction du modèle est entre 12,5 et 14. La plupart des appareils ont une constante d'étalonnage de 14, c'est pour cette raison que nous opterons pour ce chiffre. Ensuite pour la valeur en EV, nous ne pouvons pas la connaître, le spotmètre ayant besoin qu'on lui indique la sensibilité de la caméra pour afficher une valeur. Nous devons donc passer par la formule suivante :

$$(2) \text{Diaph} = \sqrt{(2^{EV} \times \text{Temps})}$$

$$(2) \text{Diaph}^2 = 2^{EV} \times \text{Temps}$$

$$(2) EV = \text{Log}_2\left(\frac{\text{Diaph}^2}{\text{Temps}}\right)$$

Cette formule permet de convertir la valeur en EV, en une valeur de diaphragme qui nous est donné par la valeur qu'on affiche sur la caméra et plus précisément l'objectif. En rassemblant les deux formules on obtient donc celle-ci.

$$(1) \& (2) \text{Log}_2\left(\frac{\text{Luminance} \times \text{Sensibilité}}{\text{Constante d'étalonnage}}\right) = \text{Log}_2\left(\frac{\text{Diaph}^2}{\text{Temps}}\right)$$

$$\Leftrightarrow \frac{\text{Luminance} \times \text{Sensibilité}}{\text{Constante d'étalonnage}} = \frac{\text{Diaph}^2}{\text{Temps}}$$

$$\Leftrightarrow \text{Sensibilité} = \frac{\text{Diaph}^2 \times \text{Constante d'étalonnage}}{\text{Luminance} \times \text{Temps}}$$

La seconde information importante est l'endroit où l'on souhaite positionner son gris à 18%. En effet la formule de sensibilité ci-dessus met en relation la luminance et le diaphragme. Or, le diaphragme qui nous est donné par nos outils de mesure correspond à la valeur qu'il faut afficher sur sa caméra pour parfaitement exposer un

sujet gris à 18%.

Comme nous l'avons vu plus haut, je décide de manière théorique, de positionner mon gris à 18%, 4 EV en dessous de la valeur de ma plage de saturation. Ce qui fait qu'on peut soit multiplier par 4 la valeur de diaphragme affiché par la caméra. Soit diviser par 4² la Luminance de saturation, ce qui revient à multiplier par 4² l'équation.

$$\text{Sensibilité} = \frac{(\text{Diaph Affiché} \times 4)^2 \times \text{Constante d'étalonnage}}{\text{Luminance Sat} \times \text{Temps}}$$

$$\Leftrightarrow \text{Sensibilité} = \frac{(\text{Diaph Affiché})^2 \times \text{Constante d'étalonnage} \times 4^2}{\text{Luminance Sat} \times \text{Temps}}$$

Cependant on a pu observer que si on pouvait donner une valeur photométrique en cd/m², on pouvait également donner la même donnée exprimée de manière logarithmique dans l'échelle des EV. J'ai donc cherché à exprimer cette valeur de Luminance en EV pour la simple et bonne raison que personne ne dispose d'un spectroradiomètre durant les essais caméra ou sur un plateau de tournage. Cependant presque tout le monde dispose d'un spotmètre capable de donner une valeur en EV d'un sujet. La seule condition est de lui implémenter une donnée de sensibilité arbitraire

En réglant son spotmètre sur la Sensibilité de 100 on obtient donc au choix les 2 formules suivantes :

$$\text{Sensibilité} = \frac{(\text{Diaph Affiché})^2 \times 100 \times 4^2}{2^{EV} \times \text{Temps}}$$

$$\text{Sensibilité} = \frac{(\text{Diaph Affiché})^2 \times 100}{2^{(EV-4)} \times \text{Temps}}$$

Grâce à ces formules nous pouvons donc simplement mesurer la sensibilité minimale d'une caméra avec un spotmètre. Et si une sphère d'intégration munie d'une gamme carbone est utile pour connaître l'étendue utile d'une caméra. Un simple sujet saturant le capteur dont on connaît la valeur en EV est nécessaire pour déterminer la sensibilité de la caméra. Il faudra ensuite réaliser un bracketing au 1/3 de diaph près

pour obtenir la valeur de diaph à afficher afin d'être en limite de saturation du capteur.

La norme ISO quant à elle détermine la sensibilité d'une caméra par rapport à la formule de signal sur bruit. Elle donne ainsi dans cette formule une tolérance qui détermine jusqu'à quel niveau l'enregistrement d'un gris à 18% par la caméra est acceptable ou non. Cette norme ISO correspond aux valeurs de 800 ISO pour l'Alexa et 1250 ISO pour la F55 qui sont données par les constructeurs. Cette sensibilité de la norme ISO définit une sensibilité haute dans l'exposition "convenable" d'un gris à 18%. Par "convenable" je sous-entends que cela correspond plus à une appréciation théorique mais que chaque personne ne mettra pas son seuil d'acceptation du bruit au même niveau. Et comme nous pouvons le voir sur l'échelle ci-dessous, la caméra peut exposer à des sensibilités plus importantes que celles définies dans la norme ISO.

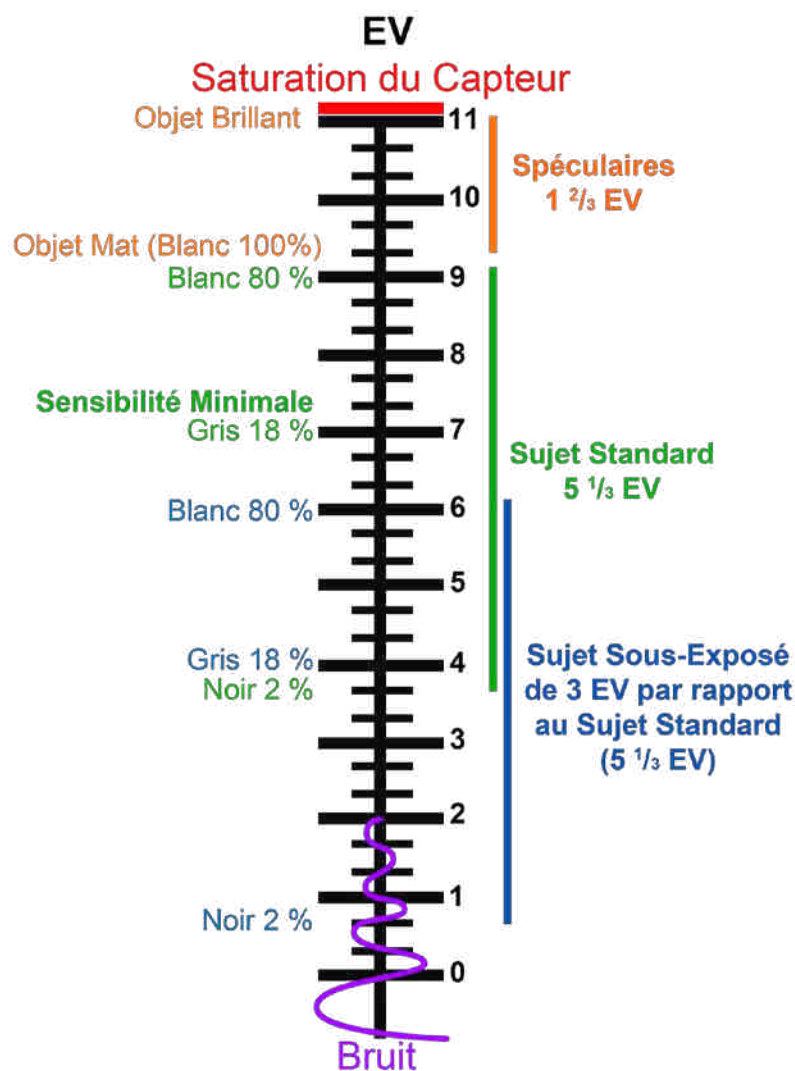


Fig.47 Stratégie d'exposition pour un capteur ayant une étendue utile de 11 EV

Il est donc plus prudent pour enregistrer l'entièreté d'un sujet en RAW, de se référer à la sensibilité minimale qu'on vient de calculer. La sensibilité donnée par le constructeur ne permet pas de connaître exactement la place qu'il a laissé dans les hautes ou dans les basses lumières à son sujet par rapport au gris à 18% théorique de la norme ISO. En exposant par rapport aux hautes lumières on s'assure de profiter pleinement de l'étendue utile du capteur.

Si l'on revient à notre sujet standard de 5 $\frac{1}{3}$ EV exposé dans un lieu découvert en plein soleil. On connaît désormais la sensibilité de la caméra à afficher sur notre spotmètre pour effectuer nos mesures. Il faut donc savoir ce que nous allons mesurer comme points dans notre image afin de connaître la valeur de diaphragme à afficher sur notre caméra pour bien exposer le sujet. Plutôt que d'essayer de trouver une valeur proche d'un gris à 18% dans l'image, le plus simple est de mesurer le blanc le plus lumineux. On estimera que c'est un blanc diffusant à 80%. Ainsi pour retomber sur la valeur d'un gris à 18% il suffira de diviser par 2 la valeur indiquée en diaphragme par le spotmètre. Ainsi si le spotmètre nous donne une valeur de diaphragme de 8, il faudra afficher 4 de diaphragme sur la caméra pour bien exposer le sujet.

En basculant son spotmètre des diaphragmes aux EV, on va obtenir une valeur haute pour l'élément le plus blanc dans l'image et une valeur basse pour l'élément le plus sombre. En faisant la différence des deux valeurs EV obtenues, on obtient la dynamique sujet. En enlevant les deux EV réservées aux spéculaires, on obtient une dynamique sujet enregistrable par le capteur qui est par exemple de 9 EV sur la F55.

Il faut faire attention aux éléments dans l'image pour lesquels on souhaite obtenir des informations. Par exemple en filmant un paysage urbain de nuit, on ne va pas vouloir avoir des informations sur les lampes urbaines. Nos instruments de mesure ne pourront d'ailleurs pas nous donner de mesure sur ce point trop lumineux. On va donc décider de laisser saturer ce sujet et de ne pas avoir d'informations. De même il n'y a pas besoin de ré-éclairer des objets situés dans les basses lumières si l'on ne cherche pas à avoir des détails dedans. Par exemple si la porte d'une grange située dans un paysage ensoleillé est ouverte mais qu'on n'a pas besoin de voir ce qu'il y a dedans, on ne va pas demander à la rééclairer uniquement pour qu'elle puisse rentrer dans notre étendue utile. Ce sont des informations que notre œil par contraste simultané ne perçoit pas et qu'il n'est donc pas nécessaire de faire rentrer dans l'étendue utile de notre caméra si ce n'est pas nécessaire. L'étendue utile nous

permettant d'enregistrer un contraste sujet important, il y a très peu de dynamiques sujet qui nécessitent d'utiliser pleinement cette étendue utile.

Des tests réalisés au moyen d'un spotmètre en cherchant le contraste le plus important, ont montré qu'au maximum on était à 14 EV. Qui étaient atteints dans le cas particulier où on prenait pour valeur la plus sombre un sujet noir tapis dans l'ombre sous un tunnel et pour sujet le plus haut une spéculaire qui se réfléchissait dans un réflecteur métallisé. Face à ces 14 EV même l'œil humain est ébloui car il s'adapte à l'environnement noir du tunnel et rend la spéculaire fort désagréable. Si nous étions au contraire dans l'environnement lumineux, nous ne pourrions discerner les éléments situés dans la zone sombre. En moyenne les sujets que nous avons mesuré et qui nous semblaient à fort contraste avaient une dynamique de 9 EV. Ce qui prouve que les caméras actuelles sont avec une étendue utile de 11 EV suffisantes pour capter la majorité des sujets que nous sommes susceptibles de rencontrer et que notre œil perçoit. Encore faut-il bien placer sa dynamique sujet dans l'étendue utile du capteur.

Aujourd'hui il n'y a donc pas de nécessité à accroître l'étendue utile du capteur puisque celle-ci correspond déjà à l'étendue utile maximum que nous pouvons percevoir avec notre œil. Ce qui peut par contre être amélioré au niveau du capteur c'est la quantification dans les basses lumières. Comme vu plus haut, on peut s'apercevoir que dans les basses lumières on module, mais que le bruit et la quantification font que la qualité du signal est moins bonne que dans les hautes lumières. Effectivement lorsque nous regardons l'équation $\frac{Signal}{Bruit}$ nous constatons que la baisse de la quantification appauvrit le signal et que les traitements électriques au contraire entraînent une augmentation du niveau de bruit. On constate donc que dans les basses lumières on appauvrit la qualité du signal. Il faut donc penser à des solutions qui amèneraient à conserver un signal de qualité dans les basses lumières.

2^{ème} Partie : Dispositifs de projection HDR

I – Apports du dispositif de projection

a) La Projection numérique

Depuis cinq ans désormais, la totalité des salles grâce aux aides du CNC ont basculé de la projection argentique sur support pellicule à une projection numérique sur DCP (Digital Cinema Package). Le passage d'une technologie argentique à une technologie numérique étant censé garantir que l'on retrouve la même copie d'une salle à une autre. La plupart des copies tirées par les labos perdant en qualité car l'inter-négatif s'use avec le nombre de passages qu'il effectue, les bains de développement s'usant aussi avec le temps. Les premières copies étaient ainsi destinées aux cinémas plus qualitatifs et les copies en fin de chaîne étaient plutôt envoyées dans les cinémas de province. Le numérique arrivait donc avec ses promesses que chaque spectateur verrait exactement le même film. Si cela est vrai en théorie c'est loin d'être le cas en pratique.

Pour cela il faut remonter au 28 février 2011 et au Décret n° 2011-226 relatif à l'autorisation d'exercice de la profession d'exploitant d'établissement de spectacles cinématographiques et à l'homologation de ces établissements. Ce texte dit que la CST (Commission Supérieure Technique) n'est plus consultée dans le cadre de l'homologation des salles et laisse le CNC (Centre National de la Cinématographie) décider seul de l'autorisation d'exploiter une salle, dans le respect des normes mais sans contrôles obligatoires. Le maintien en conformité des salles dans le temps est ensuite laissé à des entreprises privées et non plus à la CST ou au CNC. Ce qui veut dire que l'exploitant n'est désormais plus tenu de se référer à un organisme indépendant pour vérifier que sa salle est en conformité. L'exploitant peut donc décider auprès de n'importe quelle entreprise privée de réaliser les mesures et régler les projecteurs pour qu'ils soient en conformité avec les normes AFNOR 27001 et 27100 régies dans la notice d'homologation du CNC. Le CNC n'a donc aucune prérogatives à suivre les salles après homologation, ni à vérifier le travail des entreprises privées qui sont en charge du maintien en conformité des équipements de projection.

Ce décret du 28 Février 2011, six ans après sa mise en exécution, se traduit aujourd'hui par un constat fort dépréciatif. Effectivement, la promesse d'observer la

même copie d'une salle à une autre grâce au DCP est un échec. Le DCP garantit que le film étalonné a les mêmes réglages d'une salle à une autre, comme un positif parfait. Pourtant l'image une fois projetée sur l'écran n'est pas la même entre deux salles. Il faut reconnaître que malheureusement, dans la pratique, laisser à l'exploitant la prise en charge de la mise en conformité de son projecteur n'est pas une solution viable. Tout simplement parce que l'exploitant va dans une bonne partie du parc de salles avoir une notion plus économique de la projection que qualitative. Ceci explique que les mesures que j'ai pu effectuer dans les salles incriminent plus les multiplexes que les cinémas indépendants par rapport à cette notion d'économie au détriment de la qualité. Si déjà à l'époque de la pellicule on pouvait constater des dérives économiques au niveau de la gestion des lampes, avec des lampes sous-voltées pour allonger leur durée de vie, des lampes poussées dans leurs retranchements qui entraînaient l'apparition de flicker (oscillations de la luminosité). Cependant toute la partie colorimétrique était laissée aux seuls juges des laboratoires et des producteurs de lampe.

Aujourd'hui en numérique si l'on retrouve tous les problèmes existant en argentique, on peut y ajouter tous les problèmes colorimétriques. L'usure des micro-miroirs dans un dispositif DLP, les circuits de traitement électroniques, l'encrassement du matériel nettoyable que par le fabricant, les différences de lampes, ... Tous ces problèmes expliquent pourquoi les variations de la colorimétrie ne sont plus laissées au seul juge du laboratoire mais désormais de l'exploitant et de l'entreprise privée chargée du maintien à la norme des projecteurs. Or par soucis économique cette dernière n'intervient que très peu auprès des exploitants et laisse les projecteurs dériver colorimétriquement et ne semble pas se soucier des baisses de luminosité des projecteurs avec le temps. De plus certains problèmes occasionnent des dépannages plus longs qu'avec des projecteurs films car nécessitant le changement de pièces électroniques et non plus mécaniques. Ce qui fait que l'exploitant tarde à changer certaines pièces comme sur cette photo où un projecteur ayant un dysfonctionnement de la tête DLP est resté en exploitation pendant 4 mois.



Fig.48 Image prise au début d'une projection défaillante.

On peut constater sur la partie gauche de l'écran des tâches jaunes créées par le projecteur en panne. Un projecteur argentique pouvait durer un long moment avant d'avoir besoin d'être changé, tandis qu'aujourd'hui les premiers projecteurs numériques installés sont après 6 ans en train d'être remplacé. Cependant certains projecteurs commençant à vieillir, on constate des défauts de luminance qui font que le contraste créé à l'étalonnage n'est plus respecté au moment de la projection. Et si les dérives sont difficilement mesurables avec les appareils que j'avais en ma possession, il m'était en revanche très facile avec un spotmètre de définir la luminance d'un écran en cd/m^2 .

$$\text{Luminance} = \frac{2^{EV} \times Ke}{\text{Sensibilité}}$$

A partir de cette formule j'ai pu réaliser des mesures dans différents cinémas qui m'ont donné les valeurs répertoriées dans le graphique ci-dessous. Pour réaliser mes mesures il fallait cependant que je me place en face de l'écran et que je mesure un blanc situé au centre de l'écran. On peut donc remarquer que seulement 9 salles sur les 27 mesurées sont aux normes (supérieures à 38 cd/m^2). Ce qui fait $\frac{1}{3}$ des salles qui sont aux normes. Si on enlève à ce chiffre les salles qui projettent sur un écran métallisé, désormais illégales, ce chiffre tombe à 5 salles ce qui nous fait seulement $\frac{1}{5}$ e des salles qui sont aux normes. Mon panel reste restreint mais donne une idée

des conditions dans lesquelles nous allons voir et sont montrés nos films.

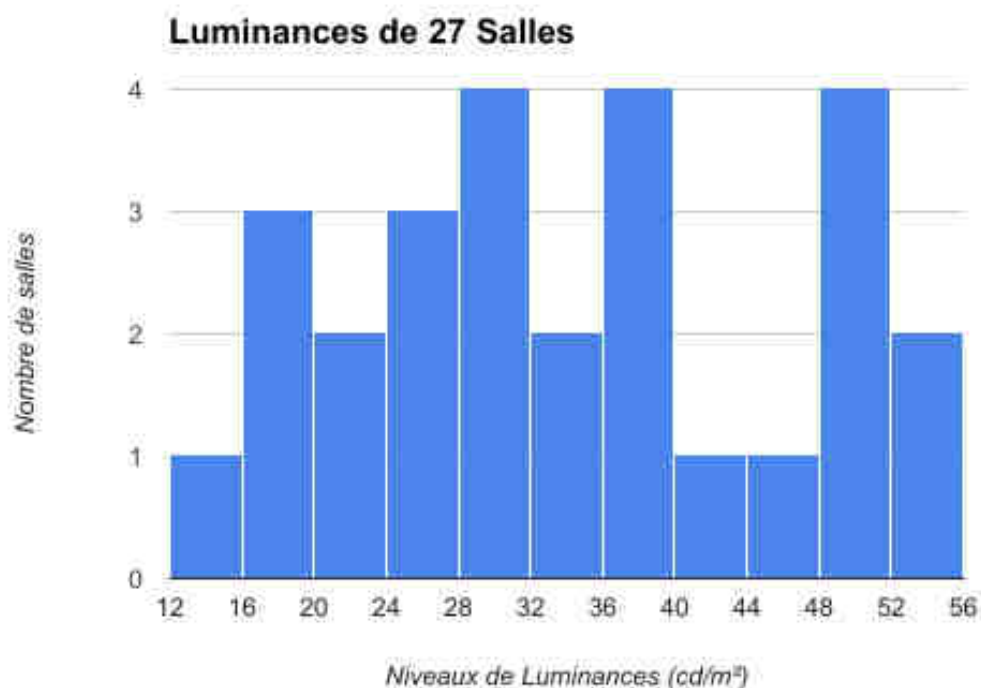


Fig.49 Histogramme des Luminances de projections parisiennes

b) La Projection HDR

C'est dans ce contexte qu'apparaissent les premiers systèmes de projection HDR. Le premier à s'être lancé dans la course est Dolby avec le Dolby Cinema en Décembre 2014, une norme qui vise à augmenter la dynamique de projection tout en définissant une normalisation stricte des salles. Ainsi la norme Dolby Vision comprend l'utilisation d'un projecteur Christie laser 4K et d'un blanc maximum fixé à 108 cd/m². La norme Dolby Cinema comprend la norme Dolby Vision, la norme Dolby ATMOS pour un son spatialisé sur les côtés et au plafond, une salle noire avec des fauteuils noirs pour empêcher l'incidence des flares et une "Signature Entrance", un écran à l'entrée de la salle pour immerger le spectateur dans l'univers du film avant même d'entrer. Le Dolby Vision est donné pour un contraste de 1:1.000.000, ce qui nous fait une dynamique de projection de 20 EV. Le but de Dolby est principalement de concurrencer les salles IMAX sur le marché des Salles Premium.

L'Éclair Color est un procédé développé par Éclair / Ymagis, annoncé en Septembre 2016, qui vise à déployer le HDR dans l'ensemble des salles de cinéma. Son coût de mise en place étant moindre que de basculer sa salle en Dolby Cinema.

Le procédé Éclair Color se base sur le dérèglement par rapport à la norme DCI-P3 d'un projecteur Sony SRX-R515P. Ce projecteur a la particularité d'offrir un contraste de 8000:1 grâce à la technologie SXRD développée par Sony qui arrive à offrir des noirs plus profonds qu'avec la technologie DLP.

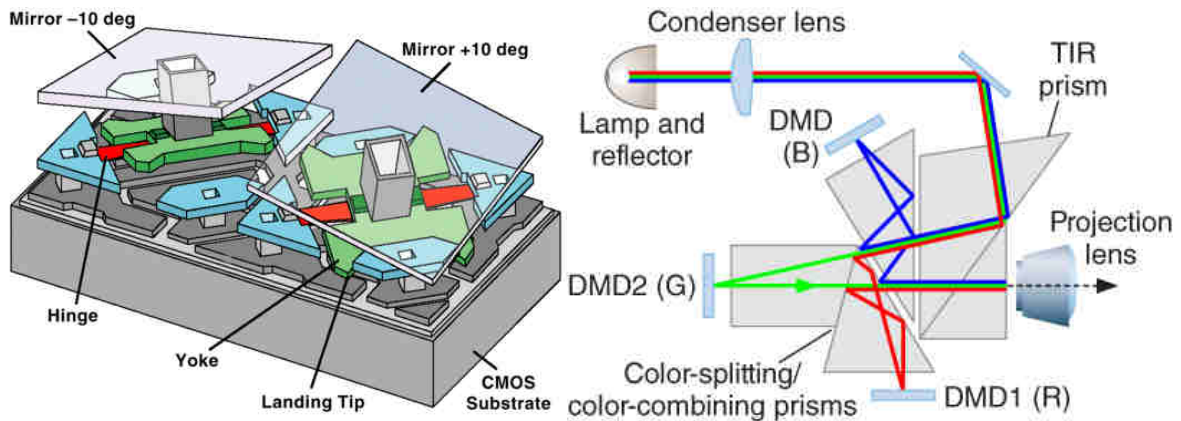


Fig.50 Schéma de projection DLP

Le DLP (Digital Light Processing) fonctionne au moyen de trois DMD correspondant à un canal couleur. Les DMD (Digital Micromirror Device) sont composés de micro-miroirs qui vont en fonction du signal électrique envoyé se mettre en position -10° ou $+10^\circ$. Réagissant de manière binaire 0 correspond à -10° et 1 correspondant à $+10^\circ$. Ainsi pour un message 8 bits demandant un gris à 75% on aura le message 11000000.

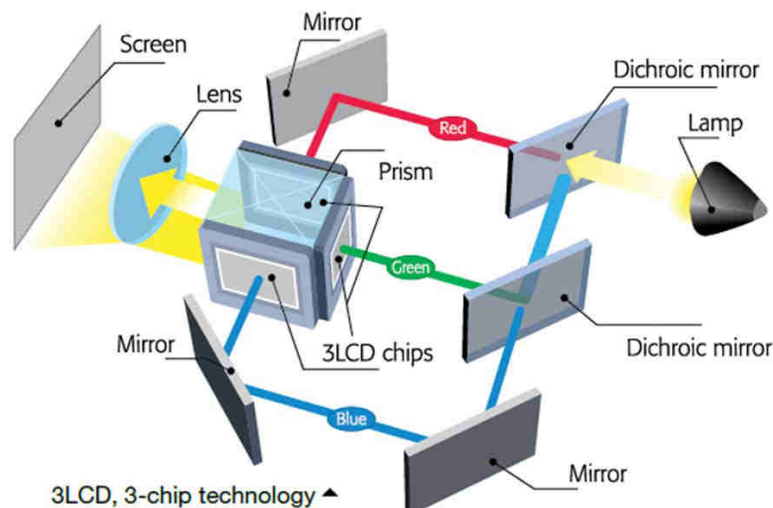


Fig.51 Schéma de la projection LCD

La technologie SXRD a la particularité d'utiliser des matrices LCD avant l'entrée dans le prisme de recombinaison. Cette technique a la particularité d'arrêter la lumière

plutôt que de la dévier vers un piège à lumière, ce qui permet de diminuer l'incidence du flare pour améliorer la qualité des noirs.

Le but d'Éclair est de promouvoir ce projecteur qui offre une dynamique de projection plus importante pour un prix semblable à celui des autres projecteurs vendus par Christie et Barco. Il permet ainsi de faire du HDR à moindre coût en plaçant le blanc maximum à 100 cd/m^2 contre 108 cd/m^2 pour Dolby. La différence de contraste entre les deux dispositifs se faisant sur le niveau de noir affiché sur l'écran de projection. Dolby utilise un projecteur Laser Christie composé de 6 primaires RVB et CMJ qui intègre un chipset Dolby lui permettant d'atteindre ce niveau de noir aussi bas. La réduction de toutes les causes de flare induites par la salle est également un axe majeur pour diminuer le niveau des noirs. Pour cela, le procédé Dolby Cinema prend en charge non seulement la fourniture de son projecteur spécial, de son système de son Dolby Atmos mais aussi l'aménagement complet de la salle pour éviter les effets de flare que ce soit au niveau des fauteuils noirs, des murs noirs ou de l'inclinaison de la vitre de projection.



Fig.52 Salle Dolby Cinema

Pour le moment le projecteur Sony est le seul projecteur dans cette gamme de prix à pouvoir délivrer un contraste de 8000:1 qui est la norme définie par Éclair pour garantir la bonne diffusion d'un contenu en Éclair Color. Les projecteurs Laser étant bien trop coûteux pour être installés dans des salles standards. Ymagis a d'ailleurs annoncé dernièrement Sphera qui est la version de salle Premium au même titre que les salles Dolby et IMAX et qui se basera sur l'Éclair Color.



Fig.53 Image de la Sphera d'Ymagis

L'Éclair Color arrive à un moment où les premiers projecteurs numériques installés dans les salles sont vieillissant et n'arrivent plus à suivre la norme. Les exploitants sont demandeuses de produits novateurs comme le montre l'appétence des spectateurs pour les salles 4DX, IMAX, Dolby. En vendant la technologie Éclair Color, Ymagis vend également un contrôle strict des salles labellisées Éclair Color pour vérifier dans le temps qu'elles suivent toujours la norme. L'Éclair Color apporte donc une amélioration de la qualité du rendu visuel des films qui suit l'évolution technique apportée par le dispositif de projection. Le problème étant pour Éclair la difficulté à fournir du contenu étalonné à partir des rushes natifs en HDR. A l'heure actuelle il n'existe que 2 films dans ce cas-là, *Chacun sa vie* de Claude Lellouche et *Tout là-haut* de Serge Hazanavicius. Tous les autres films sont réétalonnés en Éclair Color à partir du DCDM, donc du film déjà étalonné pour un projecteur standard. Le problème étant qu'en partant du DCDM, on traite une image déjà optimisée pour la diffusion en standard, ce qui donne moins de marge de manœuvre que de repartir des fichiers RAW. Le but est de conserver toutes les intentions de l'étalonnage et l'optimiser par rapport au bénéfice supplémentaire octroyé par le dispositif de projection. Cette solution "de transition" permet de faire connaître une technologie novatrice qui va dans le sens de l'amélioration de l'image projetée. Bien que le traitement ne soit pas optimal, il permet d'améliorer la qualité de projection comme j'ai pu m'en apercevoir lors de mes tests perceptifs. Pour réaliser mes tests perceptifs je suis allé voir le même film dans la même journée dans une salle en projection standard et dans une salle en Eclair Color. Ceci dans le but de voir sur un film entier les différences visibles, en faisant abstraction du contraste simultané. Les projections

simultanées du standard et de l'Éclair Color faussent la perception car portant la différence sur les niveaux de luminance plutôt sur la perception qu'on en a indépendamment.

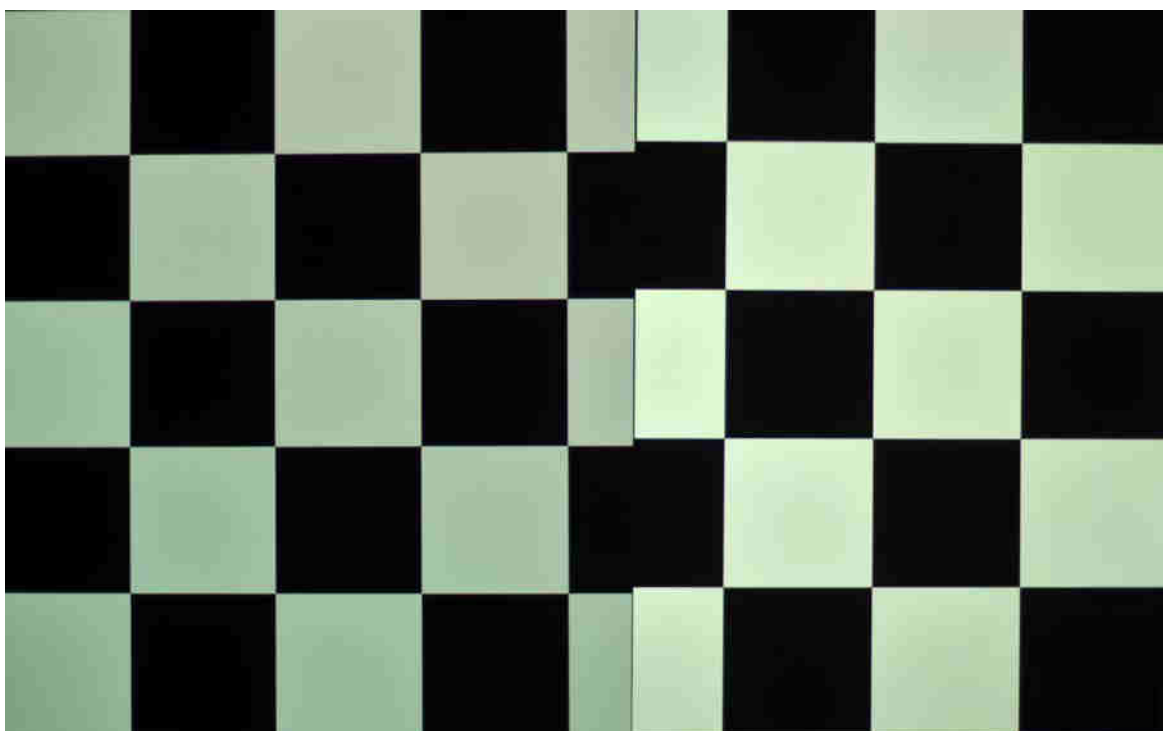
c) Tests Projection HDR

Dans le cadre de la journée HDR organisée par Laurent Stehlin et Yuriko Hirohata, j'ai eu en charge l'espace démonstration. J'ai ainsi pu installer les deux téléviseurs LG que présentait Dolby. Les deux téléviseurs diffusaient le même contenu Netflix, l'un étant en SDR à 100 cd/m², l'autre en HDR à 600 cd/m². ARRI était venu présenter sur un téléviseur LG à 600 cd/m² des images d'ARRI Alexa étalonnées en HDR. Panasonic et Transvideo montraient comment la VarriCam et les moniteurs Transvideo permettaient de visualiser du HDR sur le plateau. Technicolor et Sony présentaient des images étalonnées en HDR, un court-métrage tourné en RED Helium 8K, et la captation d'un spectacle de cirque en X-OCN avec la Sony F55. J'ai également participé à l'installation du Sony SRX-R515P dans la salle de projection de Louis Lumière et ait été invité à présenter avec Thierry Beaumel, les différences visibles dans les images entre une projection en Éclair Color et une projection standard faite avec un Christie 4K. Les analyses que j'ai pu faire avec Thierry rejoignent au niveau des conclusions, les analyses faites sur les versions remasterisées que j'aborde plus tard dans ce mémoire. La projection simultanée d'un extrait de Dalida en projection standard et du même extrait projeté en Éclair Color avec simulation de la projection standard a permis de vérifier que la simulation d'Éclair était correcte. La simulation des Luminances de la projection Standard dans les hautes et les basses lumières faite par Florine Bel d'Éclair est en effet exacte après comparaison des deux. Ce qui montre au crédit d'Éclair que leur simulation lors des projections en side-by-side est exacte même si par le contraste simultané cette dernière est plus tape à l'œil que la réalité.

Ayant eu à disposition les deux projecteurs, j'ai ainsi pu mettre en place un protocole de test. Mon but était dans un premier temps de vérifier les données constructeur en mesurant les blancs maximums et les noirs minimums afin de déterminer la différence de contraste entre les deux projecteurs. De vérifier ainsi si le projecteur est bien à la norme Éclair Color qui veut une luminance maximum de 100 cd/m² et un contraste de 8000:1. Il m'a également fallu mesurer le contraste du projecteur Christie 4K, car si la norme DCI-P3 définit la norme à 48 cd/m² et un

contraste intra-image à minimum 125:1, on ne connaît pas son contraste inter-image. Dans un second temps, mesurer la différence de luminosité sur les couleurs primaires et secondaires. Car si la norme Éclair Color reprend comme coordonnées chromatiques celles de la norme DCI-P3, il est intéressant de voir la différence en termes de clarté avec la projection standard. Afin de la déterminer aussi bien de manière perceptive que de manière mathématique. Le troisième point important est de déterminer l'impact du flare à la projection et de déterminer une méthode viable pour la mesure du contraste. La dernière est de déterminer le gamma de projection en Éclair Color.

Afin de réaliser ces tests, il était nécessaire pour moi de réaliser un DCP qui soit exactement le même pour les 2 projecteurs et surtout pour lequel je sois sûr d'atteindre les valeurs maximales. Pour créer les patchs image, j'ai donc utilisé MatLab afin de rentrer les valeurs exactes que je souhaitais voir afficher sur le DCP. J'ai ensuite exporté mes patchs en images tiff de manière à créer une séquence DPX 16 bits que j'ai importée dans le système d'étalonnage MIST (Marquise Technologies) pour réaliser le DCP. J'ai ensuite importé mes DCP dans les projecteurs que j'ai d'abord joué de manière simultanée afin d'observer le gain de la projection HDR. Un volet vertical appliqué dans chaque projecteur permettait de juxtaposer à l'écran les deux images.



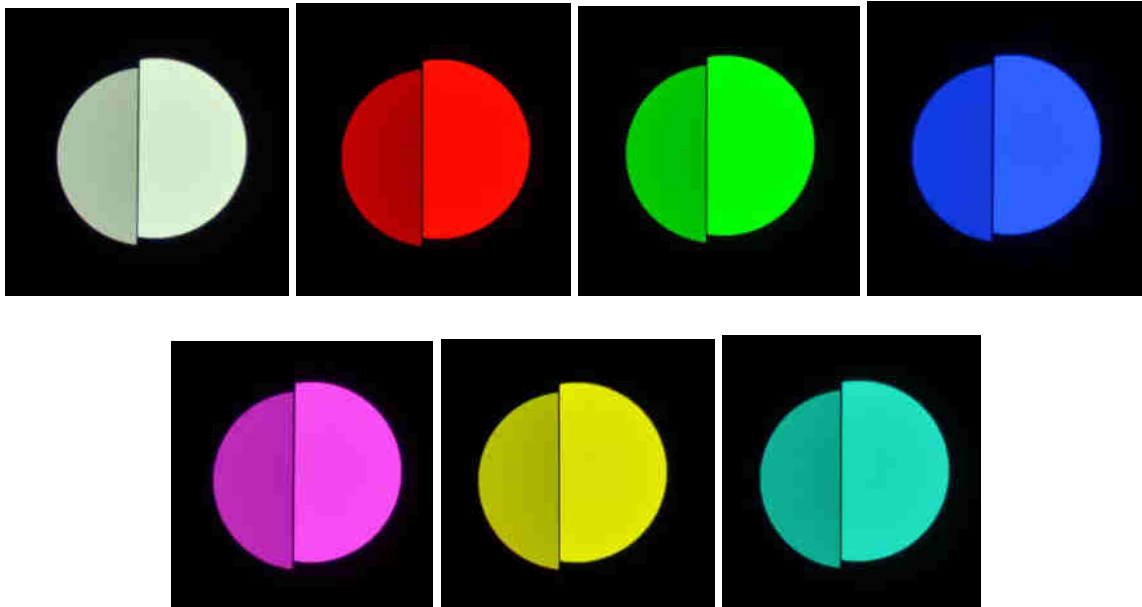


Fig.54 Photographies de la double projection Standard et Éclair Color

Les images ci-dessus sont des photos non retouchées prises dans la salle de projection de l'école Louis Lumière au moyen d'un appareil photo Réflex Nikon D5100. Le demi-disque situé à gauche représente la projection standard selon la norme DCI-P3 alors que le demi-disque à droite correspond à la projection en Éclair tel qu'il a été réglé par l'installateur du projecteur. Nous pouvons noter que lors d'une projection comparée, on observe une réelle différence entre les deux projections. Ensuite visuellement les plus grandes différences en salle s'observent sur les couleurs les plus lumineuses c'est à dire les secondaires Jaune, Cyan, et Magenta, même si on remarque des différences sur toutes les couleurs. Cela va dans le sens des tests perceptifs en Éclair Color, explicités plus tard dans le mémoire, où le gain se faisait principalement sur la couleur jaune du T-Shirt de Brice de Nice et de la robe d'Emma Stone et principalement sur le cyan dans l'eau. Le contraste bleu/cyan de l'eau et jaune des bouteilles d'oxygène dans les essais en Éclair Color sur le film *L'Odyssée* furent absolument frappant en terme de gain par rapport à la version standard. Ceci explique aussi le gain sur les contrastes colorés des visages. L'augmentation plus importante de la clarté du magenta et du jaune qui sont les composantes principales de la couleur de la peau avec le rouge permettent la création d'un contraste coloré et des démarcations plus franches entre deux teintes. Cette démarcation de teinte expliquant aussi l'impression de netteté plus importante, en augmentant le micro-contraste couleur. Étrangement par rapport à mes tests perceptifs, je n'ai pas perçu de véritables différences dans les ciels qui ont une composante cyan. Serait-ce dû à un manque

d'observation de ma part, un micro-contraste coloré moins présent dans les ciels, des ciels qui ont été plus amenés vers le bleu à l'étalonnage, un manque d'information cyan dans l'enregistrement de nos fichiers? Je n'ai malheureusement pas la réponse au fait que je n'arrive pas à voir une véritable différence dans les ciels en HDR.

	Projection Standard (cd/m ²)	Projection Éclair Color (cd/m ²)
Blanc	49	106
Noir	0,025	0,013
Rouge	10	23
Vert	35,5	76
Bleu	3,4	7,5
Cyan	39	83
Magenta	13	30
Jaune	46	99

Mathématiquement, on constate que chaque couleur double son niveau de luminance maximal, tout en conservant un niveau de noir deux fois plus bas. Toutes ces mesures sont des moyennes de 10 luminances mesurées excepté pour les valeurs de noir qui sont des pondérations de 4 valeurs à chaque fois. Quant aux coordonnées chromatiques il n'y a aucune différences car reprenant les coordonnées chromatiques du DCI-P3. De la même manière, le gamma de projection reste le même que celui de la norme soit 2,6. Cependant depuis mes mesures la norme Éclair Color a évolué et considère maintenant dans la norme à un gamma de 2,8 afin d'obtenir une meilleure quantification dans les tons sombres.

Les normes actuelles demandent de mesurer un contraste Intra-Image plutôt qu'un contraste Inter-Image en utilisant des mires à damier. Le principal problème étant que ces mires délivrant une image d'un blanc à 100%, le blanc flare sur les noirs de l'écran. Or l'on ne délivre que rarement un blanc à 100% lors de la diffusion d'un film. Si la taille des patches n'a pas une grande influence la luminance des carrés blancs en a une. Ainsi en contraste Inter-Image on a :

Pourcentage de Luminance du Patch Blanc	Contraste Christie 4K (Standard)	Contraste Sony (Éclair Color)
100%	110:1	88:1
80%	110:1	88:1
50%	72:1	90:1
20%	16:1	53:1
Gamme de Gris	750:1	1050:1

Il faudrait dans le cadre du HDR trouver une solution pour mesurer un contraste projecteur qui ne soit pas faussé par une incidence du flare trop importante. D'autant plus que le cas de figure mesuré actuellement ne se présente que très rarement sur nos écrans. La gamme de gris me donnant par exemple des valeurs plus proches de la réalité de la perception, mais est dépendante de la taille de l'écran.

L'incidence du flare en projection est donc un élément important à maîtriser afin de pouvoir conserver de vrais noirs. Les incidences de flares en projection vont venir de la technologie de projecteur utilisé (DLP, SXRD, Laser), la qualité de l'optique, la vitre de projection et son parallélisme ou non avec l'écran, les couleurs et la texture des sièges et des murs de la salle, la couleur des habits des personnes situées au premier rang. Ainsi, au-dessus de 100cd/m² dans une salle de cinéma, les spectateurs éprouvent des difficultés à adapter leur vision due à la grande différence en mésopique, et le taux de flare augmente. Le parti pris du HDR en projection est de diminuer les noirs au minimum en éliminant toutes les incidences de flare possibles car ce sont les noirs qui fixent la limite du contraste. Ce qui est le contraire avec les téléviseurs où les noirs dépendent du dispositif de visualisation et de la technologie employée, et ce sont les blancs qui vont fixer les limites du contraste.

II – Moniteurs et Courbes

a) Technologies Téléviseurs

Aujourd'hui seul trois moniteurs sont reconnus comme étant idéal pour l'étalonnage HDR. Il s'agit du Sony BVM-X300 V2, moniteur 4K dont la luminance peut atteindre 1000 cd/m², le Canon DP-V2420 pouvant lui aussi atteindre les 1000 cd/m² et le moniteur de référence Dolby Vision pouvant monter jusqu'à 4000 cd/m². Le moniteur Sony étant en technologie OLED, celui de Canon en LCD et celui de Dolby en LCD LED.

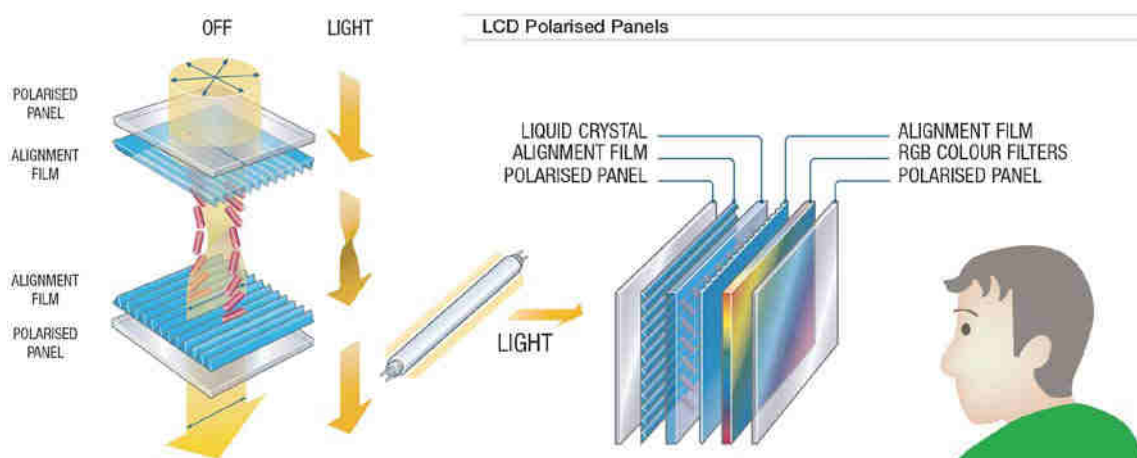


Fig.55 Schéma d'un écran LCD (source Sony)

L'écran LCD est composé de deux plaques polarisées tournées de 90° l'une par rapport à l'autre et prennent en sandwich une plaque à cristaux liquide. Lorsqu'un courant est envoyé à ces plaques polarisées, il vient modifier la rotation des cristaux liquides qui vont ainsi laisser plus ou moins passer de lumière.

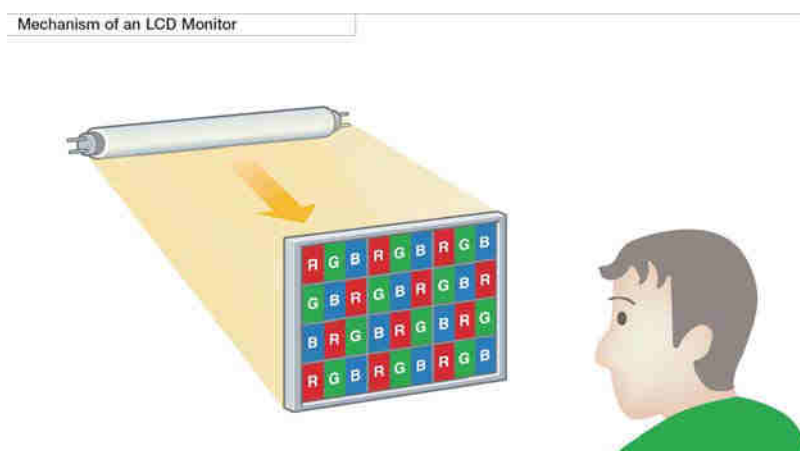


Fig.56 Matrice couleur d'un écran LCD (source Sony)

La couleur est ensuite donnée par une matrice RVB en triplet qui vient donner par synthèse additive la couleur du pixel (synthèse par l'œil de 3 couleurs côte à côte mais qui ne se mélangent pas). Une source de lumière blanche située derrière l'écran permettra d'illuminer la plaque de cristaux liquides.

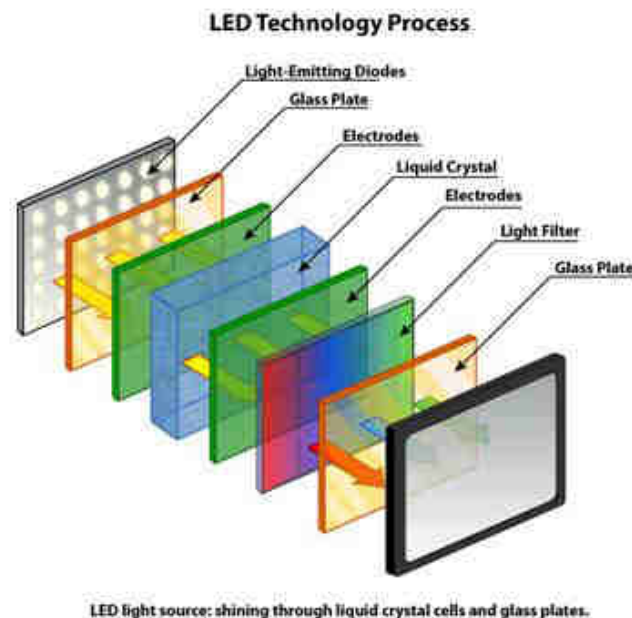


Fig.57 Schéma d'un écran LCD LED

Le LCD LED comme l'Écran de Dolby est constitué reprend la technologie LCD à la différence qu'est utilisé un très puissant et très grand panneau LED à l'arrière afin de délivrer la puissance requise pour atteindre les 4000 cd/m².

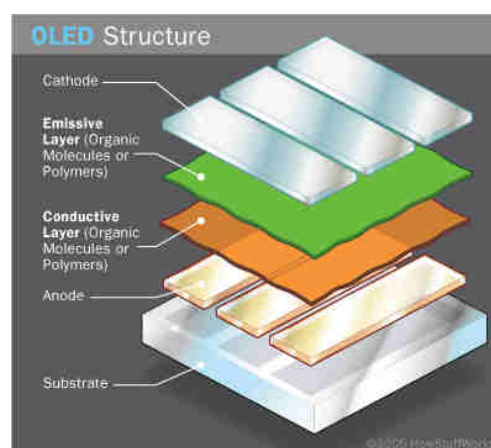


Fig.58 Schéma de la technologie OLED

La technologie OLED (Organic Light-Emitting Diode) va faire réagir des paires d'électron trou de la même manière qu'un capteur silicium. Les électrons et les "trous"

sont véhiculés dans des couches organiques séparées qui sous l'impulsion électrique de la cathode et de l'anode vont réagir dans la couche émissives et former des excitons qui vont créer l'électro-luminescence. Le principe de l'OLED est qu'il n'y a pas de lumière derrière l'écran (backlight) comme en LCD. Les pixels noirs d'un OLED sont éteints, ce qui crée un véritable noir sur l'écran. De plus Sony a agrémenter à la surface de son écran un système qui lui permet d'absorber les ondes réfléchies notamment dans le vert.

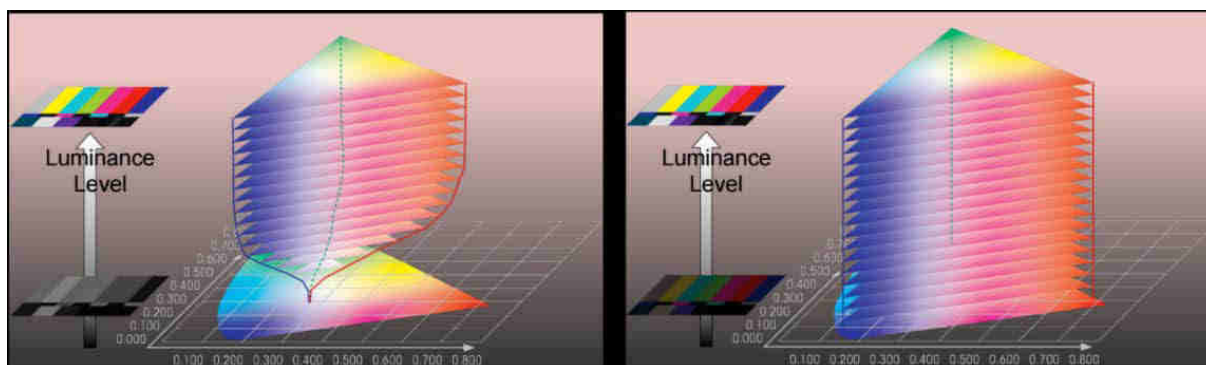


Fig.59 Schéma de la retranscription des couleurs entre le LCD et l'OLED (source Sony)

L'OLED a aussi la particularité avec l'absence de Backlight de pouvoir proposer une image colorée même dans les noirs, ce qui n'est pas le cas du LCD. Après on peut se demander si on a besoin d'informations colorées à ces faibles luminances étant donné qu'on a au niveau des caméras une faible quantification.

Le principal souci de l'OLED réside en fait dans sa lumière bleue qui a une émission proche des UV et qui est potentiellement nocive pour la santé. Il faut donc se demander si à de telles luminances l'utilisation de lumières bleues qui ne cessent de rechercher la pureté et tendre vers des longueurs d'ondes proches des Ultra-Violets ne risquent pas d'abimer nos yeux. Les UV étant la principale cause de brûlure des yeux.

Après avoir eu l'occasion de tester les trois, les écrans LCD et LCD LED sont plus performants pour le HDR dans des environnements très sombres. La dalle de ses écrans diffusant énormément le soleil, elle ne permet pas d'avoir de véritables noirs dans ces conditions-là. Si l'écran Dolby ne peut au niveau de son gabarit pas être mobile. L'écran de Canon avec sa technologie LCD est plutôt lourd et rend également son déplacement difficile. Seul le moniteur Sony avec ses noirs profonds et son gabarit

pourrait éventuellement si son prix n'était pas si élevé convenir à un DIT sur le plateau.

En terme qualitatif, il faut prendre en compte le fait que les écrans LCD et LED diffusent la lumière qui leur est émise, tandis que l'OLED émet la lumière. Travailler sur un moniteur OLED est plus qualitatif dans les noirs en terme de contraste et de couleur, donne l'impression d'être mieux résolu, donne plus de brillance à l'image. Cependant les brillances de l'OLED dans les hautes lumières fatiguent plus vite l'œil et les couleurs paraissent certaines fois trop pures. Ainsi pour travailler longtemps les moniteurs LED et LCD ont une diffusion de l'image plus agréable qui ne rend pas les hautes lumières aveuglantes.

b) BT.2020

En ce qui concerne le traitement des couleurs le HDR est arrivé avec la norme BT.2020, fixant des primaires au-delà de ce qu'il est possible de faire aujourd'hui avec n'importe quels moniteurs et téléviseurs. Un contenu Rec.2020 est devenu aujourd'hui non plus un gammut (espace couleur) mais aussi un terme pour signifier que le contenu est en HDR. Ainsi si on doit afficher l'image d'une caméra type Alexa sur un moniteur HDR, on doit appliquer une LUT Rec.2020 à la caméra.

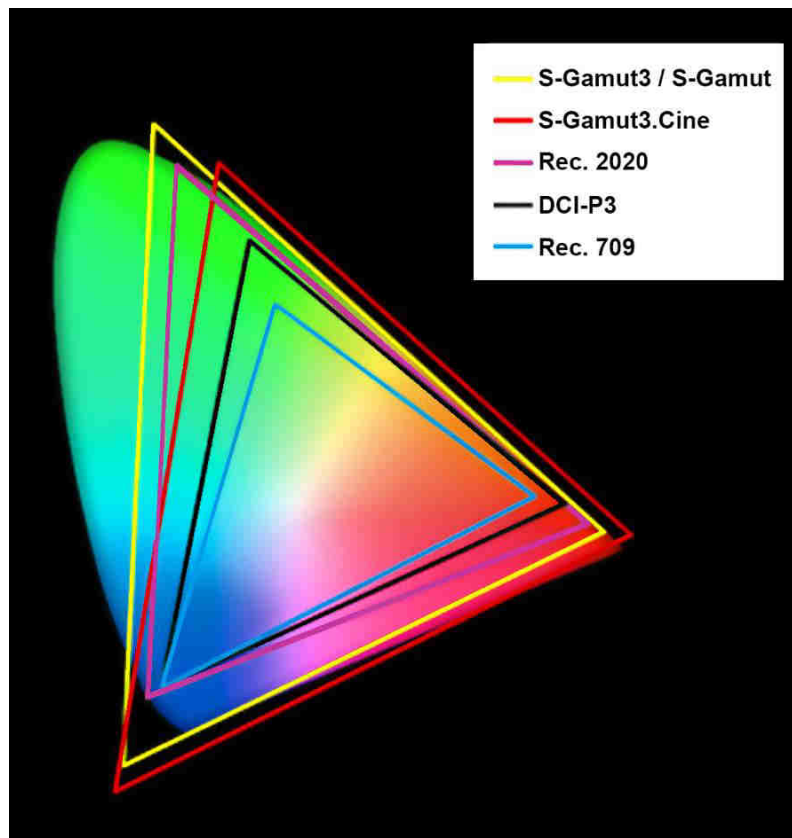


Fig.60 Représentation des différents gammut dans l'espace couleur CIE 1931

Ici on peut voir l'espace Rec.2020 représenté avec en comparaison le Rec.709 (gammut de la Télévision HD) et le DCI-P3 (gammut du cinéma numérique). On peut observer deux autres gammuts qui sont intéressants ce sont les S-Gammut 3 et le S-Gammut 3 Ciné de Sony. Ces gammuts sont implémentés dans les caméras Sony tel que la F55 ou la F65. En jaune nous avons le S-Gammut 3 qui est le wide-gammut natif de la caméra telle qu'elle enregistre les couleurs. En rouge le S-Gammut 3 Ciné est un gammut modifié de manière à ce que les primaires enregistrées se retrouvent dans l'axe des primaires du Rec.709 et du DCI-P3. Permettant un étalonnage plus facile pour faire correspondre informations colorées à la prise de vue et image visualisée. Cependant on peut observer que le S-Gammut 3 se trouve dans l'axe des primaires du Rec.2020. Dans le cas d'un étalonnage en Rec.2020 il faut donc se mettre en S-Gammut 3.

La représentation qui est faite du Rec.2020 ici présente n'est pas valide car s'appuyant sur un espace couleur caduc depuis 1976. Si en 1976 l'espace couleurs pour la perception des surfaces colorées a changé au profit du CIE $L^*a^*b^*$, il a également changé pour la perception des luminances colorées dont font partie les écrans. Il faut utiliser l'espace couleur CIE $L^*u^*v^*$, car l'espace de 1931 donne trop d'importances aux verts dans la perception par rapport aux autres couleurs.

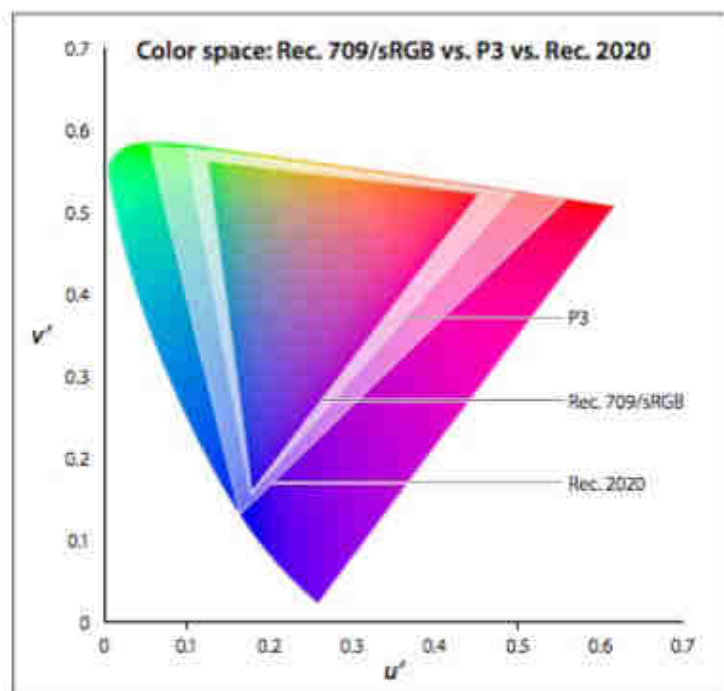


Fig.61 Représentation des gammuts utilisés en cinéma dans l'espace CIE $L^*u^*v^*$

On peut remarquer que dans cet espace couleur, le DCI-P3 gagne plus au niveau de son gammut dans les rouges que dans les verts en comparaison au Rec.709. De plus le Rec.2020 tend à gagner autant en pureté des couleurs dans les 3 primaires quand dans la représentation de 1931 on tendait uniquement vers le vert. En réalité par rapport au DCI-P3 on augmente le gammut plus dans le rouge que dans le vert. Bien que les primaires du gammut de la norme BT.2020 aient été conservées, cette norme a été révisée dans la BT.2100.

Cette nouvelle norme reconnaît un environnement d'étalonnage à 5 cd/m² pour le fond derrière l'écran et inférieur à 5cd/m² autour. Il reconnaît une résolution HDR en HD (1080p), 4K et 8K. Le HD n'étant pas reconnu dans la norme Rec.2020. Le signal peut également être soit en 10, soit en 12 bits et peut être encodé de 3 manières différentes. Le niveau "Full Range" encodant l'entièreté du signal de 0 à 1024 VN en 10 bits, le "Video Level" encodant des Valeurs Numériques allant de 64 à 940 en 10 bits et le "Narrow Range" encodant du noir à 64 VN au blanc à 940 VN en 10 bits, et réservant les Valeurs Numériques de 0 à 63 pour les Super Noirs et de 941 à 1023 VN pour les Super Blanc.

c) La Courbe HLG

La BT.2100 reconnaît surtout 3 normes HDR basées sur 2 courbes. La première étant le HLG (Hybrid Log Gamma) qui comme son nom l'indique est un mélange d'une courbe Log et d'une courbe Gamma. Cette courbe est développée par la BBC et a pour but d'être utilisée principalement dans la diffusion de flux télévisuels.

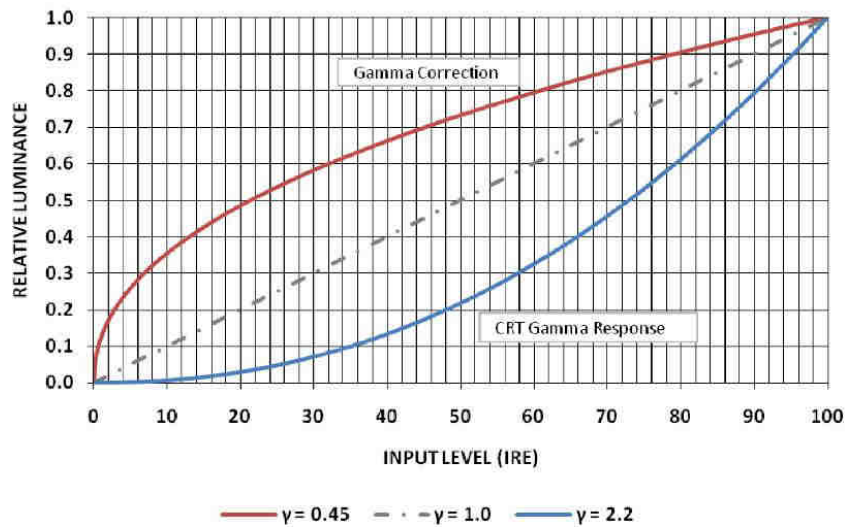


Fig.62 Représentation graphique du gamma CRT

NB : Il ne faut pas confondre le gamma de la pellicule, qui est la partie linéaire d'une courbe et qu'on emploiera en cinéma numérique de cette manière. Et le gamma vidéo qui est un encodage particulier de l'information.

Les télévisions cathodiques n'ont pas une réponse linéaire, mais une réponse curviligne comme le montre la courbe bleue. C'est ce qu'on appelle la courbe EOTF (Electrico-Optical Transfer Function). Elle traduit un signal analogique électrique en un signal visuel l'image qui apparaît sur la télévision. Pour garder une image linéaire en sortie de la télévision qui soit visuellement satisfaisante, on doit appliquer à l'image enregistrée par la caméra une courbe inverse de celle de la télévision. C'est la courbe rouge, qu'on peut nommer OETF (Optico-Electro Transfer Function). L'enregistrement d'un sujet par une caméra transforme les données réelles du sujet en un signal analogique électrique et immatériel. L'ensemble de ces mécanismes permettant que le sujet enregistré, apparaisse de manière satisfaisante sur l'écran de télévision. C'est la courbe pointillée noire, qu'on appelle courbe OOTF (Optico-Optical Transfer Function) qui correspond à la courbe OETF + la courbe EOTF.

Bien que peu d'écrans à tubes cathodiques subsistent, les téléviseurs continuent d'apporter une réponse en gamma au signal qui leur est envoyé. Il est donc nécessaire par souci de compatibilité et pour que l'image soit visuellement satisfaisante d'encoder son information en gamma pour la transmettre à un téléviseur. Avec l'ARRI Alexa par exemple, on applique au signal Log qui sort de la caméra une

LUT Rec.709 de manière à ce que l'information véhiculée par la caméra ait une correction de gamma qui aille avec la réponse de la pellicule. Ainsi on retrouve le gamma vidéo à 2,2 à la télévision, à 2,4 sur les moniteurs informatiques et à 2,6 en projection ciné.

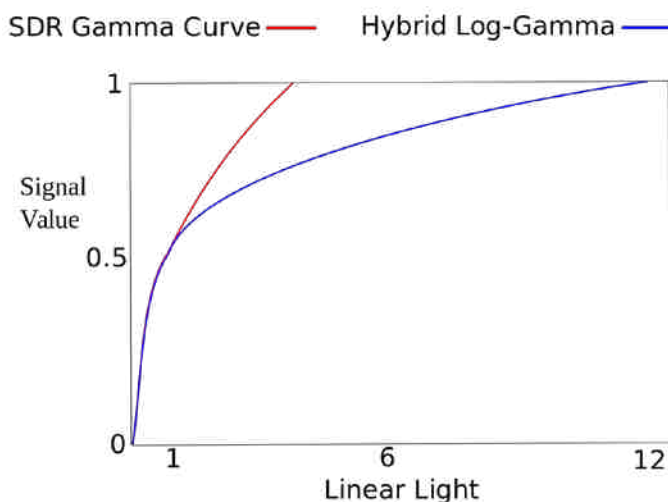


Fig.63 Hybrid Log Gamma Curve

L'hybrid Log / Gamma propose un encodage Gamma pour les basses luminances et un encodage logarithmique des hautes valeurs. Notre sujet serait donc encodé en un signal électronique, c'est la courbe OETF. Si on envisage la réponse d'un téléviseur compatible HLG, on appliquerait la réponse inverse à la courbe OETF pour donner la courbe EOTF complémentaire. On obtiendrait un sujet linéaire correspondant à ce qu'on a enregistré. Si on applique à cette courbe OETF, comme le souhaite dans sa norme la BBC, une réponse EOTF correspondant au gamma de la télévision standard. On se retrouverait avec une réponse linéaire dans les basses lumières puis logarithmique dans les hautes. Ce qui est pratique car nous passons par le même encodage pour les deux signaux mais non qualitatif pour la personne avec un téléviseur standard qui se retrouve avec des ciels et des visages qui manquent de gradation.

d) La courbe PQ

La seconde courbe normée dans la norme BT.2100 est la courbe PQ (Perceptual Quantifier), elle comprend les normes pour le Dolby Vision et le HDR 10. Sa courbe est normée dans la norme ST.2084. Sa représentation est inspirée des travaux de Barthelemy qui caractérise l'œil humain comme étant plus sensible aux petits écarts de

luminances qu'aux grands. Barthens rapproche dans son étude la perception visuelle de l'œil humain à une réponse logarithmique.

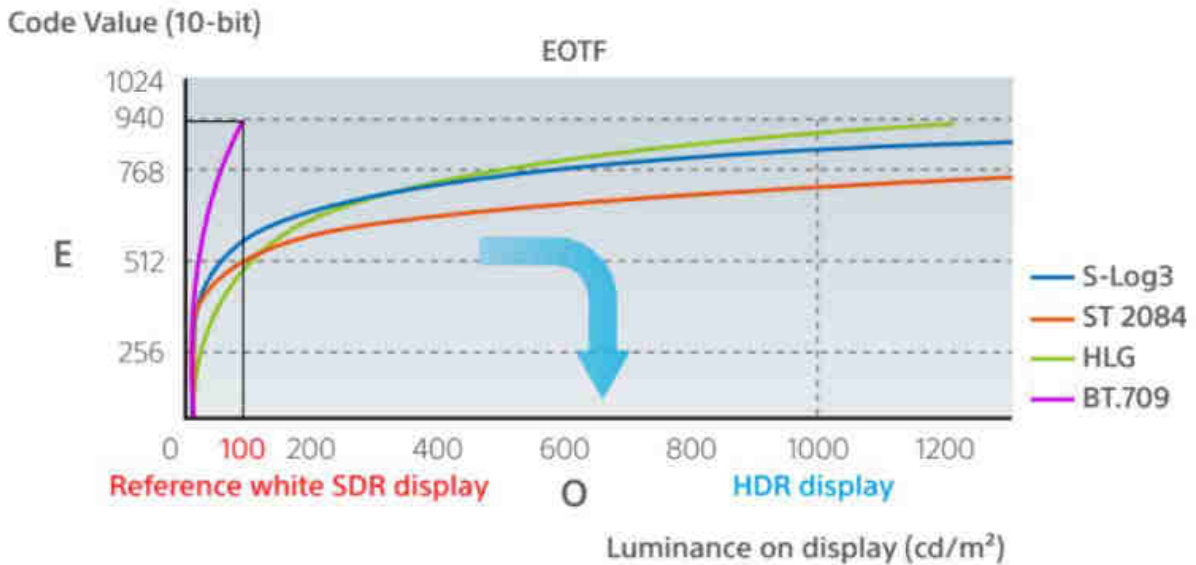


Fig.64 Perceptual Quantifier Curve (Source Sony)

J'ai décidé de prendre une courbe éditée par Sony pour montrer de manière comparée l'encodage des informations. Le fait troublant ici, est qu'on nous montre les luminances de manière linéaire quand l'information est-elle, enregistrée de manière logarithmique. Si on nous montrait la courbe PQ de manière logarithmique on s'apercevrait qu'elle est très proche d'une courbe logarithmique de base 2. C'est pour cette raison que la partie linéaire du S-Log3 est finalement très proche de la courbe PQ. L'enregistrement (OETF) étant uniquement faite de manière logarithmique, pour conserver le plus d'informations à quantification moindre (de la même manière qu'avec une caméra), la lecture de l'image ne peut se faire que sur un moniteur ayant une réponse (EOTF) de risque de voir une image Log.

Si la courbe PQ est libre de droit et est utilisé par un format ouvert comme le HDR 10, le Dolby Vision est cependant verrouillé par des métadatas sur chaque image. Ainsi pour voir un contenu en Dolby Vision il faut un téléviseur compatible avec la technologie, c'est à dire qui intègre une puce Dolby qui va permettre de décoder les métadatas. Les métadatas ont plusieurs utilités, la première étant d'adapter le signal PQ aux capacités du téléviseur.

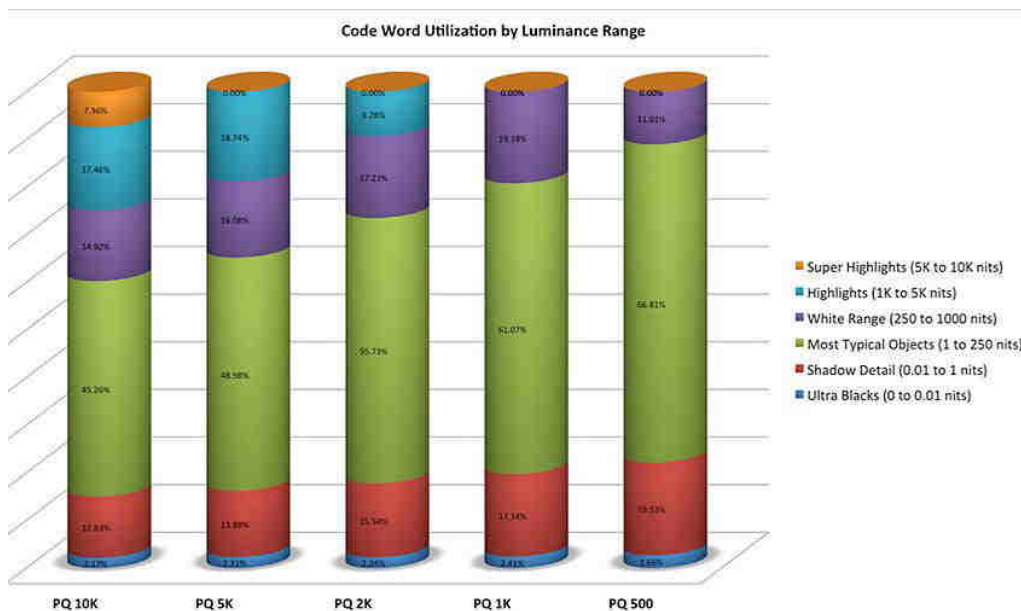
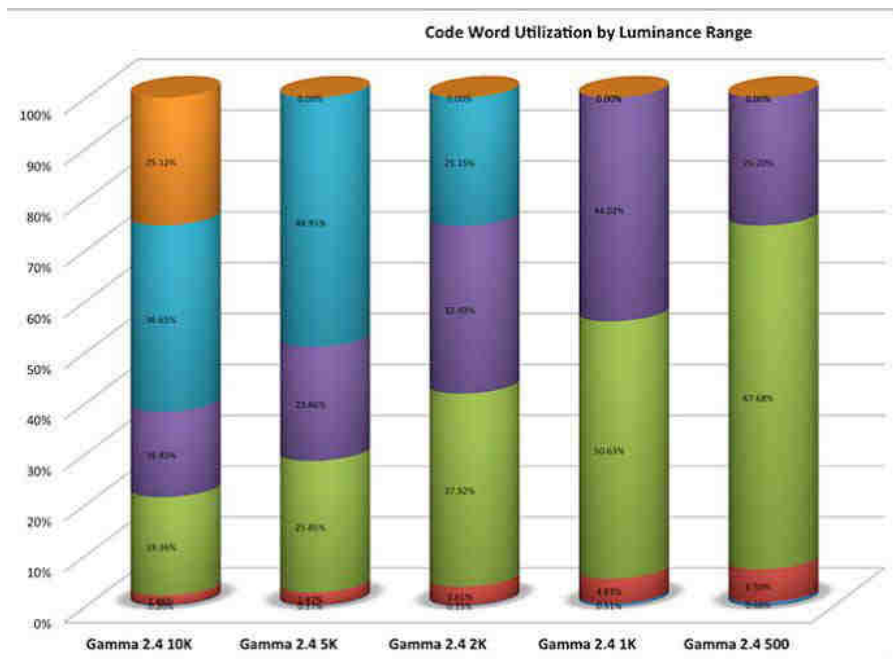


Fig.65 Adaptation des luminances du dispositif (Dolby)

Ce que disent ces graphiques c'est que le signal s'adapte aux capacités du téléviseur dans le cas du PQ (en bas) et non en gamma (en haut). Et il faut bien comprendre ce graphique dans une lecture de gauche à droite et non de droite à gauche. Un film étalonné sur un moniteur à 10 000 cd/m² s'adaptera à des luminances plus faible où entre 10 000 et 2 000 cd/m² on va tasser les informations dans les highlights (hautes lumières) en adaptant le reste du contenu en proportion. Un film étalonné à 1 000 cd/m² ne dépassera jamais cette valeur qui est inscrite dans les métadonnées de manière à ne pas créer d'informations non voulues par l'étalonneur

et le Directeur de la Photographie. Dans le même sens du respect du travail, les métadonnées Dolby ont pour but de “brider” les téléviseurs. Le spectateur ne peut choisir qu'entre trois modes de visualisation dépendant essentiellement de la lumière ambiante dans laquelle baigne la pièce pour pouvoir s'adapter au mieux aux conditions de visualisation. Ceci empêche l'utilisateur de faire de quelconques modifications colorimétriques et garanti en théorie la perception de la même image pour le spectateur. La dernière métadonnée concerne l'espace colorimétrique. Les étalonnages Dolby se font selon un Wide Gammut qui est plus grand qu'un DCI-P3 mais plus petit qu'un Rec.2020. Pour éviter les dérives colorimétriques il ne dépasse jamais le gammut dans lequel il a été étalonné même si le téléviseur le permet et s'adapte si le gammut du téléviseur est trop petit pour son contenu.

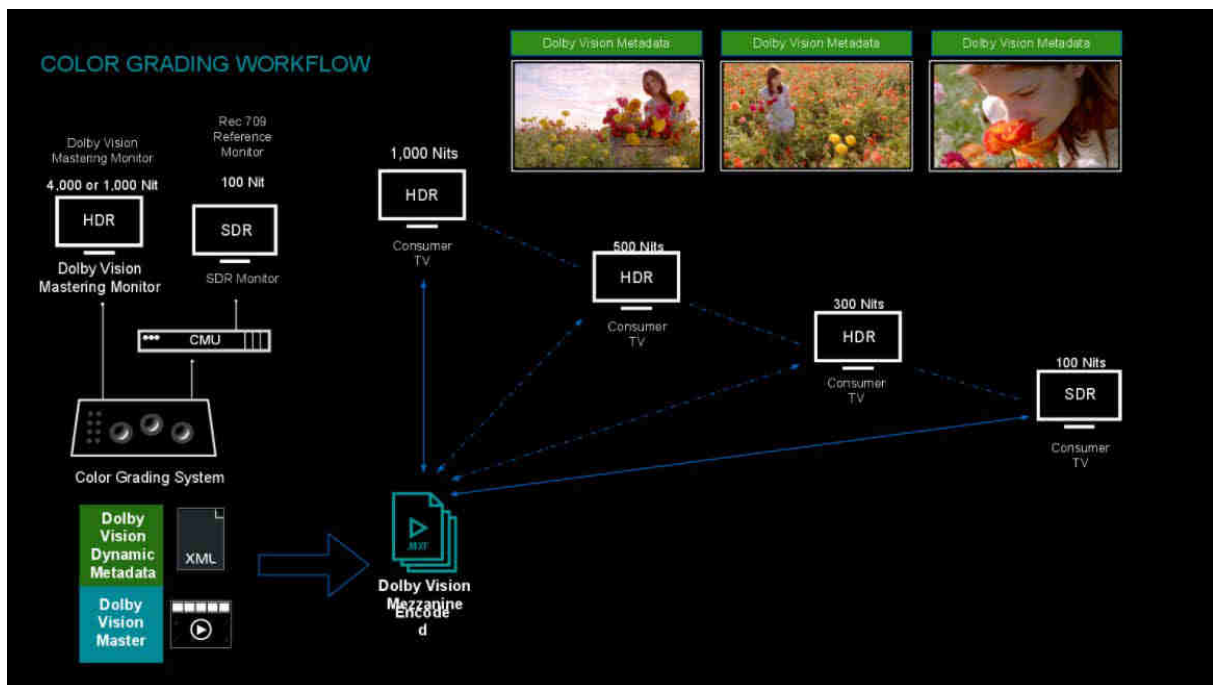


Fig.66 *Dolby Vision Mezzanine Encoded (Source Dolby)*

Les adaptations colorimétriques et lumineuses se font selon les métadonnées du master d'étalonnage c'est à dire le film étalonné à 4 000 cd/m², en les recoupant avec celles de l'étalonnage standard en DCI-P3 ou Rec.709. Ce sont les métadonnées Dolby Vision Mezzanine Encoded. Ils ont également travaillé à pouvoir basculer d'un Master étalonné à 4 000 cd/m² dans Baselight vers un master SDR en ne réglant que les outils Lift / Gamma / Gain / Saturation.

Samsung et la Fox ont annoncé dernièrement qu'ils mettaient en place la norme HDR 10+ pour concurrencer Dolby en intégrant eux aussi des metadata dans leurs fichiers HDR. Si Dolby est leader sur le marché grâce notamment à Netflix et Amazon, ils éprouvent du mal à convaincre les diffuseurs télé de passer au HDR cela demandant trop de modifications en termes d'infrastructures contrairement à la norme HLG.

III – Stratégies d'étalonnage en HDR

a) Diagramme de Jones et Sigmoides

En Février 1944, Loyd A. Jones ingénieur chez Kodak publiait dans *Journal of the Optical Society of America* un article intitulé "Psychophysics and Photography". Dans cette étude il s'intéresse à étudier la perception de l'image au niveau de la gradation. Il effectue des tests présentant différentes photographies avec des gradations et densités différentes qu'il présente à un panel. Il s'avère que la photographie qui ressort de ces tests présente des distorsions de valeurs dans les hautes et les basses lumières dont la courbe représentative prend la forme d'une sigmoïde. Cette courbe présente un aplatissement dans les hautes et les basses lumières de manière à conserver une gradation forte sur la partie linéaire au centre de la courbe. L'inclinaison de la pente de la partie linéaire qu'on appelle le gamma. Une pente douce (courbe du négatif) correspondant à un gamma faible (autour de 0,6 dans le cas du négatif) et une gradation douce. Une pente forte (courbe du positif) correspondant à un gamma fort (autour de 4 dans le cas du positif) et une gradation forte. De ces travaux ont découlé tous les travaux d'émulsions des pellicules positives et négatives pour tendre vers ce rendu. Ce qui a donné notamment naissance au Diagramme de Jones.

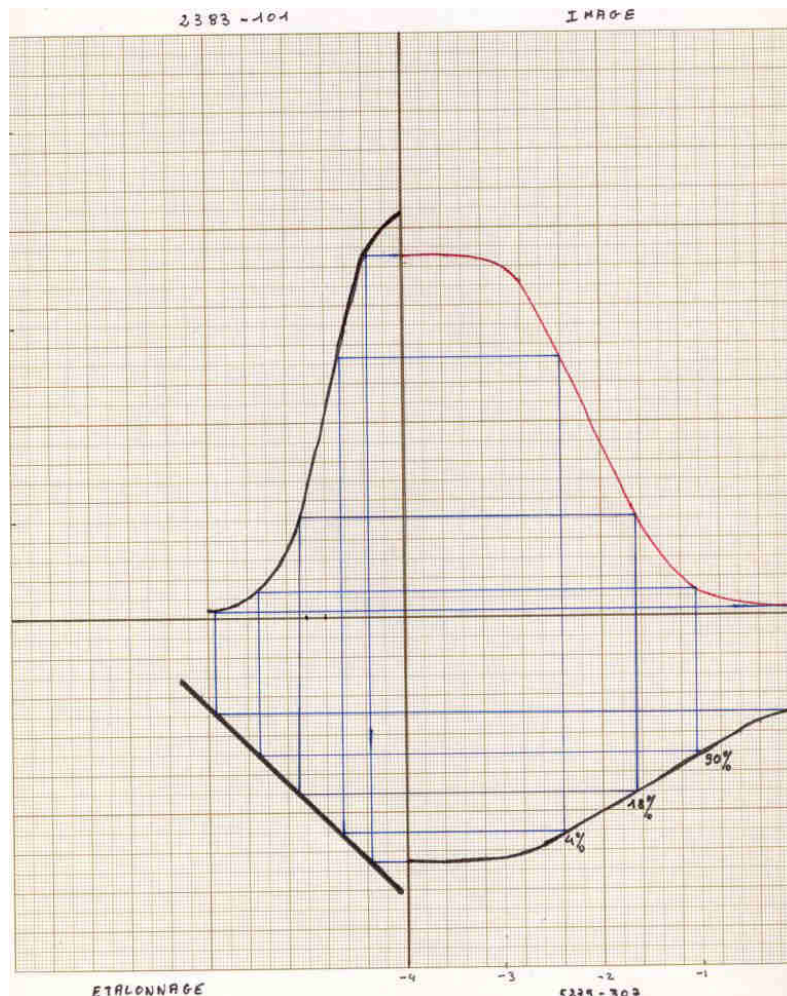


Fig.67 Diagramme de Jones (Source Jean-Louis Fournier)

Ce diagramme nous permet de voir comment un sujet posé sur un négatif (en bas à droite) va après traitement être exposé sur le positif (en haut à gauche) et son image projetée sur l'écran (en haut à droite). Ce diagramme permet dès le tournage d'optimiser son exposition par rapport au rendu final. Cette sigmoïde dans le rendu de l'image finale est le principe même de l'étalonnage aujourd'hui.

L'étalonnage depuis l'époque de la pellicule se fait selon une courbe prenant une forme de sigmoïde qu'on appelle communément S-Curve où courbe en S. En numérique on part d'une image linéaire qui est convertie la plupart du temps en Log. Sur le schéma ci-dessous, on s'aperçoit que les Log sont linéaires mais se tassent dans le pied de la courbe Log ceci étant notamment dû à l'absence d'information dans cette partie de la courbe.

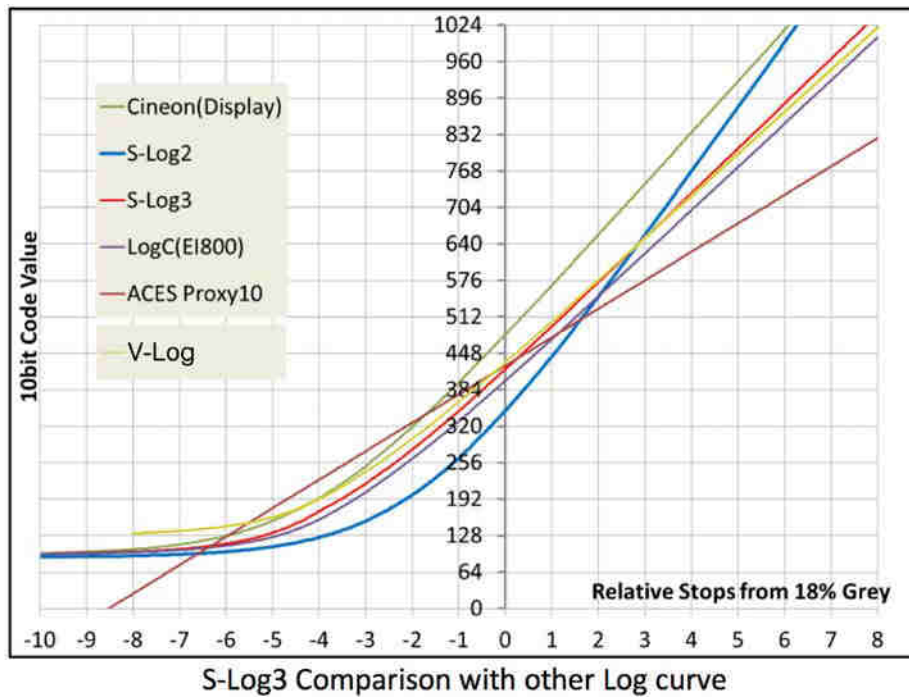


Fig.68 Représentation graphique des courbes Log numériques

En étalonnage sur le même principe qu'en pellicule avec le diagramme de Jones on va appliquer une gradation forte (courbe positif) en recréant la sigmoïde pour que l'image passe d'une gradation douce en Log à une gradation qui est visuellement satisfaisante.



Fig.69 Image tournée en S-Log3 sans traitements



Fig.70 Image tournée en S-Log3 avec les modifications de gradation selon la sigmoïde

En numérique comme en pellicule on applique toujours cette sigmoïde qui écrase les valeurs dans les hautes et les basses lumières. L'écrasement de ces valeurs s'explique par le besoin de garder un gamma qui soit satisfaisant pour l'œil tout en prenant en compte les limites du dispositif. Notre papier photo sur lequel les tests de Jones ont été fait ne proposait qu'une dynamique de 6 EV au maximum entre les blancs et les noirs. Une photographie étant regardé sous une lumière diffuse on est dans les mêmes valeurs qu'avec un sujet standard. On retrouve également ce contraste en peinture où certains peintres comme Raphaël n'hésitent pas à saturer les valeurs hautes pour montrer que les valeurs sont au-delà de leur système de reproduction.



Fig.71 The mond crucifixion, Raphaël (1503)

b) Stratégie d'étalonnage HDR

Est représentée ci-dessous la courbe de gradation de notre image telle qu'elle est étalonnée pour un écran de cinéma où les valeurs s'échelonnent entre 48 cd/m^2 et $0,025 \text{ cd/m}^2$ pour les noirs. On remarque que pour conserver notre gamma de reproduction, il est nécessaire dans notre système actuel de projection de tasser les valeurs dans les hautes et les basses lumières ce qui entraîne une perte de détail. La perte de détails se faisant bien évidemment plus dans les valeurs hautes car l'information dans les basses lumières est peu quantifiée dans les caméras numériques actuelles.

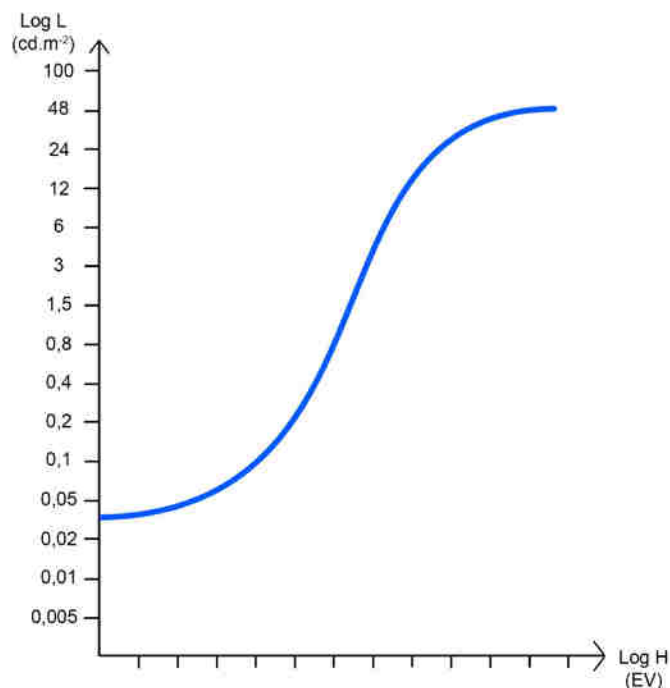


Fig.72 Représentation de la sigmoïde d'une projection Standard

Dans la majeure Psychophysique de l'Image dirigée par Alain Sarlat, nous avons travaillé sur le HDR. Nous avons cherché à savoir quelle différence de courbe il y avait entre le SDR et le HDR en Éclair Color. Nous avons au début émis que nous pouvions avec le HDR avoir un signal linéaire en utilisant une LUT ARRI Log C to Gamma avec un Knee 0 et un Slope 0. Cette LUT a la particularité de basculer d'un signal logarithmique à un signal gamma qui redonne un gradient plus fort sans appliquer de courbure au signal. Cependant visuellement le gradient n'était pas suffisamment fort pour qu'en Éclair Color cette courbe fonctionne.

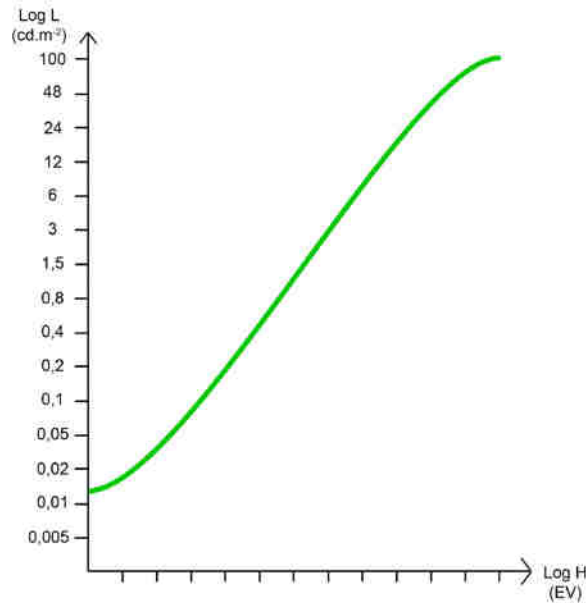


Fig.73 Représentation d'une projection linéaire en Éclair Color

On est ensuite allé étalonner chez Éclair nos images où nous avons pu constater qu'on conservait une sigmoïde qui était certes moins marqué qu'en Standard mais qui présentait l'intérêt d'être moins aplati dans les hautes et les basses lumières.

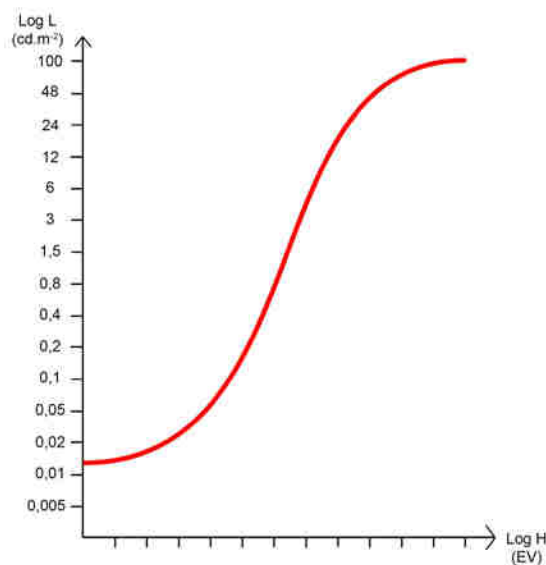


Fig.74 Représentation de la sigmoïde d'une projection en Éclair Color

En superposant les 3 courbes on obtient la courbe suivante. On peut voir que les 3 courbes se rejoignent en ce qu'on pourrait considérer comme le gris à 18% de notre sujet. On peut observer que nos 2 courbes ont le même gradient malgré le fait qu'ils n'aient pas les mêmes luminances.

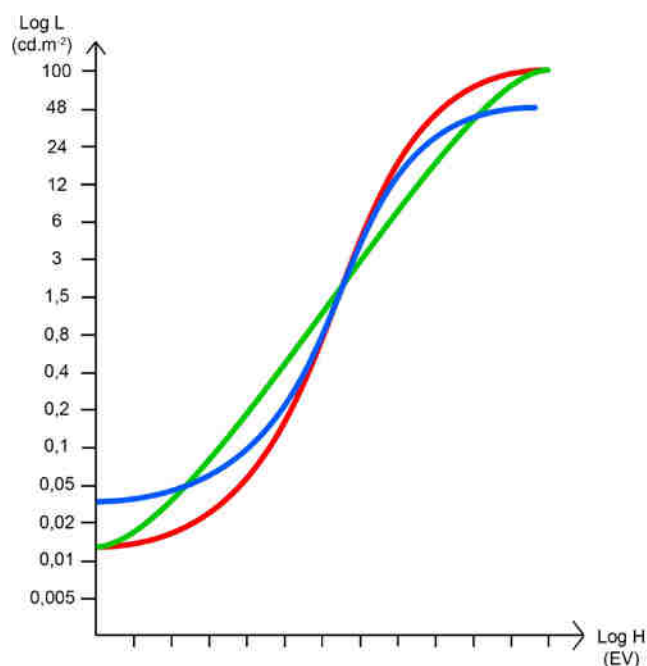


Fig.75 Représentation de 3 projections (Bleu: Standard, Rouge: Éclair Color, Vert: Linéaire en Éclair Color)

En partant maintenant d'une image tournée dans le cadre de la majeure Psychophysique de l'image dans l'optique d'une post-production HDR en Éclair Color. Nous avons reproduit un tableau de Johannes Vermeer qui s'intitule *Femme écrivant une lettre et sa servante*. Cette scène a été pensée de manière à exploiter pleinement les 11 EV de l'ARRI Alexa Studio qui a servi à filmer cette séquence.



Fig.76 Image exposée en HDR

On a exposé de manière à exploiter pleinement le capteur de l'Alexa en la mesurant à 160 ISO et en l'exposant par rapport aux hautes lumières. On retrouve en orange les 2 EV réservés aux spéculaires. En vert les 5 ⅓ EV du personnage dans la lumière et dans l'ombre le personnage sous-exposé de 3 EV qui se trouve dans l'ombre et qui a également une dynamique de 5 ⅓ EV.

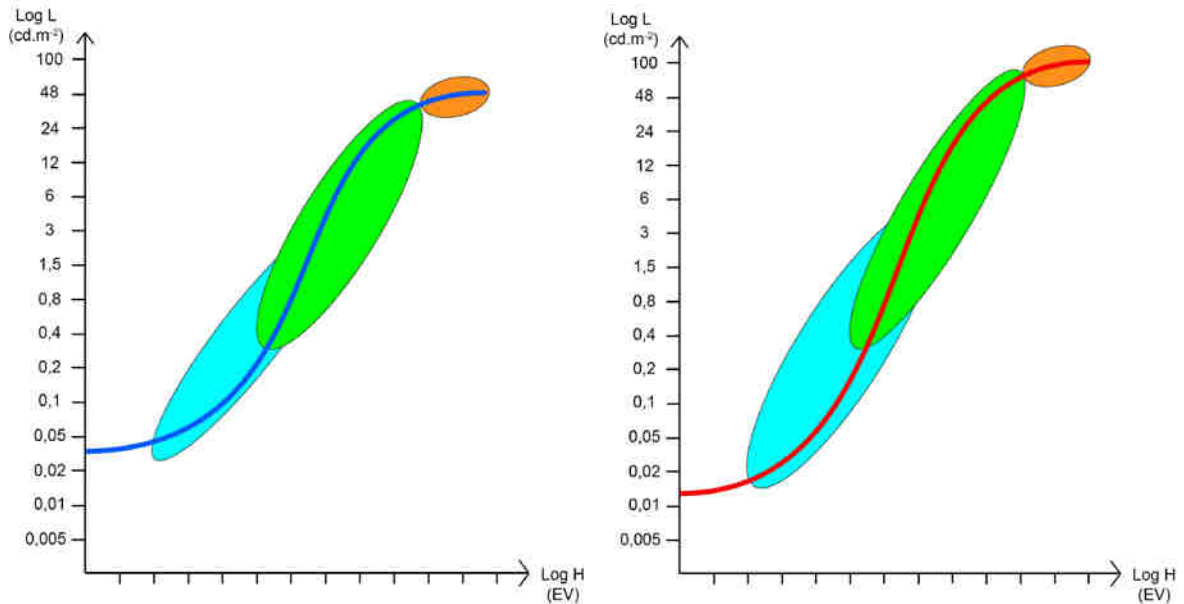


Fig.77 Représentation graphique de la Fig.76 (Gauche: Projection Standard, Droite: Projection Éclair Color)

On remarque qu'en Éclair Color une partie du signal qui se trouvait dans la partie courbe de l'image se trouve désormais dans la partie linéaire. On gagne du détail dans les hautes lumières au niveau du tissu blanc du personnage éclairé et des rideaux. On gagne également du détail dans les basses lumières au niveau du pantalon du personnage dans le fond ou de la nappe rouge.

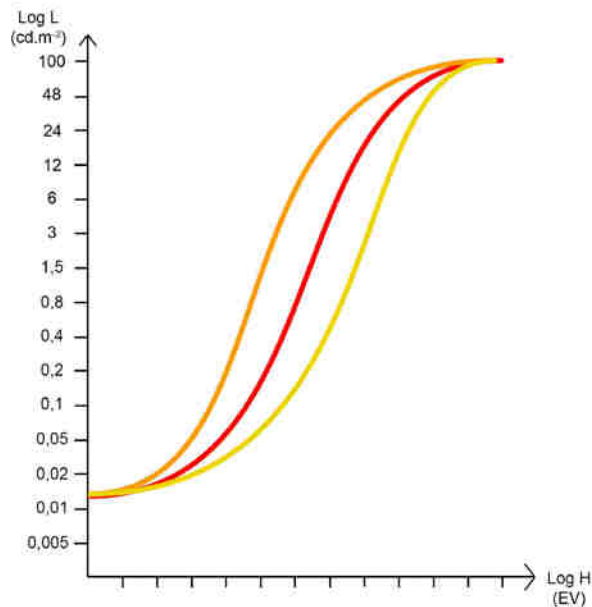


Fig.78 Représentation des choix d'étalonnage en Éclair Color

Cependant cette courbe en Éclair Color n'est pas obligée de rester figée. On peut comme le montre le graphique ci-dessus décider de donner une plus grande importance aux basses ou aux hautes lumières en fonction de la situation. Le signal jaune priorise les hautes lumières en compressant les valeurs dans les basses lumières de manière à linéariser les hautes. Tandis que le signal orange priorise les basses lumières en les linéarisant et compressant les valeurs des hautes lumières. Ceci en gardant la même gradation. On observe que pour linéariser dans les hautes et les basses lumières il faut soit diminuer la gradation, soit augmenter le contraste.

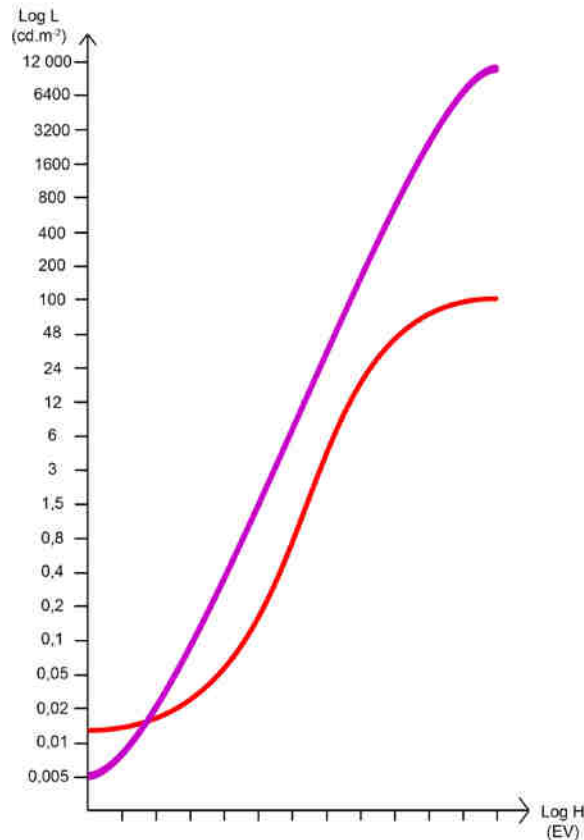


Fig.79 Représentation d'un signal linéaire et d'une sigmoïde en Éclair Color

C'est ce qu'a essayé de proposer Dolby dans sa norme Dolby Vision fixée au départ à 10 000 cd/m² pour permettre d'avoir un signal linéaire à gradation égale. Cependant l'œil humain n'est pas capable de voir les 21 EV que proposent Dolby. C'est à peu près ce que propose Sony avec son moniteur BVM-X300 qui va jusqu'à 1000 cd/m². En envoyant un signal S-Log au moniteur disposant d'un contraste de 100 000:1, ce dernier va être interprété de manière linéaire rendant une gradation visuellement satisfaisante.

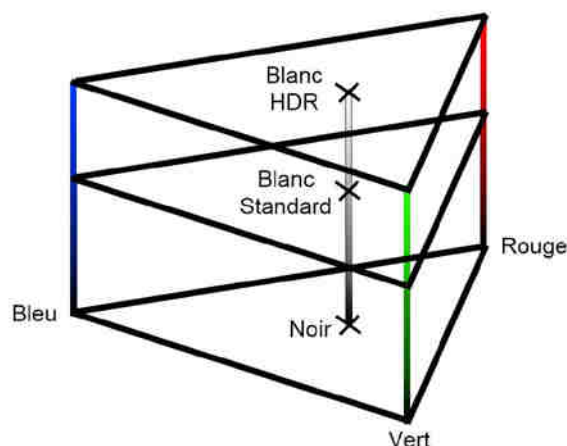


Fig.80 Représentation du même gammut en SDR et en HDR

L'étalonnage HDR permet d'apporter une clarté supplémentaire à l'image. Si en terme de couleur les primaires sont les mêmes du moins dans le cas de l'Éclair Color qui se base sur le DCI-P3. En se référant à l'espace CIE La^*b^* , on peut s'apercevoir que l'augmentation de la clarté permet de donner une impression de perception colorée plus importante. Le schéma au-dessus montre qu'en conservant le gammut l'augmentation de la luminosité entraîne l'augmentation de la clarté des couleurs en général. Un sujet coloré étalonné 1 EV plus haut en standard qu'en Éclair Color paraîtra deux fois plus coloré. Le HDR permet donc de jouer avec la luminosité supplémentaire pour augmenter l'impression colorée et par la même occasion le contraste coloré.

Le gammut tel qu'il est représenté dans les **Fig 60 et 61** améliore le spectre de captation et de rendu d'une image en fonction des 3 primaires utilisées, donnant sa superficie. Hors dans cette représentation est omis la clarté qui augmente la restitution des écarts de luminance, soit le volume colorimétrique de notre gammut.

Ce gammut est limité à trois endroits, par le sujet filmé tout d'abord, puis par le dispositif d'enregistrement et enfin par le dispositif de reproduction. La superficie de notre gammut va être enregistrée par la caméra qui a un wide gammut qui est parfois supérieur au spectre du visible. Le problème des caméras numériques actuelles étant dans l'enregistrement des valeurs situées dans les secondaires Cyan, Magenta, Jaune comme nous avons pu le remarquer dans la différence qui est faite entre les capteurs à Matrice de Bayer et le capteur Fovéon qui a une meilleure restitution des couleurs.

L'utilisation de filtres RVB entraîne une réduction du spectre d'enregistrement et une perte d'information dans ces valeurs situées entre les deux filtres. L'espace colorimétrique, au niveau de sa superficie est cependant peu limitant par rapport à celle du sujet. De même pour le volume d'enregistrement de 11 EV qui est la dynamique constatée dans la plupart des situations réelles. Ce qui est le plus limitant à l'enregistrement c'est le gammut qui n'est pas rectiligne, mais qui par la linéarité se resserre et apporte une information colorée pauvre dans les basses lumières.

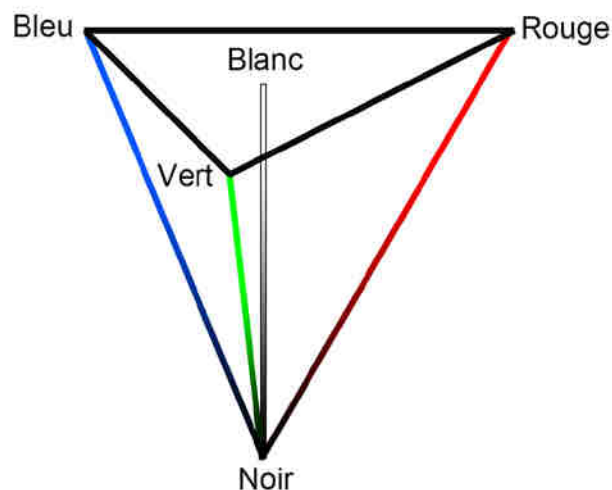


Fig.81 Représentation du gammut d'enregistrement d'un capteur CMOS / CCD

En comparaison, la pellicule même traitée numériquement par la courbe logarithmique Cinéon apporte plus d'informations colorées dans les basses lumières, car il n'y a pas d'effet entonnoir créé sur le négatif. L'information est donc plus importante ce qui explique que des étalonneurs considèrent la pellicule comme le meilleur médium pour faire du HDR.

Dans la reproduction des images, le facteur limitant va être le dispositif de reproduction. Ainsi, en terme de superficie, cela va être la norme DCI-P3 ou Rec.709 avec un pourcentage de recouvrement possible de ce gammut. Bien souvent on n'exploite pas l'entièreté de la superficie de ce gammut, notamment dans le cinéma de fiction où la gamme chromatique est restreinte par rapport à la peinture ou la photographie couleur. Le volume est quant à lui donné par le contraste du dispositif qui va en fonction de sa dynamique respecter plus ou moins la clarté du sujet initial. Et il faut adapter sans cesse son gammut du sujet filmé (espace CIE $L^*a^*b^*$), au gammut de captation (wide gammut), et au gammut de diffusion (CIE $L^*u^*v^*$).

IV – Tests Perceptifs en HDR

a) *Brice de Nice de James Huth - 20 Novembre 2016*

Gaumont Marignan Projection Eclair Color : 9 EV 100 cd.m²

UGC Ciné Cité La Défense Projection Standard : 6 EV 13 cd.m²

On peut directement observer que la salle n'était pas aux normes, ce qui malheureusement va fausser le ressenti puisqu'on ne se retrouve non pas avec 1 EV de différence dans les hautes lumières mais avec 3 EV de différence.

Jaune du T-Shirt au soleil Mesuré au Spotmètre:

Projection Eclair Color : 8,1 EV -> 57 cd.m²

Projection Standard : 5,4 EV -> 8,8 cd.m²

Pour parler du ressenti, l'Éclair Color délivre un contraste plus important, visible notamment au niveau des contours du sujet qui se détache plus. La couleur jaune nous paraît bien plus pure et éclatante. L'effet de transparence sur la méduse est également mieux reproduit avec l'Éclair Color. Le rendu de la mer notamment au début sur la mer calme de Nice gagne en profondeur et en contraste coloré. Certains effets en revanche fonctionnent moins bien en Éclair Color. Je pense notamment à la nuit américaine qui a un contraste lumineux et coloré trop important par rapport à la réalité. Pour avoir revu cette scène dans des conditions de projection à 48 cd/m², le contraste est déjà trop important de base et sa projection dans une salle avec un contraste plus faible la rendait plus vraie. L'incrustation des fonds verts dans la cabane ont plus de difficulté à se mélanger à l'image. Les variations de lumières sur les visages des acteurs pour recréer l'effet feu dérangeant en HDR et créent un papillotement. Le feu est quant à lui plus lumineux en Eclair Color mais n'apporte pas de détails supplémentaires dans le blanc de la flamme.

b) Dalida de Liza Azuelos - 18 Janvier 2017

Gaumont Marignan Projection Eclair Color : 8,6 EV 80 cd.m²

UGC Ciné Cité La Défense Projection Standard : 7,5 EV 32cd/m² (légère dominante verte)

Pour Dalida l'Éclair Color a très peu d'intérêt sur la quasi-totalité du film puisqu'il y a une LUT de reproduction d'un effet pellicule qui est appliqué et qui écrase tout le signal dans des tonalités jaune vert qui font que les blancs max sont jaunâtres de base. À ça vient s'ajouter le fait que les noirs ne sont pas particulièrement collés de base sur l'étalonnage du Master.

Nous nous retrouvons donc avec une LUT qui écrase beaucoup d'informations et qui ne permet pas d'en récupérer dans les hautes et les basses lumières. S'ajoute à ça une gradation assez douce qui ne donne pas une grande marge de manœuvre. L'étalonnage atteint très rarement des valeurs de blanc max afin de conserver une coloration dans les hautes lumières.

La stratégie qui a été prise pour cet étalonnage en Éclair Color fut semble-t-il de linéariser les tons sombres et de tout relever d'1 EV. Ainsi l'étalonnage HDR ne repose ici que sur l'amélioration de la carnation. On a donc au niveau des visages une augmentation du contraste orange/bleu. Ce choix d'étalonnage accentue l'effet jaune de la LUT qui est plutôt inconfortable visuellement car la teinte est trop marquée pour cette valeur de blanc quand en SDR cette dernière ne pose pas de soucis visuellement. On se retrouve avec des hautes lumières dérangeantes où notre regard se focalise pendant un moment sur un papier blanc posé sur le bureau en bas de l'image. D'autant plus qu'au Gaumont Marignan le point chaud était situé sur le bas de l'image ce qui accrochait le regard. Intensifié par le blanc métallisé de l'écran de projection.

De plus le micro-contraste est peu marqué tout comme la correction de contour. À chaque fois que la LUT pellicule jaune/verte est appliquée, c'est la version en SDR qui est la mieux. Il n'y a bien que le plan du Spectacle à l'Américaine et le dernier plan avec la fumée qui gagne en détail avec l'Éclair Color car l'on repart sur une image numérique "plus brute" où on laisse de l'information au HDR pour qu'il puisse s'exprimer librement.

c) *La La Land* de Damien Chazelle - 26 Janvier 2017

Pathé Wepler Projection Éclair Color : 100 cd/m² (9 EV)

Max Linder Projection Standard : 50 cd/m² (8 EV)

Durant le film, les blancs maximum se limitent en Éclair Color à 80 cd/m² (8,6 EV / 9 EV à mon Spotmètre) et en projection standard à 36 cd/m² (7,5 EV / 8 EV à mon Spotmètre). Seul 2 moments fugaces peuvent avoir été mis au blanc maximum du projecteur. Ce sont 2 effets flashes qui viennent éblouir le spectateur. Mais avec le contraste simultané, à 80 cd/m² cela aurait pu suffir pour éblouir.

Ici les visages sont au même niveau en projection standard et en Éclair Color. On a donc un gain pour tout ce qui est au-dessus de 5,5 EV pour aller jusqu'à 1 EV pour essentiellement les habits colorés qui vont être affichés à 7,5 EV en HDR contre 6,5 EV en SDR.

Ce gain de 1 EV dans les tons colorés se ressent visuellement dans la clarté des couleurs avec des jaunes, des rouges et des bleus qui paraissent plus pures et qui nous donnent l'impression de revivre de nos jours l'arrivée du Technicolor. L'amélioration du contraste couleur permet aussi d'accentuer la gradation des couleurs qu'on va retrouver particulièrement sur les teintes chairs où on va mieux isoler le vert autour des yeux, le magenta sur les pommettes, mais aussi la partie sur-exposée du visage qui va prendre une teinte orangée quand la partie ombragée va prendre une teinte bleutée.

De la même manière en Éclair Color le Contraste simultané vient donner un véritable pied de courbe avec des noirs profonds qui donnent l'impression d'assister à la projection d'un positif 35. À la différence qu'on a dans le pied de courbe plus de détails avec le numérique qu'on ne pouvait en avoir avec le positif 35mm. Toujours dans cette idée de contraste dans les noirs, la correction de contour est moins accentuée cette fois-ci sûrement pour ne pas trop amplifier le grain pellicule. Mais nous avons quand même un gain de micro-détails dans les visages.

En ce qui concerne le contraste dans les hautes lumières le choix de conserver les partis pris de l'étalonnage d'origine fut une bonne chose pour ne pas avoir des blancs éblouissants durant tout le film et garder le maximum uniquement pour des effets fugaces. L'arrivée du HDR a commencé à modifier les mentalités sur la manière

d'étalonner un film où on ne va plus chercher à placer le blanc à 100% mais le mettre à 75% et garder cette partie que pour des effets très lumineux dans l'image.

Ainsi dans *La La Land* les réverbères surexposés ne sont mis qu'à 7,8 EV en Éclair Color contre 7 EV en standard. Les scènes deviennent ainsi agréables à regarder et le contraste intra-image est ici suffisant pour nous donner l'impression d'être au maximum des capacités de l'œil.

C'est pour ça que l'amélioration supplémentaire des noirs en projection ne servirait que pour le contraste inter-image qui permettrait de gagner en dynamique image dans les scènes plus sombres où on aurait besoin d'avoir un vrai noir comme référence en l'absence d'une véritable référence de blanc dans l'image. Ceci remet aussi pour moi en cause les tests en intra-image avec des patchs blancs à 100% car aucune image ne l'atteint vraiment et notre œil non plus. Il serait donc peut être dans le cadre du HDR plus intéressant de vérifier un contraste intra-image et de réfléchir à la proportion qu'il occupe dans une image statistique "standard". Car les mesures actuelles donnent une limite perceptive et mesurent le flare plus que la valeur de noir projetée.

Après il n'y a dans les blancs aucun gain de détails particulier mis à part sur un plan où une légère fumée se déplace en face d'une fenêtre et permet de discriminer ces deux valeurs de blanc et révéler une fumée absente en SDR. On gagne en couleur sur des fortes lumières notamment bleues dans les réverbères de nuit au moment où Emma Stone est seule dans la rue. Dans l'ascenseur on perçoit les différences de température de couleur sur les lumières au plafond, on s'aperçoit qu'Emma Stone n'a pas la même température de couleur que les actrices situées derrière. Sur la colorimétrie il faut donc faire attention car le HDR en accentuant les contrastes couleur, accentue les différences de colorimétrie entre 2 lampes.

Les hautes lumières créent dans le mouvement des effets stroboscopiques assez gênant quand il y a un mouvement de caméra et un contraste important entre un fond clair et un élément sombre au premier plan. L'augmentation du contraste intensifie du coup l'effet de stroboscopie. De plus les effets de ralenti non prévus au tournage paraissent plus saccadés qu'en standard. Le HFR pourrait donc pour ça être de bonne augure pour le HDR.

Dans l'optique des micro-détails, les flous sont eux aussi accentués avec l'Éclair Color où un flou qui est peu visible en SDR sera visible en HDR. Il faut cependant prendre en compte qu'au Pathé Wepler comme au Max Linder, on diffuse un master 2K sur un projecteur 4K, il y a un algorithme de gonflement qui est différent entre Sony et Christie.

d) Chacun sa vie de Claude Lellouche

Projection Éclair Color Gaumont Marignan : 100 cd/m²

Projection Standard UGC Normandie : 48 cd/m²

Chacun sa vie a la particularité d'être le premier film étalonné à partir des rushes natifs en HDR. Il a été tourné en Sony F55 RAW. On s'aperçoit dans ce film qui a des tons plutôt moyens que le gain va se faire plutôt au niveau des peaux. Les peaux éclairées sont étalonnées 0,5 à 1 EV plus haut que dans la version standard. Tandis que les peaux dans l'ombre sont sensiblement au même niveau pour un contraste qui nous paraît similaire. On a donc un gain de contraste qui permet de gagner en chromaticité et en contraste coloré. Les peaux paraissent plus homogènes dans le sens où dans la version standard on a des délimitations plus franches entre deux teintes créant des micro cassures. L'Éclair Color permet de gagner une carnation rosée grâce à un gain dans le magenta qui va aider à l'homogénéisation de la peau.

Hormis pour les peaux, le film évoluant sur des ton moyens aussi bien sur la luminance que la chrominance, et une gradation plutôt douce, le HDR apporte peu. On peut noter le gain de coloration sur les hautes lumières, les fenêtres de l'hôpital prenant un bleu plus naturel dans la délimitation de l'intérieur et de l'extérieur. On remarque également que les effets jaune / orangé participant au "look du film" ont moins besoin d'être accentué en HDR et paraissent plus naturels. Ceci est à mon sens un point fort du HDR puisque les effets marqués prennent en naturel surtout avec une gradation douce où la teinte s'empare rapidement de toute l'image.

Il est à noter quelques apports dans la restitution des couleurs sur de teintes très pures comme sur le T-shirt orange fluo d'un spectateur qui est traduit en rouge en SDR et est correctement restitué en HDR. On peut également noter un gain dans certaines hautes lumières, des réflexions écrasés en Standard qui gagnent du détail en Éclair Color, et des ciels gris où des détails apparaissent dans les nuages.

Même pour un film avec une gradation douce et des tons moyens, il est à noter que l'Éclair Color offre un apport qui même s'il reste minime par rapport à ceux avec une gradation dure et une gamme tonale importante comme dans La La Land. L'amélioration de l'image est plus délicate et participe au gain de naturalité du film.

e) Hybrid Log Gamma – HDR

J'ai été amené à assister dans les locaux de Sony à Pinewood, à un essai montrant le HLG puis le PQ sur trois écrans différents. Un écran à 100 cd/m² étalonné en Rec709, un écran à 600 cd/m² étalonné en Rec.2020 optimisé pour le HLG, un écran à 1000 cd/m² étalonné en Rec.2020 optimisé pour le PQ. En Hybrid Log Gamma, on remarque que les différences en termes de colorimétrie sont énormes entre les écrans. Si le HLG envoie la même image qui écrête sur certains écrans, on remarque non pas que la clarté mais que la pureté des couleurs change complètement. Le rouge paraîtra très fade sur l'écran en Rec709, même visionné de manière isolée pour des questions de contraste simultané. De même on remarque que sur l'écran optimisé PQ, les couleurs sont trop pures et l'on ne retrouve pas la linéarité qu'on peut avoir avec la courbe PQ. L'écran optimisé HLG au contraire s'en sort plutôt bien, et est plutôt fidèle en termes de restitution aux intentions de base de l'étalonnage. Pour la courbe PQ, on remarque qu'on est plutôt raccord sur la colorimétrie entre les 3 supports, mis à part une dérive Cyan sur l'écran optimisé HLG qui est due à sa calibration. Les niveaux de luminance s'adaptent très bien les uns par rapport aux autres. Le signal y est optimisé en fonction des limites de chaque appareil. Le SDR ayant reçu à chaque fois un étalonnage particulier car répondant à une courbe Gamma.

Si l'on devait donc résumer les deux courbes, l'une a pour particularité de pouvoir afficher le même signal sur deux appareils simultanément mais a le défaut de ne pas être colorimétriquement fidèle sur tous ces appareils, principalement sur les hautes lumières. La courbe PQ en revanche n'est pas la même pour chaque appareil, le standard ayant une courbe à part. La courbe PQ arrive à mieux optimiser les luminances maximum de chaque appareil. En revanche la courbe PQ pour cela implémente des métadonnées qui ne la rendent pas compatible avec tous les appareils du marché. Pour définir l'utilisation des 2 courbes, la courbe HLG qui possède une seule courbe pour tous les téléviseurs mais qui n'a pas une reproduction homogène

des couleurs serait plus réservé pour la diffusion "Broadcast". Tandis que la courbe PQ serait plus réservé pour les films où la reproduction des couleurs et la nécessité d'avoir un niveau de luminance optimisé pour chaque appareil est essentielle. Le HLG ayant la particularité de ne transmettre qu'un seul signal pour tous les téléviseurs fait qu'il ne nécessite pas de nouvelles infrastructures réseau. Cependant l'implémentation du HLG dans le "Broadcast" pourrait entraîner en plus de son utilisation pour les émissions et le sport, une utilisation pour les films ou les séries de la part des diffuseurs. Or son rendu pour des contenus artistiques n'est actuellement pas suffisamment qualitatif pour être exploitable. Cependant l'arrivée de Netflix sur le marché de la diffusion en SVOD a provoqué une modification de la consommation du contenu. La télévision perdant peu à peu son statut de canal de diffusion prioritaire au profit d'un choix et d'un contenu plus individualisé. Or Netflix et Amazon, les deux principaux acteurs de la SVOD n'utilisent que le PQ pour leur contenu HDR. La SVOD n'utilisant pas de canaux de diffusion uniques, les fournisseurs peuvent envoyer indépendamment un flux HDR et un flux SDR et ainsi conserver une diffusion de qualité sans avantager ou désavantager certains spectateurs.

3^{ème} Partie : Le HDR dans la Pratique

I – Le HDR sur le Plateau et en Post-Prod

a) Le Matériel HDR

En plateau outre l'utilisation du Spotmètre qui est essentielle pour connaître parfaitement l'exposition de notre sujet, de nombreux outils se développent dans la visualisation du HDR sur le plateau. A commencer par l'outil principal pour le Directeur de la Photographie, le viseur de caméra. Panavision a sur la DXL installé un viseur OLED de 600 cd/m² qui permet au directeur de la photographie de voir l'entièreté de son sujet avec un gradient visuellement agréable. Ceci évitant d'avoir à basculer entre le Log et la LUT de visualisation.

De la même manière les caméras Sony de de la FS7 à la F65 ont dans leur logiciel la possibilité de montrer un signal linéaire à la visualisation qui va montrer soit la partie haute du signal pour vérifier les hautes lumières, soit la partie basse du signal de manière à vérifier les tons sombres et leur démarcation du niveau de bruit.

Il est possible de diffuser en HDR depuis les caméras. Le BVM X-300 de Sony acceptant la diffusion du HDR depuis un S-Log3 ou un S-Log2 de caméra qui lui est envoyé. De la même manière l'application d'une LUT Rec.2020 (courbe PQ) au Log de la caméra permet d'envoyer le signal à un moniteur HDR. De la même manière avec une station DIT comportant Daylight il est possible de rentrer un signal Log de Caméra et d'envoyer ensuite le signal encodé en PQ à un moniteur HDR de manière à le visualiser sur le plateau et d'apporter les modifications colorimétriques dessus. L'avantage du HDR par rapport à la 4K c'est qu'il n'y a pas d'augmentation du débit l'information qui est envoyée est la même, seul son codage change.

Comme autres solutions de visualisation il y a les moniteurs tels que le CineMonitor HD Evolution de Transvideo que j'ai pu tester durant le Micro-Salon et la journée professionnelle autour du HDR. Ce moniteur LCD permet non pas d'afficher une image HDR mais de linéariser le signal Log pour afficher une image standard. Avec cette image standard on va pouvoir se balader dans le signal, de manière à ne visualiser que ses informations dans les hautes ou les basses lumières sans tassement du signal. Le LCD a la particularité d'avoir un écran mat ce qui est pratique

en extérieur mais donne une image un peu plate. De plus l'idée de Transvideo de rendre tous ses menus accessible uniquement au moyen de la molette est dans la pratique compliquée à utiliser avec la fonctionnalité HDR. J'ai pu tester durant la préparation et le tournage de ma pratique de mémoire un moniteur / enregistreur Atomos Shogun prêté par Next Shot qui venait tout juste de recevoir une mise à jour HDR. Bien que ce soit un écran OLED, il n'avait pas avec son contraste la possibilité d'afficher sur le plateau une image HDR. Tout comme le moniteur de Transvideo, il a un outil qui permet de Linéariser le signal Log et de visualiser son image à un gradient convenable. Une fois le signal linéarisé, on peut de manière simple avec le tactile de l'écran déplacer notre dynamique sur l'intégralité de notre étendue utile allant de 100% pour les basses lumières à 3200% pour les hautes. La dalle de l'écran étant brillante, il était parfois difficile à lire en extérieur mais sa simplicité le rendait pratique. Il n'y avait qu'à faire glisser son doigt sur la partie droite de l'écran pour passer de la visualisation des hautes lumières à celle des basses lumières. Ainsi il était très aisé pour moi de voir si j'avais de l'information dans les hautes lumières et quelle était ma marge de manœuvre. Le tournage se déroulant en voiture je n'avais pas nécessairement la possibilité d'agir vite sur la lumière. Cela me permettait de rapidement vérifier mon signal et auquel cas communiquer une nouvelle valeur de diaph depuis la voiture suiveuse. Cependant il ne faut pas profiter d'avoir un écran de visualisation pour exposer au plus bas son image. A 100% sur l'écran, le bruit commence à se faire sentir dans la caméra et laisse peu de marge au moment de l'étalonnage.

b) L'Étalonnage en HDR

J'ai pu ensuite étalonner ma partie pratique de mémoire en Éclair Color et réaliser des tests d'étalonnage de ma partie pratique dans les locaux de Dolby à Londres. Que ce soit chez Technicolor, Éclair ou Dolby, tous étalonnent d'abord la version Standard qui sera diffusé dans les cinémas avant de faire la version en HDR. Commencer par la version HDR étant techniquement plus simple et qualitative car l'augmentation de la Dynamique permet d'être plus discriminant et de cibler une valeur précise. La plupart des étalonneurs reconnaissent qu'ils ont besoin d'intégrer moins de masques à leurs étalonnages. Il est en effet plus simple de partir du moins contraignant pour aller vers le plus contraignant. Cependant pour des questions psychologiques faire d'abord la version HDR très lumineuse, brillante et colorée rend difficile le passage à la version standard et une remise en question perpétuelle pour le

Réalisateur et le Directeur de la Photographie de l'image étalonnée. La plupart des Laboratoires préfèrent garder la version en HDR pour la fin comme une bonne surprise. Tant que le HDR n'est pas démocratisé il est difficile psychologiquement de s'habituer à quelque chose de très lumineux et de se dire que la plupart des spectateurs verront une version plus fade de votre travail. C'est ce qui s'est passé avec *Tout là-haut* où après 5 semaines d'étalonnage en Éclair Color repasser en Standard fut une véritable épreuve pour le réalisateur qui a remis en question une partie de l'étalonnage. Cependant certains réalisateurs comme Danny Boyle pour *Trainspotting 2* étalonné chez Dolby commencent par la version HDR car ils recherchent la meilleure version pour leur film quitte à délaissier la version Standard.

Lors de l'étalonnage de notre partie pratique de mémoire avec Émilie, nous avons commencé par l'étalonnage en Standard. Émilie étant plutôt sceptique du HDR n'ayant pas apprécié tous les étalonnages réalisés en Éclair Color qui lui avaient été présentés. Lors de la bascule du Standard vers l'Éclair Color, c'est contrairement à ce que je pouvais m'attendre, dans les nuits qu'on a gagné le plus de détails. Effectivement je pensais qu'on arriverait à récupérer à l'étalonnage du détail dans les ciels nuageux car bien qu'ils soient bien exposés, le flare de l'objectif a entraîné une perte de détail dans les hautes lumières et un aplatissement des détails sur le sujet. Bien que ces objectifs aillent dans le sens esthétique du film leur niveau de flare était parfois dérangeant pour l'étalonnage. L'Éclair Color a entraîné un gain au niveau de la carnation qui était beaucoup plus chaleureuse dans les séquences de nuit. Les personnages se détachaient beaucoup mieux de l'obscurité qui les englobait. Apportant un gain sur la brillance des mèches de cheveux qui en linéarisant dans les spéculaires redonnent de la brillance et du naturel au cheveu. Sur lui c'est la brillance du point dans les yeux qui ressort beaucoup plus et va redonner une intensité à la scène tout en décuplant l'émotion qui s'en dégage. Dans le film il y a une séquence de flashback à laquelle on avait donné une teinte orangée qu'on a baissé au moment du HDR. Quand on est en HDR, on a moins besoin de marquer la coloration de la scène de risque de perdre en naturel. Ce gain en naturel on l'a ensuite retrouvé dans la dernière séquence très solaire où un rayon de soleil vient pénétrer dans la voiture et redonner de la brillance et de la chaleur à la scène.

Je dois reconnaître que Karim El Katari qui a étalonné le film sous Firefly a fait un travail extraordinaire à l'image pour essayer de conserver ce côté naturel. Chose

que j'ai particulièrement remarqué lorsque j'ai étalonné quelques plans de mon film chez Dolby. On faisait ces tests d'étalonnage sous Baselight avec un "colorist junior" qui avait eu peu l'occasion de pratiquer l'étalonnage. On a fait l'étalonnage sur le moniteur montant à 4000 cd/m². Avec l'étalonnage chez Dolby, je retrouvais les niveaux de luminance et la coloration de l'étalonnage en Éclair Color. Les deux dispositifs paraissant plus ou moins équivalents en tout cas sur les images travaillées. Chez Dolby je ne retrouvais pas les brillances que j'avais appréciées dans l'Éclair Color. Non pas que le dispositif de Dolby n'arrive pas à les recréer, mais c'est le travail de l'étalonneur qui n'arrivait pas aller dans le sens naturel du film. Ce qui est à mon sens est plus lié à une différence culturelle quand ils m'ont montré un de leurs étalonnages où le film avait un contraste et une gradation forte car tourné en Afrique avec des explosions pour exploiter toute la dynamique. Ainsi leur culture de l'image les amenait à aller chercher plus une gradation forte avec des lumières très directives. Or là ils étaient face à un film plus dans le naturel, avec une gradation douce, une lumière très diffuse, ce que j'ai pour ironiser appelé le "french look". Un look qu'ils avaient du mal à traiter à l'étalonnage. Ils m'ont également montré que pour mon film ou le film américain se passant en Afrique on était plus autour des 600 cd/m² au maximum des blancs sur les 4000 cd/m² que propose le moniteur. Pour eux c'est avant tout pour garder une liberté de mouvement à l'étalonnage et pouvoir augmenter la luminance sur certains effets comme des explosions. Avoir un master à 4000 cd/m² leur permet ensuite de s'adapter à tous les autres supports aux luminances variables.

J'ai pu chez Éclair assister à l'étalonnage de *Tout là-haut* réalisé par Serge Hazanavicius et photographié par Rémy Chevrin en Éclair Color. Le choix du HDR s'est fait après le tournage lors d'essais qu'avaient fait Éclair sur quelques-uns de leurs rushs. Rémy trouvait le travail du HDR intéressant par rapport au sujet du film. Filmant la neige, l'augmentation de la dynamique à la projection s'adaptait à ce projet et permettait de préserver les hautes lumières. Grâce à l'Éclair Color il a pu retrouver les différentes textures de la neige qu'il avait au tournage et conserver ces textures lors du passage en Standard. L'une des choses à éviter pour lui lors de l'étalonnage en HDR c'est de se laisser embarquer par l'augmentation du contraste de projection qui donne envie d'apporter une gradation plus forte au film. C'est ce qui le rebutait avec le HDR, que tout ne soit qu'une question de contraste, de brillances et de saturation. Au final il a trouvé que l'expérience d'étalonnage en HDR était un outil qui était intéressant

pour redonner de la texture et de la finesse notamment au niveau des peaux. Que ce gain de détail pouvait être à double tranchant car accentuant des détails qu'en tant que Directeur de la Photographie, il essaye de cacher avec des trames ou des optiques douces. S'il avait su que le film allait être post-produit en HDR, il n'aurait à son sens pas travaillé différemment mais cette première expérience lui a permis de découvrir les leviers sur lesquels il pouvait jouer notamment sur le traitement de la peau dans les gros plans. Ceci entraînant dans le futur un dialogue plus particulier avec la maquilleuse pour qui le HDR change beaucoup de choses au niveau des peaux et des détails qui en ressortent.

Au tournage il n'y a donc pas de grandes différences avec la manière de travailler actuelle. Cela fait depuis l'époque de la pellicule et au niveau des caméras numériques depuis 7 ans et l'arrivée de l'ARRI Alexa qu'on est habitué à exposer pour des hauts contrastes. Il faut surtout bien exposer son sujet entre le bruit et la saturation du capteur en essayant de l'amener proche de la saturation du capteur pour bénéficier du maximum de quantification du signal. Le principal travail en HDR étant celui de l'étalonnage, où les étalonneurs se retrouvent avec un espace de travail plus large et de nouveaux outils à exploiter.

L'une des choses à faire attention en tant qu'opérateur à mon sens en HDR ce sont les contrastes colorés. Il faut particulièrement faire attention aux différences de température de couleur qui se remarquent plus. Il faut également faire attention aux différences de teintes sur la peau car ces dernières étant accentuées, les différences vertes et magenta vont être extrapolées ensuite. Lors de séquences d'explosion, il faut prévoir que la luminance du sujet au moment de l'explosion va augmenter et que pour avoir le maximum d'information pour jouer l'effet en étalonnage, il va falloir éviter de saturer le capteur. Le HDR permettant de voir des détails là où on en voyait pas auparavant, il faut faire attention aux découvertes qui bien que surexposées risquent de se voir. Dans ce cas précis il serait intéressant d'avoir les outils permettant soit de voir en HDR, soit de voir de manière linéaire que la partie haute du signal. Le HDR accentuant les différences de luminance, il accentue également l'effet de stroboscopie. Ceci apparaît principalement lors d'un panoramique où un élément sombre est au premier plan et un environnement fort lumineux se trouve derrière. Dans ce cas-là il est conseillé d'ouvrir son obturateur de manière à avoir un effet filé plutôt qu'un effet de saccade.

II – Amélioration du HDR

a) 1^{ère} Solution : Améliorer les filtres

Améliorer le filtre anti infra-rouge compris dans certaines caméras. Certaines caméras utilisent comme nous avons pu le constater en le passant dans un densitomètre, un filtre anti infra-rouge qui coupe sur des longueurs d'ondes du spectre visible. Il faut donc être regardant sur la provenance et la qualité des filtres utilisés.

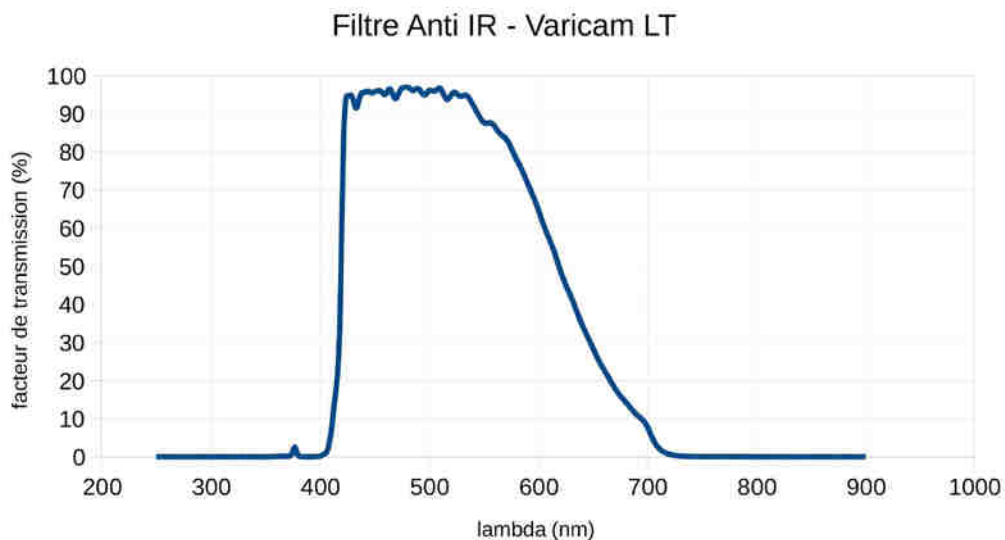


Fig.82 Filtre Anti Infra-Rouge passé au densitomètre (Source Labo Sensito ENS Louis Lumière)

b) Deuxième solution : Modifier les filtres chromatiques du capteur.

Aujourd'hui les caméras utilisent des filtres RVB car venant de la culture télévisuelle avec une matrice de bayer composée en carrés Vert/Bleu/Rouge/Vert.

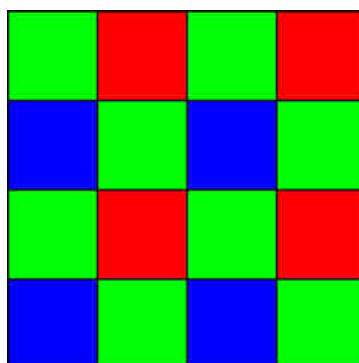


Fig.83 Matrice de Bayer

En effet si cette méthode était pratique pour la télévision car correspondant aux canaux rouge, vert et bleu d'un écran standard, elle ne l'est pas forcément pour le cinéma. Les 2 photosites verts qui composent chaque carré permettant de fournir une meilleure information lumineuse pour la transformation du signal RVB en signal Y Cr Cb. Ce que je propose c'est de passer à une matrice Cyan, Magenta, Jaune pour la captation ceci pour 2 raisons majeures. La première raison est la faible densité des colorants Cyan, Magenta, Jaune qui permet une transmission plus importante de la lumière. La seconde étant le spectre des couleurs capturé à la prise de vue. Comme nous avons pu le voir, en RVB, on a des pertes entre les valeurs RVB sur les complémentaires CMJ. Ici on capture pleinement les complémentaires CMJ tout en enregistrant au vu des spectres de transmission deux fois les informations RVB.

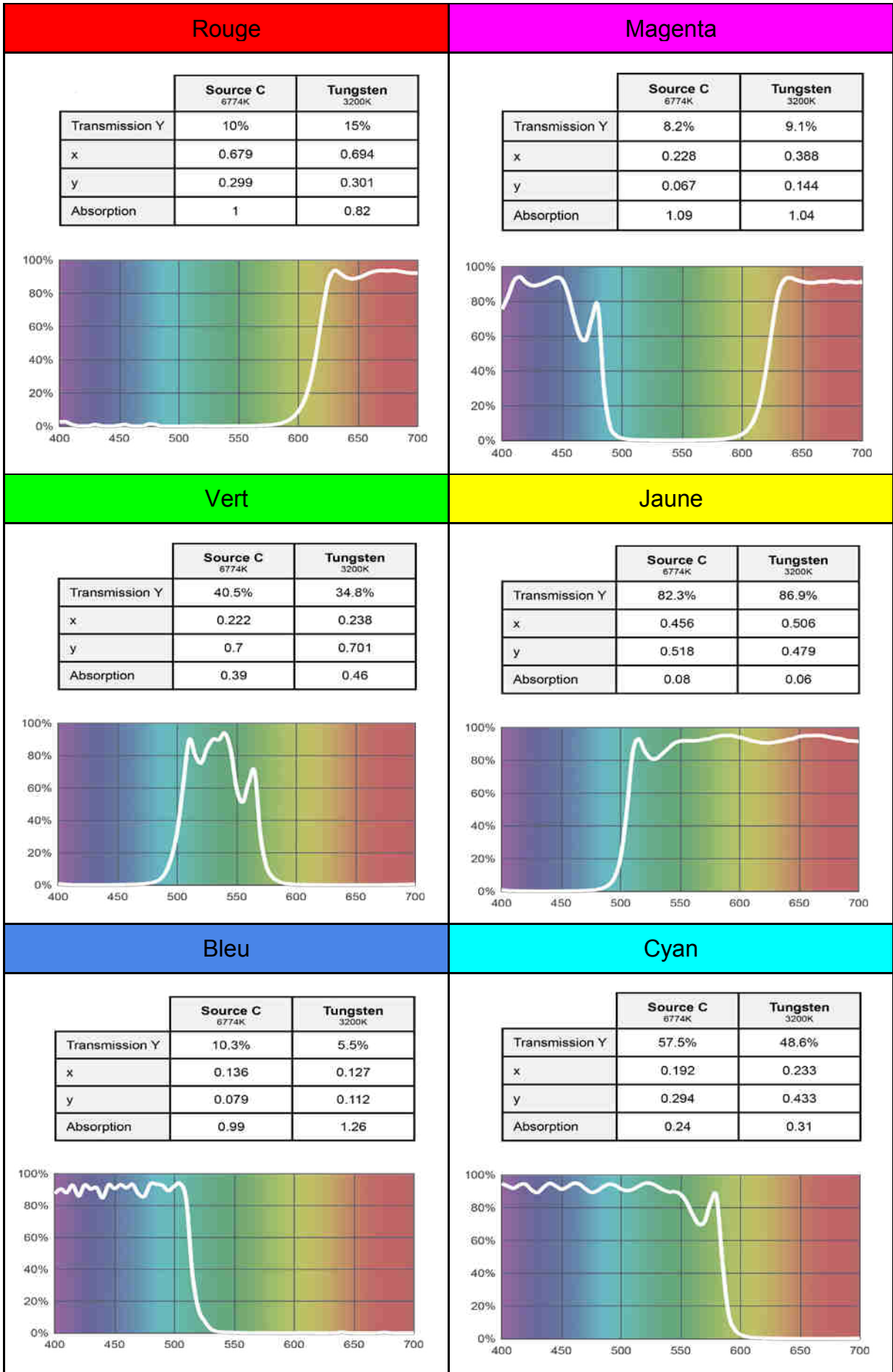


Fig.84 Filtres Dichroïques CMJ et RVB

Ainsi on obtient en se référant au catalogue LEE Filters les transmissions suivantes Cyan 48,6%, Magenta 9,1%, Jaune 86,9% contre actuellement Rouge 15%, Vert 34,8%, Bleu 5,5%. Ce qui nous donne au final une transmission 2,6 fois supérieure en CMJ à celle en RVB. Pour conforter mon point de vue, beaucoup d'étalonneurs utilisent des LUTs qui cherchent à convertir les informations captées par la caméra en RVB sur les secondaires CMJ afin d'obtenir une image qui se rapproche du positif pellicule. Car si sur le négatif pellicule on enregistre des informations en RVB, le positif est constitué de colorants CMJ. L'utilisation de ces LUTs ayant l'inconvénient de tordre le signal et de rajouter du gain dans certains canaux qui va nécessairement créer du bruit. Faire ça dès la prise de vue est donc un gage de préserver le signal, d'autant que passer du CMJ au RVB amènerait à diminuer le gain vu qu'on passe de couleurs plus lumineuses à des couleurs moins lumineuses.

Enregistrer une image en CMJ permettrait également d'améliorer le rendu des peaux (magenta et jaune), ainsi que des ciels (cyan). Ceci éviterait de tomber dans les travers apportés par le numérique notamment au niveau des verts qualifiés de "Verts vidéos" car trop saturés et tendant trop vers la primaire verte. Pour pouvoir visualiser notre capteur CMJ sur un écran RVB, on recréera nos couleurs comme suit :

$$2 R = (x \text{ Magenta} + y \text{ Jaune}) - z \text{ Cyan}$$

$$2 V = (y \text{ Jaune} + z \text{ Cyan}) - x \text{ Magenta}$$

$$2 B = (z \text{ Cyan} + x \text{ Magenta}) - y \text{ Jaune}$$

On remarque ainsi 2 choses, que les Rouge, Vert et Bleu sont 2 fois plus lumineux et qu'il faudra déterminer des valeurs x,y et z afin de pondérer chaque valeur des photosites couleur afin de créer les valeurs des canaux RVB pour que l'image soit visuellement satisfaisantes. Il est nécessaire de repasser en RVB car l'ensemble des moyens de diffusion sont actuellement en RVB.

c) Troisième solution : Diminuer le bruit.

Afin de diminuer le bruit il faut diminuer les traitements électroniques en sortie du capteur. Il faut donc avoir un capteur avec des photosites plus larges capables de capter plus de photons afin de réduire la pré-amplification analogique appliquée aux

photosites. J'ai donc pour cela pensé à une matrice de Bayer qui ne serait non pas sous forme de carrés, mais sous forme de losange. L'utilisation de cette matrice couplé à l'utilisation unique d'un groupe de 3 photosites Cyan, Magenta, Jaune contre un groupe de 4 photosites Vert, Bleu, Rouge, Vert actuellement permet un gain en information et en rendement.

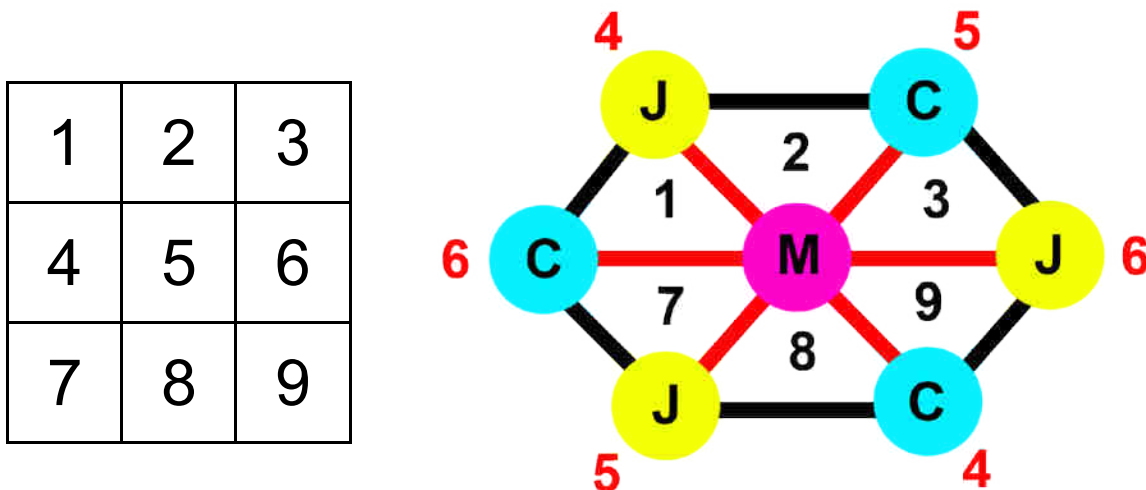


Fig.85 Matrice de 9 pixels

Comme on peut le voir sur le schéma ci-dessus, on crée à partir d'un groupe de 7 photosites, un groupe de 9 pixels. Pour rappel un pixel est la recombinaison de l'information fournie par 3 photosites couleurs pour donner un pixel balancé de l'information fournie par les 3 canaux RVB ou dans ce cas-là CMJ. Ainsi le rendement est amélioré par rapport à une matrice de Bayer actuelle. De plus on peut s'apercevoir que dans ce cas de figure, chaque pixel à une information colorée indépendante. Il n'y a donc pas de pixels créés par interpolation d'informations entre 2 photosites colorés. On a donc un meilleur rendement et des informations plus fiables pour chaque pixel créé. Si l'on améliore le rendement on peut donc agrandir la taille des photosites qui vont pouvoir capter plus de photosites à résolution égale.

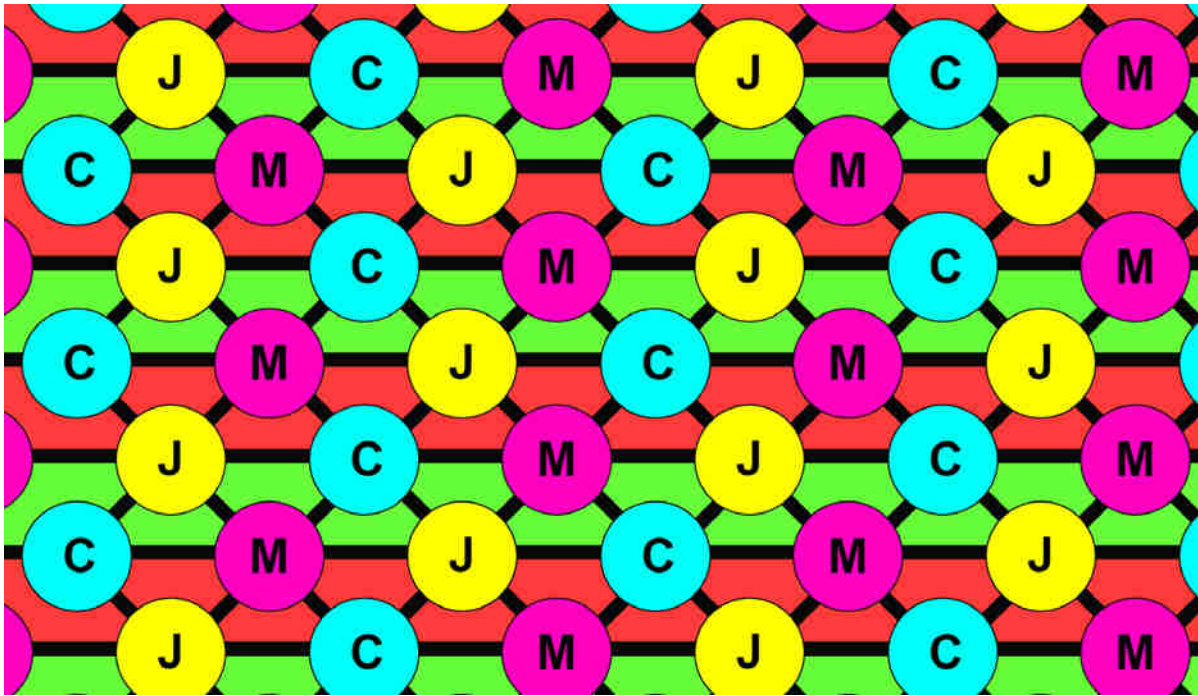


Fig.86 Matrice CMJ avec recombinaison par interligne

Ainsi comme on peut le voir sur le schéma ci-dessus. On peut facilement faire varier la résolution de l'image en fonction de la manière de débayeriser le capteur. On peut aller d'une recombinaison simple (1 photosite = 1 pixel) en prenant que la partie rectiligne c'est à dire les lignes horizontales noires sur le schéma, à une recombinaison double (1 photosite = 2 pixels) en ne prenant que les lignes triangulaires, c'est à dire les lignes vertes et rouges sur le schéma.

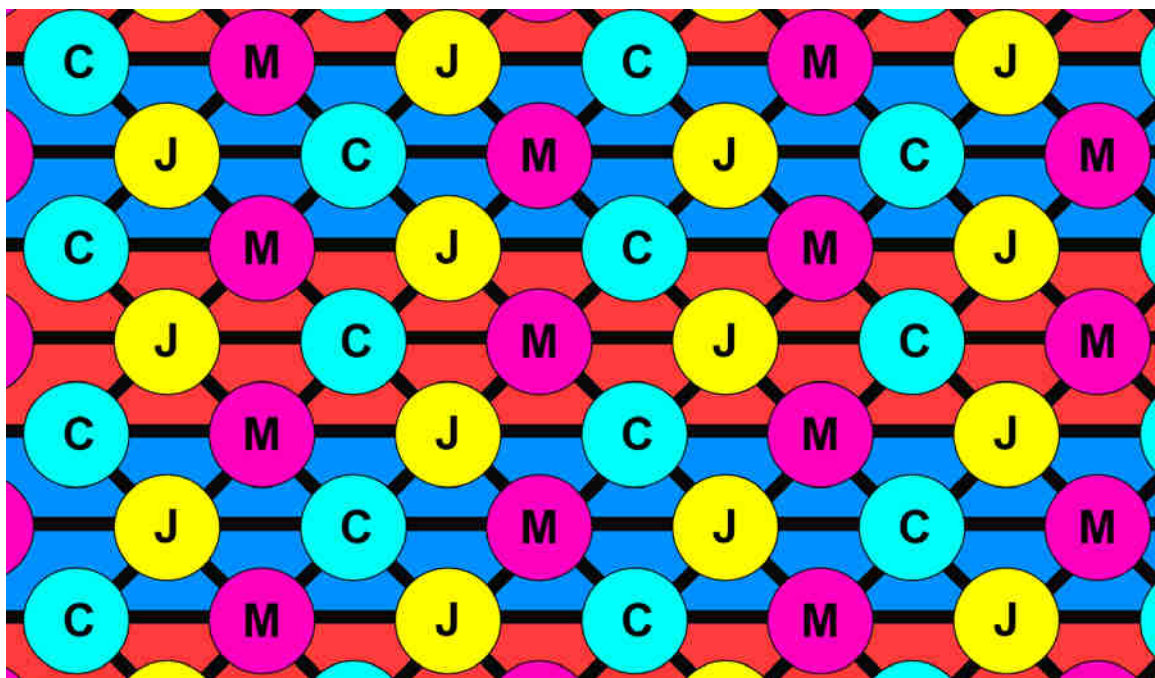


Fig.87 Matrice CMJ avec recombinaison double par ligne

Pour la débayerisation triple, où on utiliserait la débayerisation triangulaire et la débayerisation en ligne, on ne peut voir sur le schéma ci-dessus, qu'on ne peut prendre qu'une ligne de photosites sur 2 afin de ne pas réutiliser le même pixel. En regardant le schéma, si l'on prend pour un photosite donné issu de la ligne intermédiaire entre la bleu et la rouge, on s'aperçoit qu'en utilisant les combinaisons triangulaires environnantes on utilise la même information que le photosite situé dans la zone rouge ou bleue. La même information veut dire que le pixel utilise exactement les mêmes données issues des 3 photosites Cyan Magenta Jaune, ce qui va recréer un pixel identique et nous donner une information redondante. Cette information redondante ne peut bien évidemment pas être comptabilisée. Il faut donc utiliser les recombinaisons triangulaires issues uniquement des lignes bleues et des lignes rouges pour éviter ce problème.

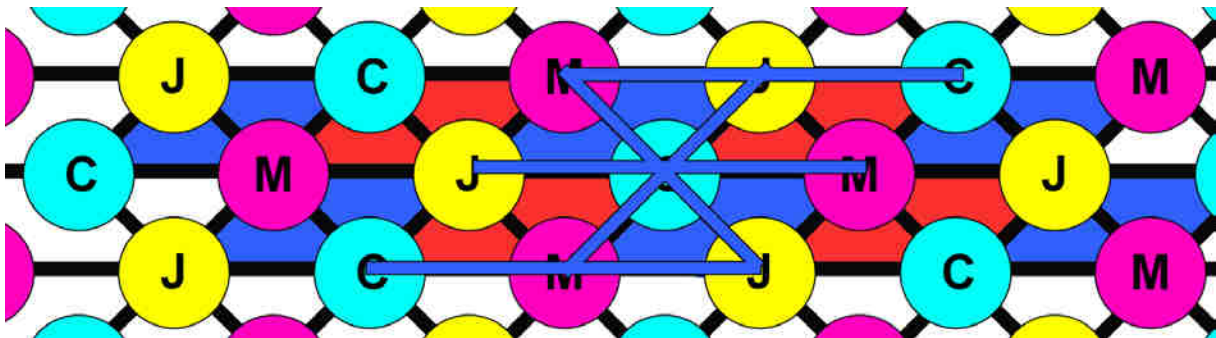


Fig.88 Matrice CMJ avec recombinaison maximale

Si on s'intéresse aux photosites situés sur une ligne, on peut voir sur le schéma ci-dessus que pour éviter de la même manière les informations redondantes, il est nécessaire de n'utiliser que 4 recombinaisons triangulaires par photosites. Cependant comme les informations rectilignes ne sont plus utilisées sur les interlignes car ne recombinaison qu'une ligne sur 2, on peut les utiliser afin de "comblé" la perte de pixel à cet endroit. Ce qui nous permet de retrouver notre recombinaison à 9 pixels vu plus haut.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Ici les pixels 3 et 7 sont remplacés par les informations rectilignes afin de préserver un groupe de 9 pixels par interligne. Ce qui nous donne une recombinaison triple avec une moyenne de 4,5 pixels par photosites.

On peut même envisager une débayerisation dynamique qui viserait à recréer le grain de la pellicule en faisant varier la débayerisation entre 2 images.

Ceci viserait à recréer l'effet du grain tel qu'a essayé de le faire Aaton avec la Penelope Delta qui a tenté de déplacer son capteur d'un demi-pixel de manière aléatoire. Le problème de la caméra fut que ce déplacement de capteur était trop compliqué à fabriquer et a entraîné la faillite de l'entreprise. Ceci permettrait de s'enlever les contraintes du déplacement physique du capteur tout en apportant une structure "organique" à l'image. De plus une débayerisation dynamique permettrait d'éviter les phénomènes de moiré car un pixel n'aurait techniquement pas la même place d'un plan sur l'autre. De plus l'effet pourrait se gérer non pas au moment du tournage, mais au moment de l'étalonnage ceci permettant de diminuer les traitements de débayerisation interne à la caméra pour ne les gérer qu'au laboratoire.

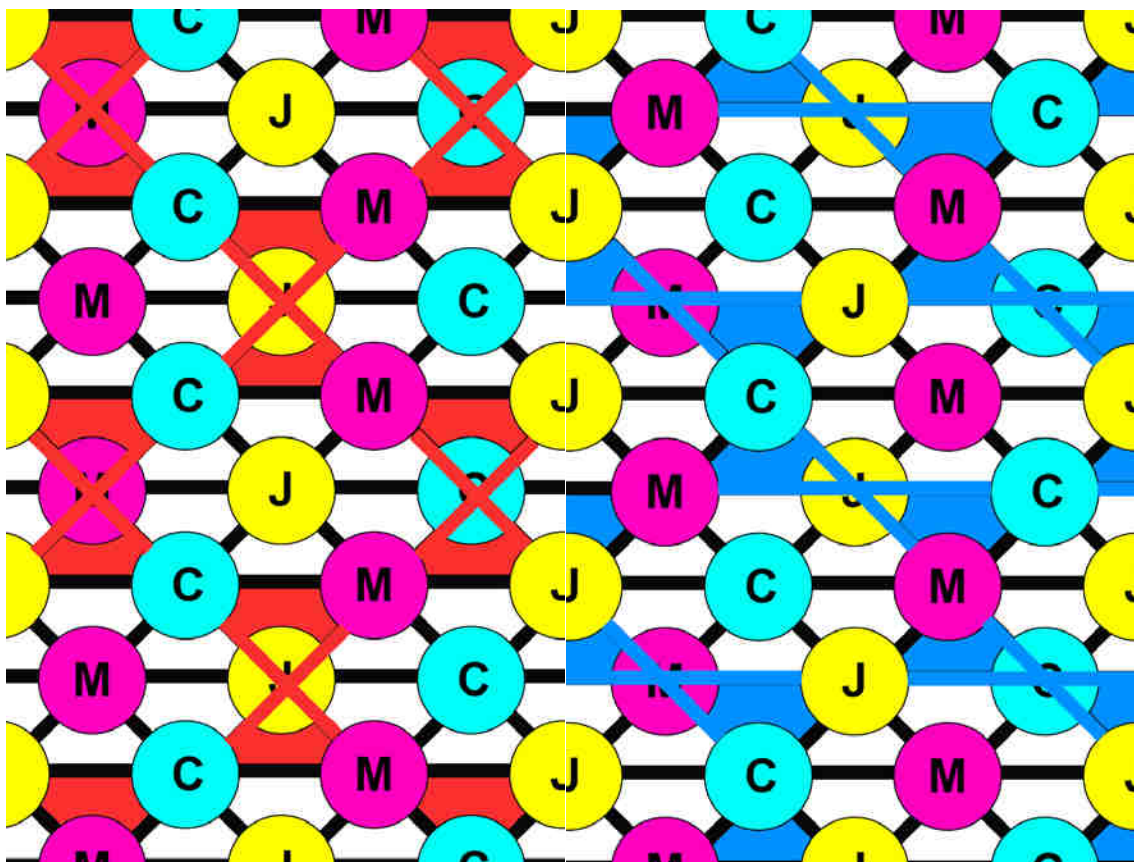


Fig.89 Matrice de recombinaison Dynamique Principe

Le but est donc d'avoir des recombinaisons qui puissent évoluer de manière dynamique donc changer de position dans le temps. Ainsi j'ai pensé à une combinaison au sein d'une même ligne ou l'un serait droit (combinaison rouge) et l'autre en diagonale (combinaison bleue). Pour chaque photosites il y a 4 pixels de créés basés sur 2 recombinaisons triangulaires et 2 recombinaisons rectilignes. 4 pixels de manière à conserver un carré, ici de base. Ce qui nous donne la matrice de recombposition suivante :

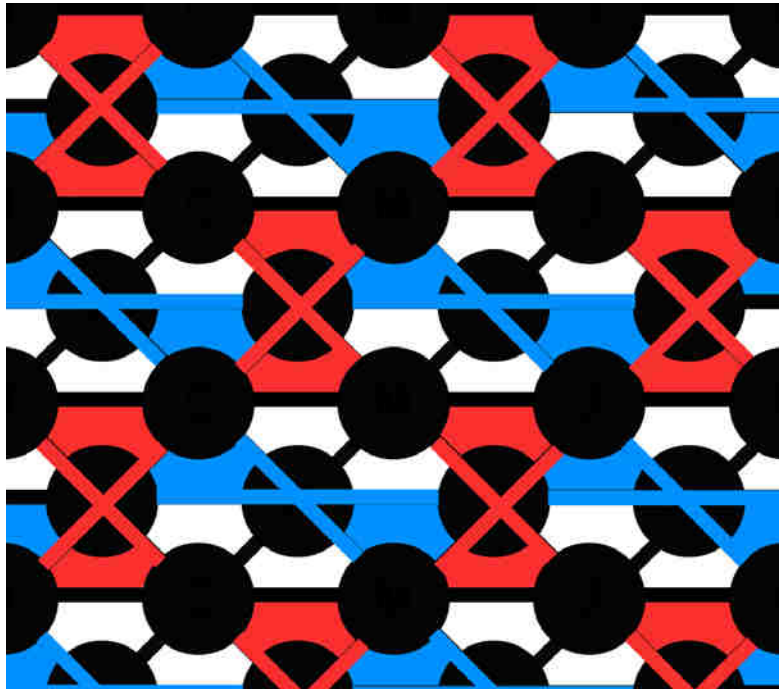


Fig.90 Matrice de recombinaison Dynamique partie 1

Cependant on remarque qu'avec cette matrice de recombposition dynamique on perd une grande partie de nos informations. C'est pour ça que j'ai imaginé la matrice de recombposition complémentaire à cette dernière où les pixels non recombinaés sont ci-dessous en orange et vert sur le même principe que les pixels bleu et rouge.

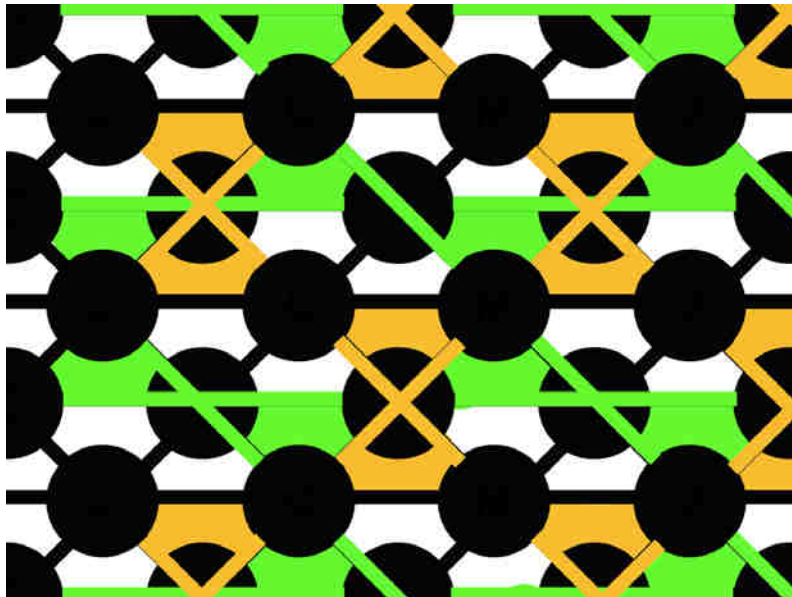


Fig.91 Matrice de recombinaison Dynamique partie 2

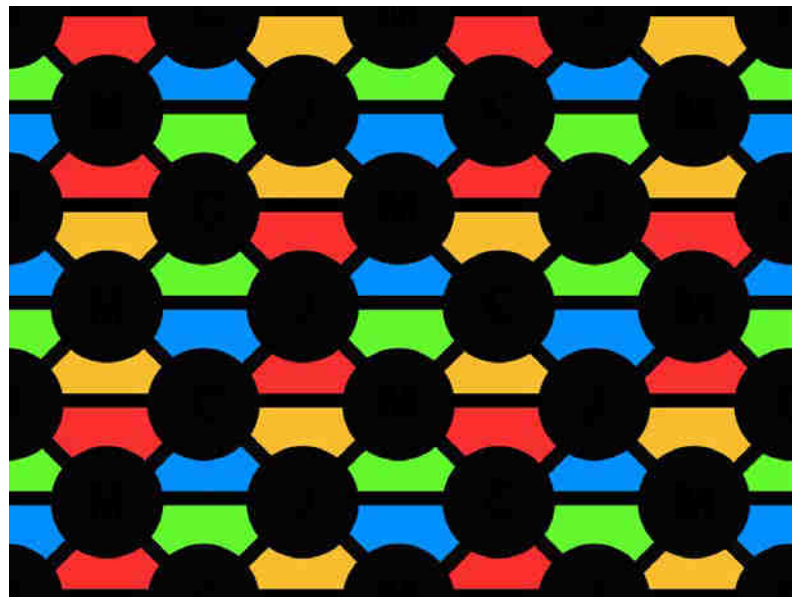


Fig.92 Matrice de recombinaison Dynamique complète

Ce qui nous donne une fois les 2 matrices recombinaison dynamique que l'on va pouvoir faire varier dans le temps. Car si on peut déjà s'apercevoir que les recombinaisons triangulaires de pixels ne vont pas être modifiées dans le temps, leurs positions dans l'image finale une fois recombinaison vont quant à elles changer en fonction des recombinaisons de pixel linéaires. On va ainsi pouvoir avoir 4 recombinaisons possibles dans le temps.

NB : Pour des raisons de lisibilité, la recombinaison ne se fait ici plus que sur une ligne située entre les 2 pixels triangulaires pour éviter les problèmes de chevauchements. Le groupe de 4 pixels rouge est par exemple composé de la manière suivante :

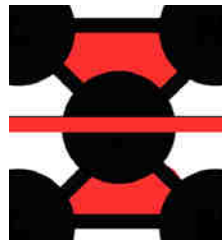
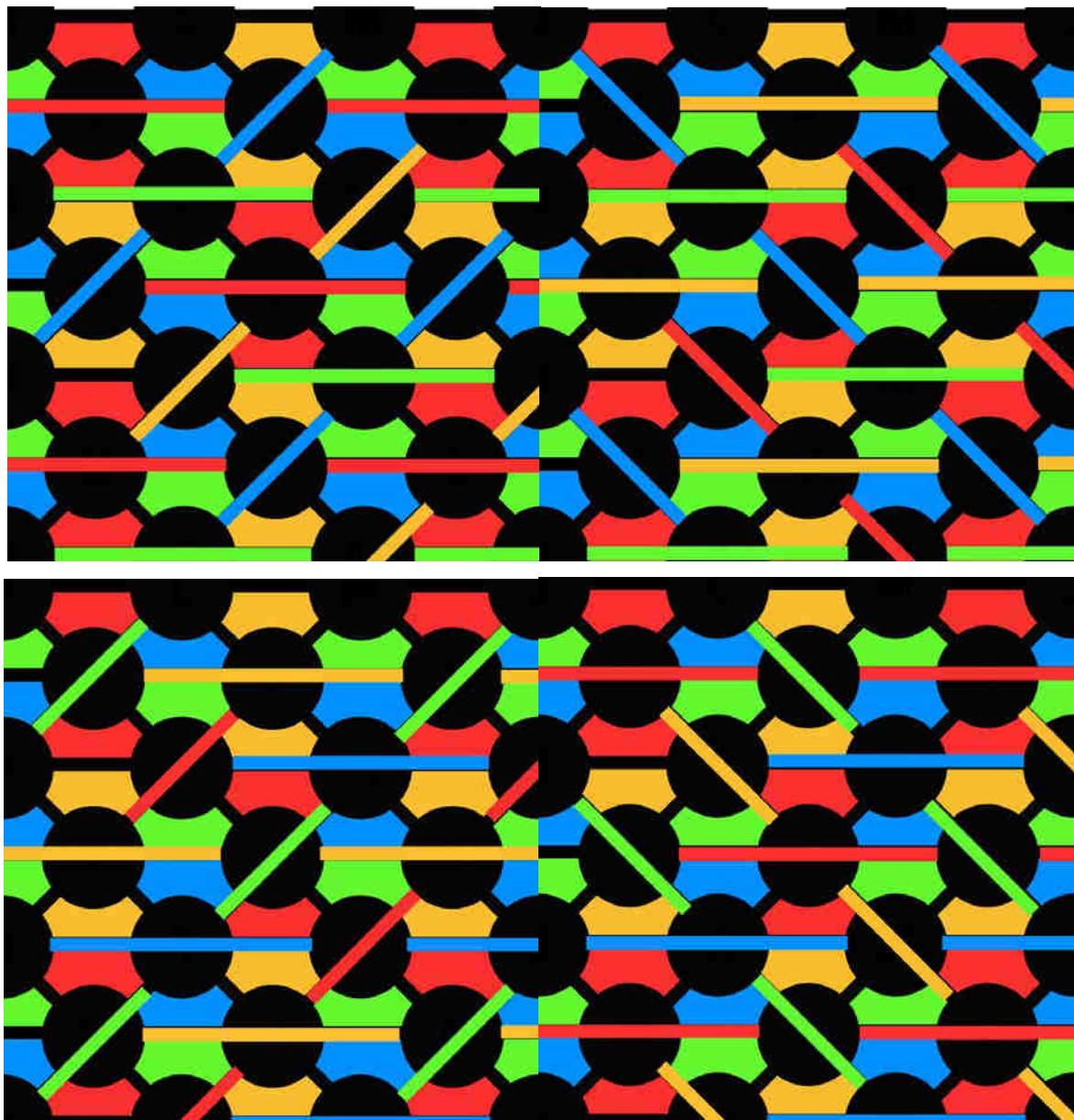


Fig.93 Recombinaison de pixel alternatif



Matrice de Recombinaison Dynamique							
Temps 1		Temps 2		Temps 3		Temps 4	
R	B	B	O	V	O	R	V
V	O	V	R	R	B	O	B

Fig.94 Recombinaison Dynamique 4 temps

d) Quatrième Solution : Améliorer la qualité du signal.

Outre la réduction du bruit, la meilleure solution pour améliorer la qualité du signal est d'améliorer sa quantification. On pourrait donc augmenter simplement la quantification mais ceci créerait des fichiers très lourds sans régler les inégalités entre les hautes et les basses lumières. Il faut donc homogénéiser les valeurs pour avoir une réponse photométrique et non plus linéaire. Le plus simple serait donc d'implémenter un Log de base 2 directement au niveau du photosite pour que les charges photoniques soient converties non plus en valeur numérique linéaire mais en valeur numérique logarithmique permettant de prendre en compte la perception visuelle.

Pour un capteur dont le signal analogique une fois numérisé est quantifié en 10 bits et qui sature à 1000 photons on obtiendra les informations suivantes. En linéaire à 500 photons, on utilisera la moitié des valeurs numériques. En logarithmique à 500 photons, on en utilisera 90% des Valeurs Numériques. Dans un cas, en baissant la lumière de 1 EV par rapport à la valeur de saturation on va perdre la moitié de nos informations, tandis que dans le second cas en baissant de 1 EV, on ne perd que 10% de nos informations.

Grâce à ça, on peut avoir un enregistrement du sujet équitable à toutes les luminances et diminuer l'incidence du bruit et des traitements électroniques dans les basses lumières.

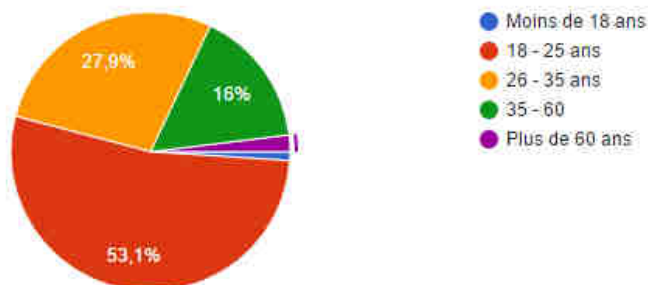
Toutes ces évolutions au niveau du capteur permettent de parfaire l'enregistrement du sujet en améliorant la sensibilité de la caméra en augmentant le rapport signal sur bruit dans les basses lumières, la reproduction des couleurs, la quantification, l'étendue utile, la suppression de l'effet de moirage.

III – État des Lieux de la projection

Dans le cadre de mon mémoire, la polémique lancée par Netflix à Cannes sur les films en compétition à Cannes qui ne seront pas diffusés au cinéma, m'a amené à m'interroger sur la situation actuelle du cinéma en France et son futur. Ce mémoire a pu montrer le retard qu'a pris l'industrie du cinéma sur celle de la télévision et de la SVOD. Le HDR avançant plus vite par le biais de Netflix que le cinéma avance dans sa remise aux normes m'oblige à me demander si le cinéma reste encore aujourd'hui le format de référence pour la distribution des films.

Quel âge avez-vous?

780 réponses



Travaillez-vous dans un domaine artistique ?

780 réponses

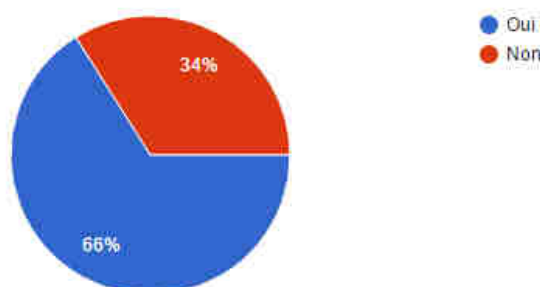


Fig.95

Ainsi si nous regardons le Sondage en annexe nous pouvons déjà voir que la majeure partie de mon panel de 780 personnes sont des jeunes entre 18 et 25 ans qui travaillent dans le domaine artistique.

Combien de fois allez-vous au cinéma?

780 réponses

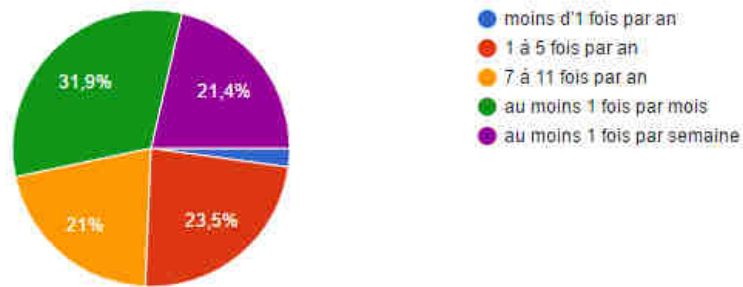


Fig.96

La répartition du nombre de fois où ils vont au cinéma est plutôt équilibrée.

Comment qualifieriez-vous la qualité des projections auxquels vous assistez en moyenne ?

780 réponses

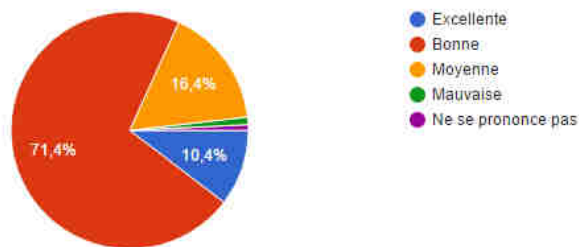


Fig.97

La première donnée était celle concernant les conditions de projection, au vu des mesures que j'avais faites en salle, j'attendais de savoir si mes perceptions étaient en relation avec le panel. Finalement c'est 80% des personnes interrogées qui trouvent que les conditions de projection au cinéma sont bonnes ou excellentes. Quand on sait que deux tiers des personnes travaillent dans le milieu artistique ça amène à se poser plusieurs questions. Quand on met ce chiffre en face de celui des salles qui ne respectent pas les normes de projection, on comprend pourquoi il y a une faible envie des distributeurs de maintenir leurs salles aux normes. Cependant pour des personnes travaillant dans un domaine artistique cela signifie que soient ils ne vont que dans des salles bien réglées, soient ils ne s'aperçoivent pas que la projection est de mauvaise qualité.

Considérez-vous que la qualité de visionnage des films est meilleure chez soi ou au cinéma ?

780 réponses

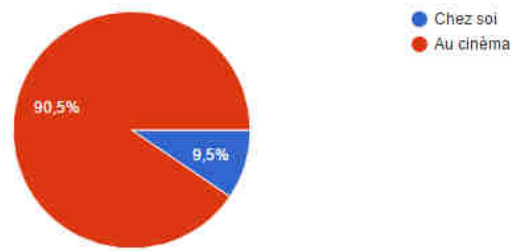


Fig.97

Cette question conforte un peu plus le choix du panel de considérer que les conditions de projection sont bonnes puisqu'ils les estiment meilleures que chez eux.

Seriez-vous prêt à payer plus cher pour une projection de meilleure qualité ?

780 réponses

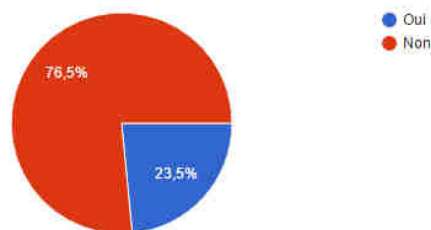


Fig.98

On peut donc comprendre que seulement $\frac{1}{4}$ des personnes interrogées seraient prêtes à payer plus cher pour une projection de meilleure qualité.

(Propositions de réponses à la question suivante)

Voir un film en exclusivité

Voir un film dans de bonnes conditions

Entendre un film dans de bonnes conditions

Sortir avec des amis

Voir un film en 3D

Manger du Pop-Corn

Partager les émotions avec d'autres spectateurs

Vous allez au cinéma pour

780 réponses

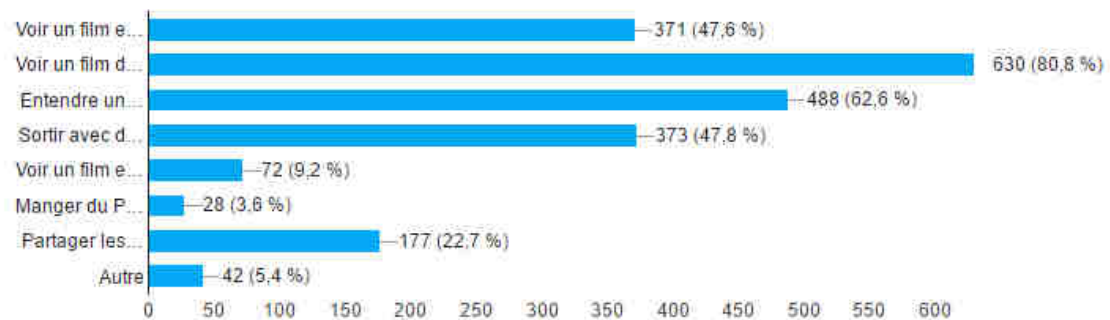


Fig.99

Par contre je fus surpris de voir que la qualité de projection était le critère principal du panel interrogé. Ce qui explique qu'ils trouvent les conditions de projection bonnes voire excellentes. Il est intéressant d'observer que les gens accordent autant d'importance à la qualité visuelle et auditive quand ils vont au cinéma. Le fait que l'exclusivité du film n'arrive qu'en 3^e position est tout de même surprenant surtout mis en relation avec les moyens de consommation actuels.

Si un film est disponible dès sa sortie en VOD ou SVOD (Netflix, Amazon) et au Cinéma. Où allez-vous le voir ?

780 réponses

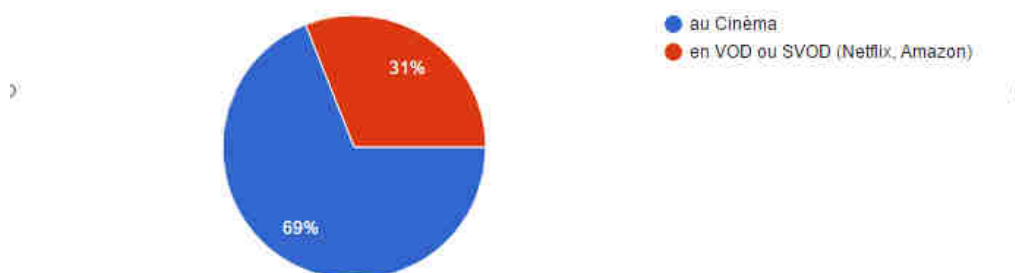
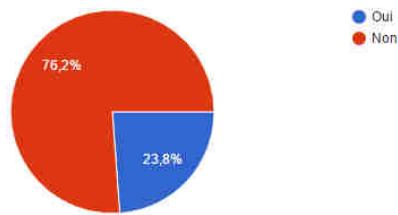


Fig.100

Ceci explique aussi pourquoi 60% des personnes interrogées seraient prêtes à aller voir un film produit et distribué par Netflix au cinéma plutôt que de le regarder chez eux. Pour cette question je me suis intéressé aux réponses du panel "non artistique" et là on tombe à 53% de personnes qui le regarderaient chez eux.

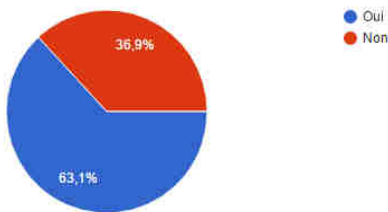
Une technologie comme 4DX où les sièges bougent, vibrent et où de l'air vous est envoyé au visage pour vous faire mieux ressentir l'action, vous inciterait-elle à aller au cinéma plus souvent?

780 réponses



Une technologie comme le Dolby Atmos qui améliore la qualité et la spatialisation du son vous inciterait-elle à aller au cinéma plus souvent?

780 réponses



Des technologies comme le Dolby Vision, l'IMAX ou l'Éclair Color qui améliorent la qualité de l'image vous inciteraient-elles à aller au cinéma plus souvent?

780 réponses

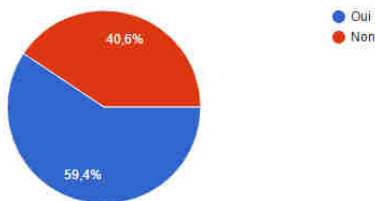


Fig.101

On peut remarquer qu'il y a une même appétence pour une projection de meilleure qualité au niveau de l'image que du son où 60 % seraient prêts à aller plus souvent au cinéma. Cependant le 4DX qui apparemment fonctionne plutôt bien au Pathé de La Villette avec des séances complètes ne plaît qu'à un quart du panel est-ce donc juste pour l'aspect novateur que les gens y vont ou cela ne convient-il juste pas au panel interrogé.



Fig.102

On remarque que dans la manière de consommer les films que l'ordinateur est plutôt majoritaire face à la télévision et au cinéma. Cependant si on équilibre la télévision avec le visionnage sur projecteur qui est de 7% on obtient une balance un peu moins défavorable. Un changement de dispositif de visualisation des films qui doit aussi changer la méthode de consommation. Ce qui interroge sur le futur des ventes en matière de téléviseurs et de consommation des programmes disponible à la télévision. J'aurais souhaité avoir un panel de personnes de moins de 18 ans pour voir s'il y avait une évolution de la consommation vers les tablettes ou les smartphones.

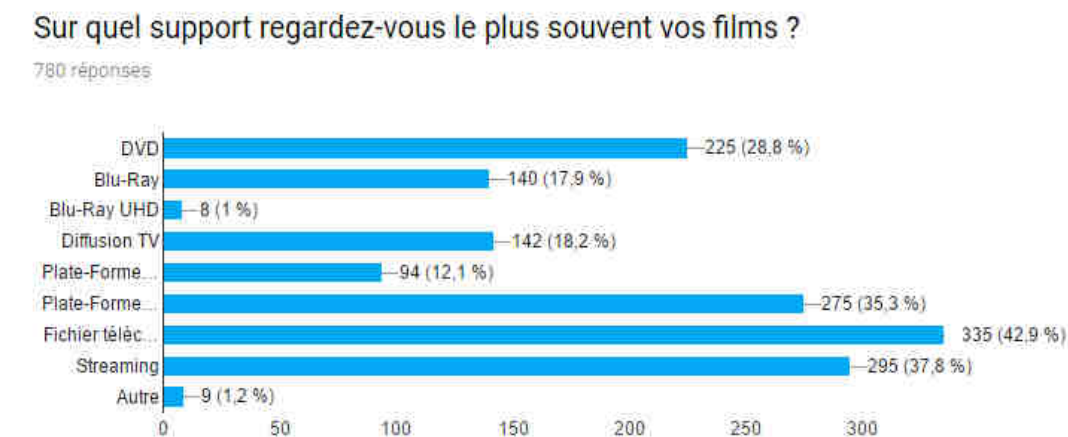


Fig.103

- DVD
- Blu-Ray
- Blu-Ray UHD
- Diffusion TV
- Plate-Forme de Téléchargement Légal VOD
- Plate-Forme de téléchargement par abonnement SVOD
- Fichiers Téléchargés illégalement
- Streaming
- Autre

Si l'on s'intéresse maintenant au support de visualisation des films on peut voir que même si les moyens de consommation des films illégaux sont encore très forts, avec le streaming et le téléchargement illégal. On peut cependant noter un fort attrait pour la SVOD. On aurait réalisé ce sondage il y a un an, je ne pense pas que Netflix aurait eu un suffrage aussi haut. Il y a donc à mon sens un mouvement vers la SVOD qui va vers la consommation mobile. Je reste surpris que le DVD et le Blu-Ray aient encore autant d'adepte. Le Blu-Ray car leur prix est tout de même excessif, et le DVD car c'est un support sur le déclin et peu qualitatif. On s'aperçoit que les plate-forme de vidéo à la demande sont très peu utilisés. Ce qui pose une question dans sa véritable utilité qui était sensé proposer une méthode alternative aux vidéo-club et endiguer le téléchargement. Plus de 10 ans après cette solution n'a pas eu les résultats escomptés. D'autant plus que comme me le faisait remarque Ian Lowe de Dolby, aujourd'hui on a des Blu-Ray Rip en téléchargement qui sont de bien meilleure qualité que ce qu'on peut avoir en DVD ou en VOD.

Pensez-vous que le Cinéma est aujourd'hui dépassé techniquement par la Télévision ?

780 réponses

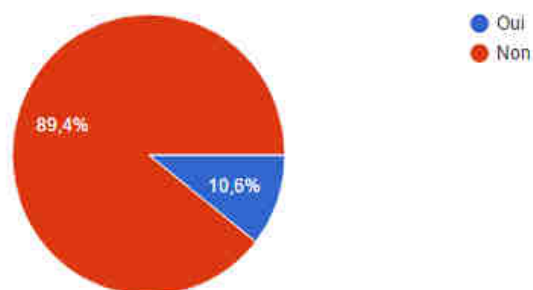


Fig.104

Quant à la dernière question 90% pensent encore que le cinéma est encore le format de référence. On s'aperçoit que les gens ont confiance en la qualité des projections cinématographiques. Malheureusement ce n'est pas tout à fait le cas. On peut donc considérer que c'est un dispositif qui n'est pas arrivé à maturité dans le sens où actuellement on ne propose la meilleure qualité de projection possible au spectateur. Pour le moment tant que les gens sont satisfaits des projections c'est vrai qu'il y a peu d'intérêt pour les exploitants à passer au HDR. Et pourtant entre le 4DX qui fait bouger les fauteuils, le Light Vibes de Philips qui met des ambiances lumineuses sur les murs de la salle, le Samsung Cinema Screen avec des panneaux

LED à la place de l'écran qui serait capable de fournir du HDR. Il y a en ce moment un besoin des constructeurs à innover notre expérience de la salle de cinéma parfois au détriment de la qualité de projection.

Cependant ces innovations technologiques sont souvent décriées. Le 4DX est plus vu comme une attraction que comme une véritable projection cinématographique. Le Light Vibes de Philips va à l'encontre de tout ce qu'on essaie de faire dans les salles actuellement avec les technologies HDR. En effet, on essaie de diminuer l'incidence des lumières pour conserver la salle la plus sombre possible et obtenir les noirs les plus profonds pour que finalement avec Philips on en mette pendant le film. D'autant plus qu'un des arguments contre le HDR c'est qu'on n'ait pas envie de voir son voisin dans une salle de cinéma ce qui est le sens que prend la technologie de Philips. Et Samsung certes apporte un dispositif novateur mais les LED émettent de la lumière sans beaucoup la diffuser ce qui ne va pas dans le sens des écrans diffusants de cinéma en termes de sensation. Il va également se proposer un problème de contenu car un si grand écran si peu diffusant va demander à produire du contenu au moins 8K pour ne pas voir les pixels dans les premiers rangs. L'autre élément à éviter sera la démarcation des dalles LED qui seront juxtaposées les unes aux autres. Et la principale question se pose avec le son où le son ne peut pas passer au travers des dalles et demande une réflexion sur sa diffusion. Puis finalement ceci revient à installer une télévision dans les cinémas...

Conclusion

S'il n'y avait qu'un seul mot à retenir du HDR (High Dynamic Range) ça serait le mot naturel. A mon sens c'est le mot qui résume le mieux cette technologie. L'aplatissement en standard des informations contenues dans les spéculaires aplatit l'image en elle-même et son relief. Redonner cette dynamique aux hautes lumières permet de faire exister ces spéculaires qui vont ajouter de la brillance et de la profondeur aux images. La profondeur venant également du gain dans les noirs, qui va améliorer les contours et les micro-contrastes lumineux sur les détails de la peau.

Pourquoi parler de naturel plutôt que de profondeur. Tout simplement parce qu'on tend vers une perception visuelle qui au niveau des textures, des brillances, de la transparence et de la teinte, se rapproche de la réalité. Des 5 classes d'apparence visuelle seul la forme n'est pas modifiée même si l'effet de profondeur participe à apporter du relief à l'image. Visuellement il y a donc un intérêt tout particulier apporté avec le HDR. Cependant on remarque que les films ont une image très codifiée et peu enclin à se révolutionner, avec une culture de la gradation très forte, des visages peu détaillés tendant à s'éloigner le plus possible de ce rendu naturel. Pour ce genre de film il y a la volonté d'aller vers une évolution de l'image sans se détacher de ce "look Hollywoodien" qui ne cherche pas à aller vers le naturel mais plus vers le spectaculaire.

C'est ce que Netflix a le mieux compris en développant principalement des documentaires en HDR. L'image documentaire a en effet la particularité de ne pas suivre les standards et chercher à aller vers l'image la plus naturelle possible. C'est pour ce type de films que le HDR marche le mieux car contrairement au film où l'on va chercher à éliminer de la texture et homogénéiser la peau par le maquillage, les objectifs et les filtres. En documentaire on va au contraire chercher à paraître le plus naturel possible donnant à l'image plus de textures, plus de teintes, plus de dynamique. Il n'y a qu'à voir la palette chromatique d'un film comparée à celle d'un documentaire pour voir qu'en termes de couleur et de luminosité, on est bien souvent plus lumineux et moins dans des codes couleurs issus du cinéma.



Fig.105 Gamme Chromatique du film Argo



Fig.106 Gamme Chromatique du film Orange Mécanique

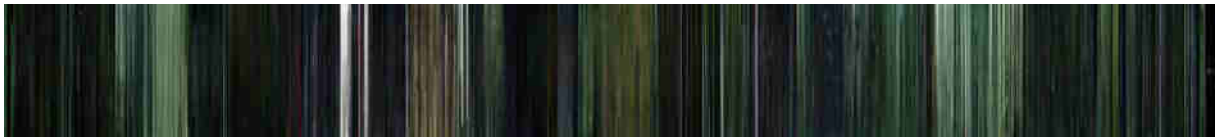


Fig.107 Gamme Chromatique du film Matrix



Fig.108 Gamme Chromatique du film Le Roi Lion



Fig.109 Gamme Chromatique du film Le Monde de Néo

On peut voir que les films ont une palette chromatique plutôt monotone et sombre comparé à celle des films d'animation. Les Documentaires je pense se situent entre les deux en terme de luminance et de chromaticité, n'ayant pu trouver de gammes tonales de films. Le film d'animation ayant une palette chromatique plus large, le problème risque d'être au niveau de la texture qui nécessite presque une modélisation 3D spécifique au HDR. Cependant pour avoir vu des tests en Éclair Color réalisé sur *Hotel Transylvanie* où un monstre translucide vert a un corps transparent. Le traitement de ce corps transparent, comme pouvait l'être celui de la méduse dans *Brice de Nice 3* est étonnamment bien traité en HDR. On a un effet de transparence là où il n'en existait pas auparavant et cela juste en repartant du DCDM.

Ce qui à chaque fois plait le plus aux opérateurs ce sont la restitution des basses lumières et le traitement des peaux en HDR. Grâce à cette technologie, on commence à ressentir la granularité, la carnation, la brillance et la transparence de la peau. Autant de choses sur lesquelles le Directeur de la Photographie habituellement se bat, et qu'ici il commence à apprécier. Le traitement de la peau au cinéma étant la priorité car la grande majorité des plans du cinéma montrent de la peau. Son traitement est donc primordial. Il est vrai que le HDR tend vers le rendu naturel de la peau et se heurte avec les codes et les dogmes du cinéma depuis de nombreuses années. Car si la haute définition avait apporté dans les classes d'apparence une amélioration sur la forme et la texture entraînant les opérateurs à filtrer et modifier la manière de maquiller. En touchant à nouveau à la texture, en tout cas plus qu'entre le 2K et le 4K, le HDR oblige à se poser des questions sur le nouveau traitement en terme de filtre ou de maquillage que cela va amener. Cependant en regardant les films tournés en pellicule et remis en numérique, on constate beaucoup plus de détails dans la peau ainsi qu'une gamme de couleur plus importante. On en vient donc à se demander si en Numérique, on n'ajoute pas des filtres diffusant plus pour lutter contre la correction de contour ajouté électroniquement en sortie de capteur que contre un piqué naturel du medium numérique.

Le HDR est en effet apparu avec le HFR (High Frame Rate) suite à l'échec de la 4K dans la vente de télévision. La 4K ne proposant pas suffisamment de différence avec le 2K pour susciter chez le consommateur un désir d'achat. Si le HDR commence à être accepté dans le cinéma, il l'est en revanche moins pour le HFR qui a un rendu qualifié de "vidéo". Le HFR ne modifie pas l'apparence visuelle mais la perception du mouvement devenant plus fluide. Pourtant le HFR permet de limiter l'effet de stroboscopie qu'on voit de manière plus marquée avec l'augmentation de la définition et du contraste. Il permet de réduire la perception du bruit dans l'image mais donne une fluidité qui rappelle la télévision cadencée à 50 images par seconde en entrelacé. Cependant si pour les raisons que nous avons vues le HDR peine pour le moment à entrer dans la chaîne de diffusion télé, le HFR semble mieux parti au vu de son gain en fluidité pour le mouvement. D'autant qu'au niveau du signal, même s'il faut doubler le débit en entrée, en sortie l'encodage optimisé en H265 fait que le débit est le même que pour un signal à 25 images par secondes. Tandis que pour les cinémas, le contenu le plus simple à développer reste le 4K. La plupart des Masters faits aujourd'hui étant

4K (hormis ceux tourné en Alexa), et les cinémas changeant peu à peu leurs projecteurs 2K pour des projecteurs 4K. Cependant pour la télévision il nécessite un débit 4 fois plus important.

Dans tout cet éventail de nouvelles technologies, le parent pauvre reste au final la couleur. La quantification des téléviseurs grand public étant en 8 bits. La norme HDR 10 a donc la volonté d'imposer une quantification en 10 bits pour la raison simple que lorsqu'on étire le signal en HDR, on a besoin d'une meilleure quantification dans les hautes lumières pour ne pas avoir de cassures dans les dégradés (mach banding), tandis que Dolby et son PQ fixe sa norme à 10 et 12 bits. Et si la quantification du Master est respectée, dans les canaux de diffusion il faut faire attention à l'échantillonnage ainsi qu'à la compression qui vont terriblement appauvrir le signal et créer des défaut plus marqués en HDR. Le point d'amélioration principal sera dans la restitution d'un HDR qualitatif et moral. Du point de vue qualitatif, je parle d'un HDR qui ne va pas à cause d'une compression et d'un encodage trop destructeur détériorer l'image finale. D'un point de vue moral je parle d'un HDR qui ne soit pas dans la démonstration en proposant des images trop lumineuses fortement inconfortables pour le spectateur et qui ne respecterait pas les choix artistiques établis. Je pense notamment aux publicités qui offrent des images très lumineuses et qui sans limitations dans le HDR risqueraient de fortement éblouir les spectateurs en envoyant par exemple, une publicité très lumineuse au milieu d'un film très sombre.

Il y a donc des limites de diffusion à fixer au HDR, tout comme il y a des limites à fixer à l'étalonnage entre une séquence très sombre et une séquence inter-images. L'éblouissement étant non pas dangereux, mais fortement inconfortable pour le spectateur, il y a de fortes chances pour qu'un étalonnage trop extrême et non morale, puisse être rebutant pour le spectateur et le détourne de ces technologies. Il y a donc une éthique du HDR à créer.

Filmographie

Aquarius de Kleber Mendonça Filho

Directeur de la Photographie : Pedro Sotero et Fabricio Tadeu

Brice de Nice 3 de James Huth

Directeur de la Photographie : Stéphane Le Parc

Chacun sa vie de Claude Lellouche

Directeur de la Photographie : Robert Alazraki

Dalida de Lisa Azuelos

Directeur de la Photographie : Antoine Sanier

Hôtel Transilvanie de Genndy Tartakovsky

La La Land de Damien Chazelle

Directeur de la Photographie : Linus Sandgren

L'Odysée de Jérôme Salle

Directeur de la Photographie : Mathias Boucard

Tout là-haut de Serge Hazanavicius

Directeur de la Photographie : Rémy Chevrin

Bibliographie

Ouvrages

ALLEYSSON David, 30 years of demosaicing, 2005

BELLAICHE Philippe, Les Secrets de l'image vidéo, Paris, Eyrolles, 2009.

CHEVREUL Michel-Eugène, De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des objets colorés, 1839

DEBEVEC Paul, MALIK Jitendra, Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs, 1997

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

JONES Loyd, Psychophysics and Photography, Journal of the Optical Society of America, Février 1944

KIM Min Hyuk, High-Fidelity Colour Reproduction for High-Dynamic-Range Imaging, University College London, 2010

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

ZUPPIROLI Libero, BUSSAC Marie-Noëlle, Le Traité des couleurs, presses polytechniques et universitaires romandes, 2011

Normes

AFNOR 27 001 et 27 100

Recommandation ITU-R BT.709-6

Recommandation ITU-R BT.1886

Recommandation ITU-R BT.2020

Recommandation ITU-R BT.2100

Recommandation ITU-R BT.2384

ISO 26-431

ISO 2910

Mémoires

LE BARH Laurène - Les hautes lumières en cinéma numérique, 2014

LENORMAND Charlie - Du grain au bruit vers une sensitométrie numérique appliquée, 2006

École Nationale Supérieure Louis Lumière

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

01 84 67 00 01

www.ens-louis-lumiere.fr

Partie Pratique de Mémoire de Master

Spécialité Cinéma, Promotion 2014–2017

Soutenance de Juin 2017

ALLERS SIMPLES

Quentin Bourdin

Cette PPM fait partie du Mémoire intitulé :

Le HDR (High Dynamic Range)

de la prise de vue à la diffusion

Directeur de Mémoire Interne : Jacques Pigeon

Directeur de Mémoire Externe : Thierry Beaumel

Sommaire

Partie Pratique de Mémoire de Master	Erreur ! Signet non défini.
Sommaire	Erreur ! Signet non défini.
CV	Erreur ! Signet non défini.
Note d'Intention.....	Erreur ! Signet non défini.
Synopsis	Erreur ! Signet non défini.
Liste Matériel	Erreur ! Signet non défini.
Matériel Caméra.....	Erreur ! Signet non défini.
Matériel Lumière.....	Erreur ! Signet non défini.
Matériel Machinerie	Erreur ! Signet non défini.
Choix du Matériel.....	Erreur ! Signet non défini.
Plan de Travail du Tournage	Erreur ! Signet non défini.
Plan de Travail de Post-Production	Erreur ! Signet non défini.
Équipe Technique.....	Erreur ! Signet non défini.
Synthèse.....	Erreur ! Signet non défini.

CV



Quentin Bourdin

Né le 27/11/1992 (24 ans)
16 avenue Augustine - 92250 La Garenne-Colombes
Habilitation Electrique (BR)
Titulaire du permis B
+33 (0)6 59 60 49 82
qbourdin@gmail.com

Recherche un poste en qualité d'Assistant Caméra, DIT ou Directeur de la Photographie

FILMOGRAPHIE

DIRECTEUR DE LA PHOTO

2017 ALLERS SIMPLES - Émilie Fretay
Fiction, 18min, SONY F55
Éclair Color, Dolby Vision

2016 PANIQUE SANGUINE - Louis Privat
Fiction, 13min, ARRI Alexa

2016 LEO - Glen Dagnault
Fiction, 18min, ARRI Alexa

2015 AD VITAM - Ariane Luçon
Fiction, 5min, Sony F3

ASSISTANT CAMERA

2017 UPSIDE DOWN REVOLUTION - Florent Medina
Assistant Caméra
Experimental, 3D 10min, ARRI Alexa, Phantom HD Gold, BlackMagic 4K

2015 LES GRANDS ENSEMBLES - Romain Rampillon
Fiction, 12min, ARRI Alexa

2015 GREAT FILTHY SNUFF APOCALYPSE - Athalia Altmann
Fiction, 10min, ARRI Alexa

2015 GREAT FILTHY SNUFF APOCALYPSE - Athalia Altmann
Fiction, 10min, ARRI Alexa

ETLAONNEUR

2017 SEULS - Lucas Plançon
Fiction, 9min, ARRI Amira

2017 UPSIDE DOWN REVOLUTION - Florent Médina
Fiction Expérimentale, 17min, 3D ARRI Alexa, Phntam, Black Magic

2017 JUIN JUILLET - Emma Semeria
Fiction, 16min, BlackMagic URSA

2016 A VIF - Félicien Pinot
Fiction, 10min, Sony Alpha 7S

2016 SALAMBO - Réda Ait
Fiction, 15min, Sony F55

ELECTRO

2016 ENTRACTE - Carl Demaille
Fiction, 13min, Alexa

MACHINISTE

2015 UN CLOWN - Aurélia Raoull
Fiction, 10min, ARRI Alexa



EXPERIENCES PROFESSIONNELLES

2017 (1 mois) Consultant Dolby Vision- DOLBY - Paris

- Explication du Dolby Vision auprès de partenaires et clients
- Gestion et mise en place des démonstrations du Dolby Vision

2014 (3 mois) Cadreur - HL PRODUCTION - Paris

- Réalisation de Vidéos pour l'émission *La Maison France 5*
- Prise de Vue des chantiers de la rubrique «Changer»

2013 (3 mois) Réalisateur / Cadreur - MASTER-TASTE - Paris

- Réalisation de 10 émissions dans 6 Pays
- Cadrage à 3 Caméras dans les conditions du Direct
- Veille Matérielle
- Montage à 3 caméras sur Adobe Premiere Pro

2012 (10 mois) Réalisateur / Monteur - CAMPUS-CHANNEL - Clichy La Garenne

- Réalisation de 150 Emissions en Direct via Trickster
- Elaboration de la mise en place technique du plateau
- Montage des titres sur Adobe Premiere Pro

2010 (6 ans) Animateur en Centre de Vacances - MAIRIE de La Garenne-Colombes (92)



FORMATIONS

2014 à 2017 - ENS Louis Lumière - Saint-Denis

Master de Cinéma

Mémoire sur le HDR de la prise de vue à la projection

2010 à 2014 - Université Paris VIII - Saint-Denis

Master de Création et Réalisation Cinématographique

Mémoire sur le Burlesque Dépressif dans le cinéma de Wes Anderson



LANGUES

- Anglais : courant
- Espagnol : intermédiaire



HOBBIES

- Escrime
- Le Cinéma Burlesque
- Ukulélé / Guitare
- Voyages Itinérants



LOGICIELS

- Prelight et Daylight
- DaVinci Resolve
- MIST / RAIN
- AVID
- Adobe Premiere Pro
- Final Cut Pro
- After Effect
- Photoshop

Note d'Intention

Après avoir réalisé des mesures au spotmètre pour établir à quel moment la dynamique sujet était la plus importante. Il m'est très vite apparu important que pour obtenir une fort contraste sujet, il était nécessaire de se retrouver dans deux environnements lumineux différents. Or pour faire une partie pratique de mémoire portant sur le HDR il était nécessaire que je me retrouve dans cette situation où j'avais deux ambiances différentes de manière à avoir une dynamique sujet importante et optimiser l'étendue utile de mon capteur. Bien évidemment je ne voulais pas faire des prises de vue HDR détachées d'un sujet comme on peut le voir dans les nombreuses vidéos de présentation des constructeurs. Mon but étant de savoir au moyen de la pratique de mémoire comment le HDR pouvait s'intégrer à des contraintes artistiques.

Le mémoire d'Émilie Fretoy portant sur la voiture comme espace intime, avec des séquences de jour et de nuit, m'a paru intéressant à plusieurs niveaux. La voiture est un endroit intime dans le sens qu'il nous coupe du monde et qu'il permet de faire coexister au sein d'un même plan intérieur et extérieur. Car bien qu'étant situé à l'intérieur on est toujours au contact de l'extérieur. Une différence qu'il m'a paru intéressant de traiter grâce au HDR de par son contraste lumineux et émotionnel. Un scénario qui m'a également plu de par son écriture qui à la lecture a réussi à me transporter dans mes anciennes disputes de couple. J'ai donc au niveau de la lumière tenté d'aller dans ce sens de l'intime en apportant une lumière très diffuse notamment grâce à l'utilisation du dépron que ce soit en réflexion ou en diffusion. Contrairement à ce que j'avais l'habitude de faire auparavant, j'ai ici peu éclairé, préférant jouer sur des touches de lumière afin de jouer sur la douceur, la rondeur et la chaleur des visages qui se détachent de cette nuit.

Pour le jour au contraire on a laissé jouer la brillance des fenêtres et la diffusion des optiques qui avaient un taux de flare important. Ce qui apportait une douceur à l'image et aux visages. J'ai préservé les hautes lumières, dans ma manière d'exposer, mais le taux de flare des optiques fait que ces informations manquaient de contraste pour pouvoir être récupérées à l'étalonnage.

Synopsis

Partie 1

Un couple de jeunes parents, PIERRE et LUCIE rentrent d'un dîner. Arrivés chez eux, PIERRE s'occupe des enfants qu'il va coucher. LUCIE reste immobile à l'intérieur de la voiture garée. Voyant que celle-ci semble pensive PIERRE s'installe de nouveau au volant. LUCIE lui fait part du doute qui s'est immiscé en elle au cours de la soirée. Après avoir observé les couples présents elle se demande ce qu'est devenu le leur avec le temps.

Partie 2

Lors d'un trajet en covoiturage, MARION une jeune serveuse aspirante chanteuse apprend à connaître le couple qui la conduit : PASCAL et YVES. En cours de route, le passé de PASCAL refait surface. La présence de MARION lui fait ressentir le besoin de se confier et il lui apprend qu'il a une fille du même âge qu'elle. Une fille qu'il ne voit plus depuis son divorce avec la femme qu'il avait dans une vie antérieure.

Liste Matériel

Matériel Caméra

Prêt Sony

1	Sony PMW-F55
1	Lecteur de Carte AXS-CR1
1	EVF DVF-L350
2	Batterie Olivine BP-FL75
1	Chargeur de Batterie BC-L90
1	Accessoire d'épaule en tiges de 15 VCT-FSA5
1	Low-Pass Filter CBK-55F2K
1	Adaptateur B4 à PL FZ LA-FZB1
1	Carte Mémoire 512 Go AXS-A512S48
1	Enregistreur Portable 4K pour F55 AXS-R7/NSS

Prêt Next Shot

1	Emetteur HF Teradek Bolt 600
2	Récepteurs HF Teradek Bolt 600
1	Follow HF ARRI LCS 1 voie SXU-1
1	Contrôleur de moteur UMC-3A
1	Série de filtres Classic Soft HD 4 x 5,6 (1/8 à 1)
1	ATOMOS Shogun 4K HDR

Prêt École

1	Série Optiques Zeiss Kodak (24, 32, 40, 50, 85, 100mm)
2	Tiges 15
1	Matte-Box Chroziel 2 tiroirs
1	Follow Focus Chroziel

1	Starlite
1	Transvideo
3	BNC Courts
3	BNC Long
8	Batteries V-Lock + Chargeur
1	Disque Dur 1To LaCie
1	Série de Filtres 4 x 5,6 ND (3, 6, 9, IR 9)
1	Housse de pluie
1	Matebox pour miroir
1	Miroir Optique
2	Câbles XLR 4 Broches vers Anton Bauer

Matériel Lumière

1	SL1 + Alim Batterie
2	Mini-LED Panel + Batteries
1	HMI 800 Par
1	HMI 400 Par
1	Fresnel 1kW
2	Fresnel 500w
1	Petit Groupe Electrogène
2	Borniols
4	Taps
5	Pieds de 1000
5	Pieds U-126
4	Bases Bras magique
8	Rotules
4	Bras Magiques
2	Petit Déport Drapeau
4	Clamps
8	Elingues
1	Poly
1	Porte-poly
1	Lastolite
1	Cucoloris
4	Déprons
2	Enrouleurs 16A
8	Prolongs 16A
2	Cadres de Diffusion (216 et 250) 1x1m
1 set	Gélatines (CTB, CTO, 252, 251, 250, 216, Light Amber)
3	Drapeaux
2	Régllette

Matériel Machinerie

1	Tête Fluide
1	Petites Branches
1	Grandes Branches
1	Poignées Bleues
1	Petit Plateau de Travelling
4	2 mètres de Travelling
5	Sangles à cliquet
8	Gueuses
1	Cube de 20
2	Cubes de 10
2	Cubes de 5
2	Cubes 15x20x30
1	Sac de Sable Panavision
10	Pinces Stanley
2	Colliers
1	Collier Double
3	Barres 2,5 m
1	Bouée
1	Clap
1	Tête Fluide
1	Petites Branches
1	Grandes Branches
1	Poignées Bleues
1	Petit Plateau de Travelling
4	2 mètres de Travelling
5	Sangles à cliquet
8	Gueuses
4	Gaffer (Noir 50mm, Blanc 25mm, couleur)
1	Permacel
1	Bombe à Mater
1	WD 40

Choix du Matériel

Afin de faire du HDR, je recherchais une caméra qui puisse être compacte et enregistrer en RAW. Mon choix s'est donc posé entre plusieurs caméras. La Varicam LT, le Canon C700, l'ARRI Alexa Mini et la Sony F55. Mon choix s'est finalement porté sur la Sony F55 pour laquelle j'avais eu la possibilité d'étalonner des images qui m'avaient agréablement surpris par leur qualité de rendu. L'encodage RAW très qualitatif fut également un point de décision important hors l'enregistrement en 16 bits linéaires de la Sony fut un choix là aussi déterminant. Dans ses intentions d'image, Émilie m'a soumis des références avec une gradation douce. La Sony F55 ayant une gradation plutôt dure comparée à une Alexa, on a opté d'un commun accord pour une vieille série d'optiques. Pour des raisons d'encombrement nous sommes partis sur des optiques fixes plutôt que sur des zooms. Car si on recherchait un gain de place pour la caméra il fallait aussi la recherche d'un gain de place pour l'optique. La plupart des références d'Émilie étant des films tournés en 16mm, nous avons réalisé des Tests Optiques en 16mm avec la Sony F55 en 2K Center Crop. La Sony F55 permettant d'utiliser des optiques 16mm en n'utilisant pas l'entièreté du capteur en 4K mais seulement son centre en 2K. On a mené ces tests dans les conditions du tournage, c'est à dire en voiture et en mouvement sur une série Zeiss 16mm et une série Zeiss Kodak 35mm à focale équivalente. Après visionnage des essais en appliquant la LUT de Sony sur les RAW et un léger étalonnage des rushs. Nous avons pu remarquer que les optiques 16mm était beaucoup moins piquées en visualisant les deux images sur un écran 2K, qu'elles avaient des dérives vertes sur les peaux et avaient un flare plus important. Notre choix s'est donc porté sur les optiques Zeiss Kodak 35mm qui allaient en terme de couleur et de gradation dans le sens du film.

Les scènes en voitures nécessitant des configurations particulières, on a tout d'abord pour les plans à l'épaule eu recours à la bouée qui permettait qu'Émilie puisse se caler plus facilement dans la voiture. On a eu recours au vu des différentes configurations à un Follow Focus car entre les acteurs, le preneur de son et sa perche, le cadreur et la caméra, le premier assistant n'avait pas nécessairement accès à la commande de point et n'avait parfois de places dans l'habitacle. Pour ces raisons on a utilisé une commande de point HF pour qu'il puisse même installé dans le coffre pointer. J'avais eu l'occasion d'utiliser le Teradek Émetteur / Transmetteur HF sur un tournage qui m'avait surpris au niveau de ses capacités par rapport à son gabarit

comparé au Transvideo Titan. La place dans l'habitacle étant restreinte, il était donc nécessaire que l'Assistant Réalisateur, la Scripte, la Maquilleuse et moi-même en qualité de Directeur de la photographie, puissions avoir un retour image. Nous avons très vite remarqué que le signal passait plus ou moins bien en fonction des conditions de tournage et des véhicules utilisés. Ainsi le signal passait mieux quand la voiture suiveuse suivait à l'arrière la voiture de jeu. A nos dépens nous avons pu remarquer que certaines voitures avaient une armature métallique qui rendaient la cage de Faraday plus opaque et transmettait moins d'ondes. Ainsi le signal passait moins bien entre deux Peugeot 406 qu'entre une Peugeot 406 et une Citroën C3 composée de plus de pièces en plastique.

Je souhaitais pour ce tournage bénéficier d'un moniteur de retour qui puisse afficher une image en HDR afin que je puisse tester dans des conditions de tournage comportant un workflow en HDR, les outils disponibles sur le marché. J'avais tout d'abord opté pour un moniteur LCD de Transvideo que j'avais eu l'occasion de voir au Micro-Salon. Cependant Didier Grèzes de Next Shot m'a prêté pour le tournage un moniteur / enregistreur OLED d'Atomos, le Shogun qui venait d'avoir une mise à jour HDR. Le principe de ces deux moniteurs est le même, ils ne peuvent afficher qu'un Rec 709, mais en leur envoyant une image logarithmique, ils vont traiter eux-même le signal Log de manière à transformer ce logarithme en gamma qui puisse s'afficher correctement sur le moniteur. Une fois ce traitement fait, on peut ensuite se déplacer dans la courbe de manière à visualiser la portion de l'image qui nous intéresse. Et pour des questions d'ergonomie de visualisation l'OLED de l'Atomos est plus agréable avec des noirs profonds et une clarté plus importante que le LCD de Transvideo n'a pas.

Plan de Travail du Tournage

Jour de tournage			1	2	3	4	5		
Jour			L	Ma	Me	J	V	S	D
Mois			Mars						
Horaire			9h 18h	9h 18h	9h 18h	14h 20h	22h 6h	22h 6h	
Jour / Mixte / Nuit			PREPA	Jour	Jour	Mixte	Nuit	Nuit	
Titre <i>Allers Simples</i>		PPM 2017		N° des séq.	3, 6	4, 5	2	1	1
ENS Louis Lumière : La Cité du Cinéma - 20 rue Ampère BP12 93213 La Plaine Saint-Denis Cedex Téléphone (33) 01 84 67 00 01		Déc or		Voiture mvt	Voiture mvt	Voiture en mvt	Voiture garée devant maison	Voiture garée devant maison	
Réalisation : Emilie FRETAY		Effet		Jour	Jour	Jour	Nuit	Nuit	
Assistant réalisateur : A définir									
Personnage / Rôle	Nom acteurs	N°							
PIERRE	Philippe DE MONTS	1				1	1	1	
LUCIE	Elisa SOMMET	2				2	2	2	
MARION	Clara MARCHINA	3		3	3				
PASCAL	François HATT	4		4	4				
YVES	Yannig SAMOT	5		5	5				
Silhouette									
Petite fille P1	Maxi-Cosi	6					6		
Petit garçon P1	Louis LE TREUT	7					7		
Véhicules, divers									
Voiture familiale P1	Renault Modus						X	X	
Vieille voiture P1	Peugeot 106					X			
Voiture P2	Peugeot 406 break		X	X	X				

Plan de Travail de Post-Production

Etape	EQUIPE	Nb de jours min	Lieu	Mois	DERNIER DELAI
Montage image	Alexis GOYARD	10	LL	Avril	20 avril
Post synchro (<i>sûrement nécessaire pour la voiture en mouvement</i>) + bruitages	à définir	3	LL		5 mai
Montage son	Mélia ROGER	5-10	LL	Avril	28 avril
Enregistrement musique	/	2	LL	Mai	17 mai
Etalonnage	Karim EL KATARI	1	Éclair	Mai	26 mai
Mixage	Matthieu FRATICELLI	5	LL	Mai	31 mai
Conformation	Thomas DEBAUVE	1	Éclair	Mai	
Exports			Éclair	Mai	2 juin

Équipe Technique

REALISATION			
Réa	Emilie FRETAY	06.07.10.71.99	emilie.fretay@hotmail.fr
Assistant Réalisateur	Carl DEMAILLE	06.13.54.23.16	carldemaille@orange.fr
Régisseur général	Patricio ZAMBRANO	06.10.48.55.60	andres1zam9@gmail.com
Catering	Nicolas AUSSAGUÉS	06.17.17.84.61	nicolas.aussagues@hotmail.fr
EQUIPE LUMIERE			
Chef opérateur	Quentin BOURDIN	06 59 60 49 82	qbourdin@gmail.com
Chef électricien	Simon FERAY	06.13.18.33.55	feray.simon@gmail.com
Renfort Electro	Clotilde COEURDEUIL	06.47.58.45.16	clotilde.coeurdeuil@gmail.com
EQUIPE CAMERA			
Cadreuse	Emilie FRETAY	06.07.10.71.99	emilie.fretay@hotmail.fr
1er Assistant caméra	Lucas PLANÇON	06.48.75.51.00	luluplan@gmail.com
2nd Assistant caméra / machino	Baptiste LEFEBVRE	06.09.93.48.10	b.apartiste_lefebvre@yahoo.com
EQUIPE SON			
Ingé son / perchman	Guillaume ANDRE	06.81.19.91.18	gag.andre@gmail.com
Ingé son / perchman	Magali MORONVAL	06.25.85.18.35	moronval.magali@gmail.com
H.M.C			
Maquilleuse	Melissa LANDRON	06.29.80.45.96	melissa.landron@hotmail.fr
CASTING PRINCIPAL			
PIERRE	Philippe DE MONTS	06.62.63.47.92	phdemonts@gmail.com
LUCIE	Elisa SOMMET	06.13.82.24.93	esommet@gmail.com
MARION	Clara MARCHINA	07.87.45.52.30	bensimonmarchina.clara@gmail.com
PASCAL	François HATT	06.61.71.92.86	francois.hatt@cegetel.net
YVES	Yannig SAMOT	/	/
SILHOUETTES			
Petit garçon	Louis LE TREUT	/	/
Petite fille	Maxi Cosi	/	/

Synthèse

Ma partie pratique m'a été utile pour mettre en relation HDR et pratique, afin de penser toute la chaîne comme je souhaitais le traiter en partant du sujet puis l'œil, en passant par le capteur, puis le traitement du signal et arriver jusqu'à la visualisation. Ainsi cette PPM m'a permis de tester la lumière sous différentes expositions de nuit, de jour, malheureusement le coucher de soleil ne s'est pas fait. De voir comment le signal réagissait à ces différentes conditions. Si c'était à refaire, j'exposerais 1 EV plus haut ma nuit car la dernière tranche du capteur bruite énormément et le rafraîchissement de la matrice du capteur créait des effets de Rolling Shutter dans le dernier EV exploitable. J'ai pu étalonner mes images en standard, en Éclair Color, en Dolby Vision et voir comment le signal et l'image réagissaient.

Je crois qu'avec Émilie nous sommes tous les deux très contents du résultat du film et d'avoir pu faire ça dans un véritable cadre professionnel en allant faire l'étalonnage chez Éclair. Au niveau des plans, à regarder la dernière page de ce mémoire, je crois qu'on est plutôt raccord entre les intentions soumises par Émilie et la réalisation finale. Pour ce qui est du HDR le film n'était pas un film mettant en avant un HDR qui soit tape à l'œil et c'est ce que je souhaitais faire durant ce mémoire, photographier un film qui ait des contraintes artistiques sur l'utilisation du HDR. Et Émilie étant très réticente au HDR ça m'a plutôt aidé à voir les limites dans un scénario plutôt naturaliste loin des bandes démo des constructeurs. C'est ce que je recherchais et je crois l'avoir obtenu en ayant des choses vraiment très intéressantes durant la séquence de nuit et la séquence de fin de journée notamment.

