

# **ENS LOUIS-LUMIÈRE**

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

Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01

[www.ens-louis-lumiere.fr](http://www.ens-louis-lumiere.fr)

## **MÉMOIRE DE MASTER**

Spécialité cinéma, promotion 2013-2016

Soutenance de Juin 2016

### **HEURE BLEUE DORÉE :**

**Étude croisée d'un basculement physique de lumière porteur d'une forte symbolique et de la surface photosensible numérique**

Alexandre DELOL

Ce mémoire est accompagné de la partie pratique intitulée :

La lumière et l'image numérique de l'heure bleue dorée

Directeur de mémoire : Alain SARLAT

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy Pisano

# **ENS LOUIS-LUMIÈRE**

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

Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01

[www.ens-louis-lumiere.fr](http://www.ens-louis-lumiere.fr)

## **MÉMOIRE DE MASTER**

Spécialité cinéma, promotion 2013-2016

Soutenance de Juin 2016

### **HEURE BLEUE DORÉE :**

**Étude croisée d'un basculement physique de lumière porteur d'une forte symbolique et de la surface photosensible numérique**

Alexandre DELOL

Ce mémoire est accompagné de la partie pratique intitulée :

La lumière et l'image numérique de l'heure bleue dorée

Directeur de mémoire : Alain SARLAT

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy Pisano

## REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Alain Sarlat, pour m'avoir aidé et guidé tout au long de cette épreuve. Merci pour son investissement, son partage et son soutien.

Je remercie également Giusy Pisano pour sa bienveillance. Merci aux chefs-opérateurs Tony Gauthier, Arthur Cloquet et Sabine Lancelin pour les échanges.

Merci à John Lvoff pour ses passages en sensitométrie et sa bonne humeur constante, merci à Laurent Stehlin pour les parties de baby-foot. Merci également à Françoise Baranger, Florent Fajole, Didier Nové et Pierre Vormeringer.

Je tiens à remercier chaleureusement Natacha Vlatkovic et Natasza Chroscicki de la société ImageWorks, pour le prêt de l'Alexa Mini et les multiples prêts du codex, sans qui mes parties pratiques de mémoire n'auraient pu être réalisées. Je remercie aussi énormément Nextshot et Didier Grezes, ainsi que Jean-Yves Le Poullain d'Angenieux-Thalès.

Je souhaite remercier Olivier Patron, mon camarade de mémoire durant ces longs mois, pour les nombreuses discussions en rapport ou non avec le mémoire. Je remercie également mon autre camarade Elena Erhel, pour son aide et son soutien, et Loiez Perreux, pour ses explications claires et ses pistes de réflexions. Merci à Simon Bonanni pour avoir partagé une belle semaine de tournage avec moi, pour faire un beau film.

Merci à Loucas Letren, Arnaud De Romand, Joris Augustin, pour être toujours là quand il faut. Merci aussi à Faustine Mulot, Basile Vallet-Petit et Fabien Gazanhes.

Merci à ma famille, à mes parents, pour le réconfort, les encouragements, les relectures et tout le reste. Un simple merci ici est loin d'être suffisant pour tout ce qu'ils ont fait pour moi depuis le début.

Enfin, merci à Jeanne Dauphin, pour m'avoir supporté et soutenu au mieux durant cette période délicate. Merci pour sa compréhension, son sourire et son amour.

## RÉSUMÉ

L'heure bleue et l'heure dorée sont les termes apposés aux deux phases du lever et du coucher du soleil : avant et après son passage à l'horizon. Ce mémoire entend faire une étude croisée de cette lumière naturelle très particulière, porteur d'une forte symbolique pour l'homme et dans l'art, et de sa captation par les surfaces photosensibles numériques. Quels sont les enjeux de la captation et de la représentation de ce basculement physique de lumière rapide et total en numérique ?

Dans un premier temps, après avoir défini précisément les phases de l'heure bleue dorée et expliqué leurs origines, nous cherchons à comprendre la portée symbolique de cette lumière, qui amène une double réaction psychologique/physiologique chez l'être humain. Sachant cela, comment cette lumière est-elle alors utilisée dans l'art du cinéma, et pour quelle utilisation symbolique ?

Dans un second temps, nous voulons analyser ce basculement de lumière, d'un point de vue géométrique, quantitatif et qualitatif, en nous basant sur des mesures effectuées au cours de la partie pratique de mémoire. Cette étape a pour but la connaissance profonde de cette lumière, et d'identifier les points importants à maîtriser en vue de sa captation numérique.

C'est ainsi dans la troisième partie que nous étudions en détail les caractéristiques des surfaces photosensibles numériques, en nous intéressant à deux en particulier (l'Alexa Studio et la Blackmagic 4K), afin d'identifier les paramètres importants à comprendre, à maîtriser et surtout à mettre en relation avec la lumière de l'heure bleue dorée, pour réussir à gérer sa quantité et sa qualité et pour bien mettre en évidence l'importance de l'adaptation de notre stratégie de captation de ce basculement physique de lumière en fonction de notre caméra.

### MOTS CLÉS

Heure dorée, Heure Bleue, Heure Magique, Soleil, Numérique, Raw, Contraste, Couleur, Exposition, Capteur, Sensibilité

## **ABSTRACT**

The blue hour and the golden hour are the terms appended to the two phases of the rising sun and the sunset : before and after it's passage on the horizon. This essay intends to make crossover of this very special natural light, carrying a strong symbolism for man and in art, and its uptake by digital photosensitive surfaces. What are the issues of uptake and the representation of this physical light fast and total switchover in digital?

As a first step, after precisely defining the phases of the golden blue hour and explained their causes, we seek to understand the symbolic significance of this light, which brings a dual psychological/physiological response in humans. Knowing this, how is this light used in the art of cinema, and for what symbolic?

In a second step, we want to analyze this shift of light, from a geometrical, quantitatively and qualitatively point of view , based on measurements made during the practical part of the essay. This step is aimed at the profound knowledge of this light, and to identify key points to master fo its digital uptake.

Thus, in the third part, we study in detail the characteristics of digital photosensitive surfaces, two in particular (Alexa Studio and the Blackmagic 4 K), to identify the understanding of important parameters, to master and especially to put in relation with the light of the golden blue hour, to succesfully manage its quantity and quality, and to highlight the importance of the adaptation of our uptake strategy of this physical changeover of light depending on our camera.

### **KEY WORDS**

Golden Hour, Blue Hour, Magic Hour, Sun, Digital, Raw, Contrast, Colour, Exposure, Sensor, Sensibility

# TABLE DES MATIÈRES

Remerciements	3
Résumé	4
Abstract	5
Table des matières	6
Introduction	9
<b>PARTIE 1 : DÉFINITIONS ET ORIGINES D'UN BASCULEMENT PHYSIOLOGIQUE, MENTAL ET SYMBOLIQUE</b>	12
<b>CHAPITRE 1 : Le Parcours de la lumière solaire</b>	13
A. L'Heure Magique	13
1. L'Heure Dorée	13
2. L'Heure Bleue	17
3. Redéfinition des termes	18
4. L'élévation de l'heure bleue dorée	19
B. La durée de l'Heure Bleue Dorée	21
1. Le mouvement de révolution de la Terre	21
2. Variation de la vitesse d'élévation du soleil	24
<b>CHAPITRE 2 : Un basculement physiologique et mental</b>	27
A. Les photorécepteurs de la vision humaine	27
1. Les cônes	27
2. Les bâtonnets	29
B. Les différents types de vision humaine	30
1. Vision photopique et scotopique	30
2. Vision mésopique	32
C. Un basculement mental	34
<b>CHAPITRE 3 : Esthétique et symbolique de l'heure bleue dorée au cinéma</b>	37
A. En ouverture de film	37
1. La fable	37
2. L'ironie tragique	39
B. En fermeture de film	41
C. La pression temporelle	43

D. Angoisse, apaisement, mélancolie, désespoir et renaissance : la métaphore filée de Gravity	46
E. La trépas vespéral et crépusculaire	50
F. Symbolique divine	52
CONCLUSION PARTIE 1	56
<b>PARTIE 2 : UN BASCULEMENT PHYSIQUE TOTAL</b>	57
<b>CHAPITRE 1 : La géométrie de l'heure bleue dorée</b>	58
A. La source et le sujet	58
B. La géométrie de l'heure bleue dorée	61
<b>CHAPITRE 2 : La quantité de l'heure bleue dorée</b>	63
A. Point photométrique	63
B. Les caractéristiques du rayonnement solaire	65
C. L'éclairement mouvant de l'heure bleue dorée	66
D. Le contraste mouvant de l'heure bleue dorée	69
<b>CHAPITRE 3 : La qualité de l'heure bleue dorée</b>	75
A. Point colorimétrique	75
B. La répartition spectrale de l'heure bleue dorée	77
CONCLUSION PARTIE 2	86
<b>PARTIE 3 : CAPTER L'IMAGE D'HEURE BLEUE DORÉE EN NUMÉRIQUE</b>	88
<b>CHAPITRE 1 : Les caméras numériques face à la quantité de l'heure bleue dorée</b>	89
A. La réponse quantitative des caméras numériques	89
1. L'exposition en argentique et en numérique	89
2. Courbe de réponse / Courbe H&D	91
3. Le bruit	98
4. Vers une étendue utile réelle	102
B. les solutions pour gérer la quantité de lumière	104
1. Clipper le soleil	104
2. Éviter le soleil	106
3. Diminuer la lamination	107
4. Utiliser le flare	108

5. La sensibilité	111
<b>CHAPITRE 2 : Les caméras numériques face à la qualité de l'heure bleue dorée</b>	<b>118</b>
A. La réponse qualitative des cameras numériques	118
1. La température de couleur	118
2. La sensibilité spectrale	126
B. Les solutions pour gérer la qualité de lumière	131
1. L'encodage : le raw, le rec709 et le log	131
2. Le choix de balance des blancs	135
3. Le filtrage colorimétrique	136
4. L'étalonnage	137
<b>CHAPITRE 3 : Le chef-opérateur face a la captation numérique de l'heure bleue dorée</b>	<b>138</b>
Conclusion	145
Bibliographie	148
Filmographie	150
Table des figures	151
Annexes	154
Dossier PPM	167



## INTRODUCTION

Au tout début de mes recherches dans le cadre de ce mémoire de fin d'études, j'ai choisi de fixer mon thème sur la lumière particulière des levers et couchers de soleil, sans précisément savoir ce qui m'intéressait dans cette lumière « magique ». Au fur et à mesure de mon avancée, je me suis rendu compte que ce n'était pas tant cette lumière en tant que telle qui m'intéressait, mais de faire une analyse croisée entre ce basculement physique et les caractéristiques des capteurs numériques. Un vrai travail de chef-opérateur : relier la lumière à la surface photosensible pour créer l'image.

En troisième année, l'étude de la sensitométrie et de la colorimétrie en numérique, notamment au travers de la majeure Phy (dirigée par Alain Sarlat), m'ont permis de me questionner sur l'outil numérique et d'envisager sa complexité. À l'heure actuelle, les deux supports de prises de vue pour le cinéma (l'argentique et le numérique) coexistent, mais le plus récent, tout en voulant s'affranchir et bien se différencier de son aîné, continue pourtant de suivre un mode de fonctionnement similaire, et donc inapproprié. Sinon, comment expliquer que nous utilisons encore les termes de sur-exposition, de sous-exposition, d'angle d'obturateur... qui sont profondément rattachés à la culture argentique. Il semble temps de comprendre et de prendre pleinement possession des capacités des capteurs numériques pour les utiliser à bon escient. C'est en partie pour cette raison que nous ne nous attarderons pas sur la réaction de la surface photosensible en argentique dans ce mémoire, même si nous y ferons parfois allusion.

Avant de m'attaquer à sa captation, il me fallait comprendre la nature de la lumière que j'envisageais de saisir, autour de laquelle il existe un flou artistique et technique. Les chefs-opérateurs parlent d'heure dorée, d'heure bleue, d'heure magique (blue hour, golden hour, magic hour en anglais) mais à quoi font exactement référence ces termes ? Et pourquoi la caractérise-t-on de « magique » ? Il nous faudra dans un premier temps définir scientifiquement cette lumière, classifier ces différentes phases et comprendre ces origines, notamment dues à l'association du mouvement de révolution de la Terre et de la traversée de la couche atmosphérique (diffusion de Rayleigh). Mais cette lumière naturelle n'a pas juste une beauté esthétique évidente, mais est porteur d'une forte

symbolique qui nous amène à la qualifier de magique et d'exceptionnelle. En effet, nous verrons que le basculement physique des levers et couchers de soleil a un double effet physiologique et psychologique sur l'homme, l'un étant intimement lié à l'autre. C'est donc logique que l'heure bleue dorée (comme je préfère l'appeler plutôt qu'heure magique) a été utilisée à de nombreuses reprises dans l'histoire de l'art et en particulier au cinéma, pour porter avec force les intentions esthétiques et symboliques du réalisateur. Nous détaillerons au travers de quelques films une liste non exhaustive de ces utilisations courantes. Nous en profiterons pour commencer à remarquer quels éléments semblent primordiaux dans la création de l'image de l'heure bleue dorée (nous verrons notamment que le contraste et la couleur sont deux éléments clés de ce basculement physique de lumière).

Dans un second temps, nous étudierons en détails les caractéristiques quantitatives, qualitatives et géométriques de cette lumière, avec un regard de chef-opérateur, pour comprendre les éléments mis en jeu lors de ce basculement physique total. Nous verrons que le contraste, le niveau, la répartition spectrale, le modelé, sont autant d'éléments qui varient rapidement et avec plein de nuances au lever et au coucher du soleil. Cette partie d'étude de la lumière nous amènera à effectuer des mesures diverses avec le matériel de l'école, pour aller nous-même quantifier et bien comprendre les enjeux de cette lumière.

Enfin, dans un troisième temps, nous nous intéresserons aux caractéristiques des surfaces photosensibles numériques, dont nous ne connaissons finalement que très peu de choses. Alors que le chef opérateur en argentique connaissait parfaitement son émulsion, et notamment sa courbe de réponse, l'arrivée de l'image numérique en direct sur le plateau, via des moniteurs plus ou moins calibrés, nous a malheureusement amené à délaissé la connaissance de nos capteurs. Nous faisons confiance à une image dont nous ne savons rien, plutôt que de connaître notre moyen de captation.

J'ai donc choisi deux caméras à étudier :

- une professionnelle : l'Arri Alexa Studio de l'école,
- et une qu'on qualifiera de semi-professionnelle : la Blackmagic Caméra Production 4K, que je possède en propre.

J'ai fait ce choix afin d'avoir deux résultats différents qui seront intéressants à mettre en parallèle. Ici, l'objectif n'est pas de qualifier l'un par rapport à l'autre (on se doute que l'Alexa devrait obtenir de meilleurs résultats que la Blackmagic) mais de dégager dans les différences de caractéristiques de ces deux capteurs les paramètres importants à comprendre et à maîtriser, pour ensuite les mettre en relation avec la lumière de l'heure bleue dorée que nous aurons étudié en détail auparavant. Par cette étude croisée de la lumière et du capteur, nous pourrons chercher les différentes possibilités qui s'offrent au chef-opérateur pour gérer la quantité et la qualité de la lumière de l'heure bleue dorée. Ainsi, nous pourrons bien mettre en évidence l'importance de l'adaptation de notre stratégie de captation de l'heure bleue dorée en fonction de notre surface photosensible, que nous mettrons en pratique lors d'un tournage d'une séquence test au coucher du soleil avec nos deux caméras.

## **PARTIE 1**

# **DÉFINITIONS ET ORIGINES D'UN BASCULEMENT PHYSIOLOGIQUE, MENTAL ET SYMBOLIQUE**

# CHAPITRE 1 : LE PARCOURS DE LA LUMIÈRE SOLAIRE

## A. L'HEURE MAGIQUE

### 1. L'HEURE DORÉE

En l'espace d'une journée, les variations de la lumière solaire sont considérables en quantité, en qualité et en angularité. La Terre tournant à la fois sur elle-même et autour du Soleil, celui-ci va au fil du temps prendre différentes positions dans l'espace, modifiant son incidence avec la surface terrestre, traversant une couche plus ou moins épaisse d'atmosphère, influant considérablement sur la lumière qui en découle. Mais si elle reste relativement stable en plein milieu de la journée, nous pouvons distinguer deux moments particuliers au cours de laquelle la lumière solaire devient exceptionnelle : au lever et au coucher du soleil (Figure 1<sup>1</sup>).

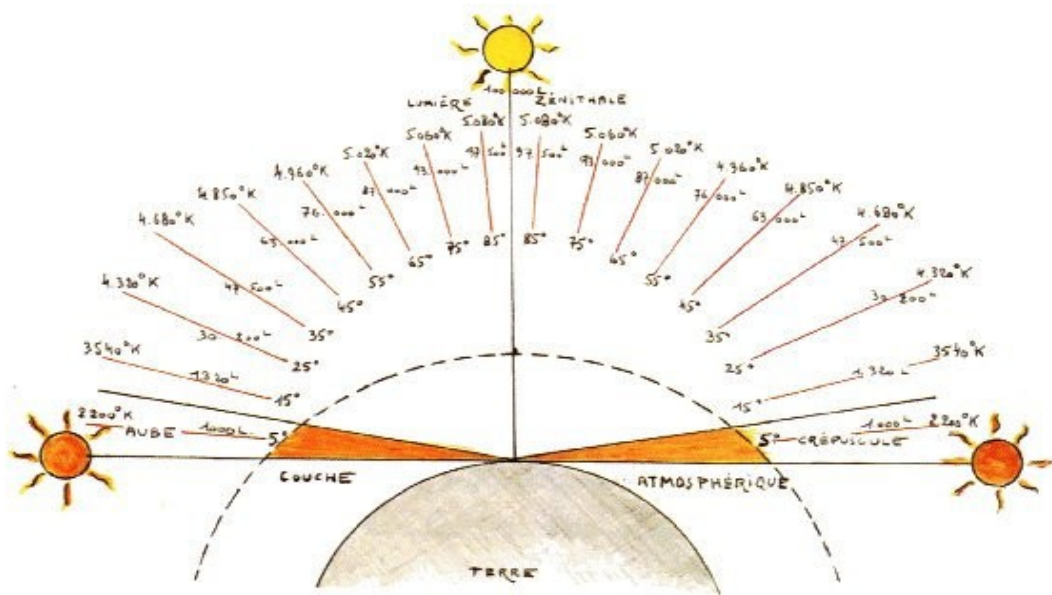


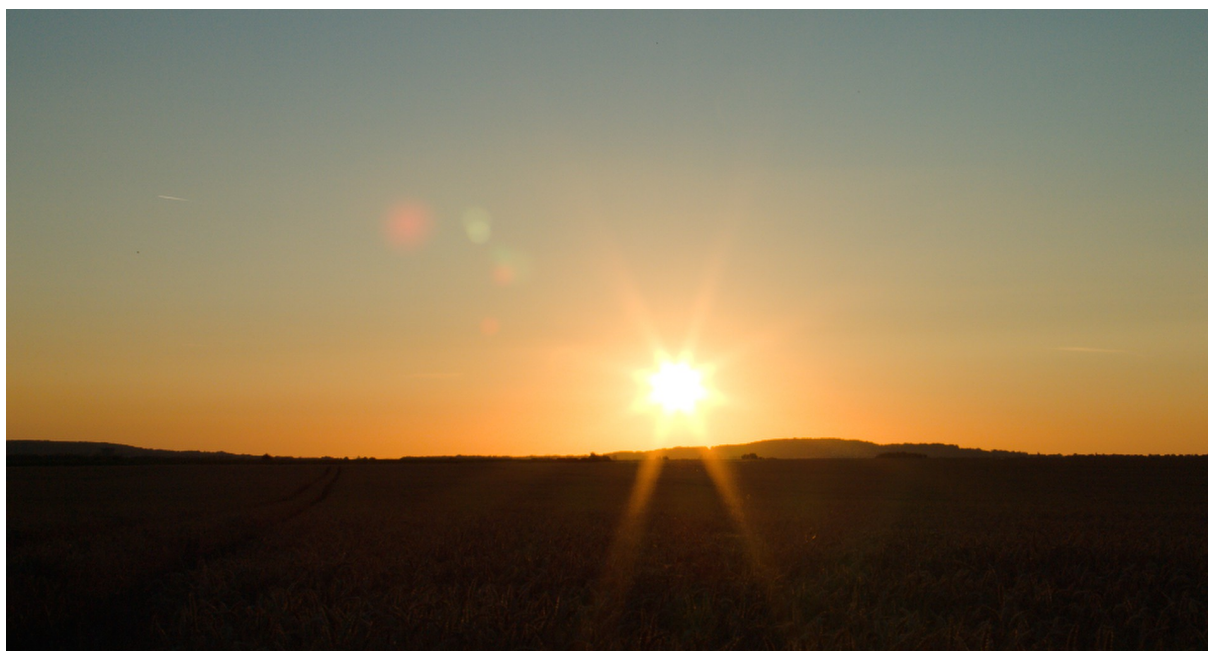
Figure 1: Parcours de la lumière solaire au cours d'une journée.

Le matin et le soir, durant deux moments particuliers – et pourtant quotidiens,- le soleil, source ponctuelle de lumière, ne se situe qu'à quelques degrés d'élévation<sup>2</sup> **au-dessus** de l'horizon. C'est ce mouvement effectué par le soleil au-dessus de l'horizon dans un court

1 Source : LEKAN, Henri, *Des lumières et des ombres*, Editions du collectionneur, 2001, p. 29.

2 Élévation : Angle en degré entre le segment reliant l'observateur au soleil et le segment reliant l'observateur au point de l'horizon situé sous le soleil.

laps de temps, ascendant (soleil levant) ou descendant (soleil couchant), qui constitue ce que les chefs-opérateurs appellent « **L'Heure Dorée** » (Figure 2), mais souvent désigné par son équivalent anglophone : « Golden Hour »).



*Figure 2: Photogramme d'une "heure dorée" tourné à Ezanville (95) en juillet 2015 avec une Blackmagic Camera Production 4K en RAW dng et étalonné sous Da Vinci Resolve 11.*

Le terme 'd'heure' renvoie au temps très court pendant lequel cette lumière est observable. En effet, sur une journée complète d'ensoleillement, qui varie de 8h à 16h selon la saison sous nos latitudes, l'heure dorée ne va durer qu'une poignée de minutes le matin et le soir. Mais la durée plus précise de l'angularité basse du soleil par rapport à la surface terrestre est fortement dépendante de la période de l'année et du lieu d'observation.

Le terme 'dorée' renvoie aux couleurs chaudes que prend la lumière solaire lorsqu'il se situe bas à l'horizon, créées par la traversée d'une grande partie de la couche atmosphérique qui entoure la Terre.

En effet, la lumière, partie du spectre électromagnétique du soleil visible par l'oeil humain, est constituée d'un ensemble de longueurs d'onde (Figure 3<sup>3</sup>). Nous ne pouvons

---

3 Source : <http://www.floraled.fr/wp-content/uploads/2014/09/spectre-visible-led.jpg>

réellement poser des limites de façon absolue mais les limites d'usage définies par la CIE<sup>4</sup> vont de 380 à 780 nanomètres, avec les ultra-violets en dessous, et les infrarouges au-dessus. Mais en réalité, un oeil humain standard ne perçoit que les longueurs d'onde entre 400 et 700 nanomètres environ.

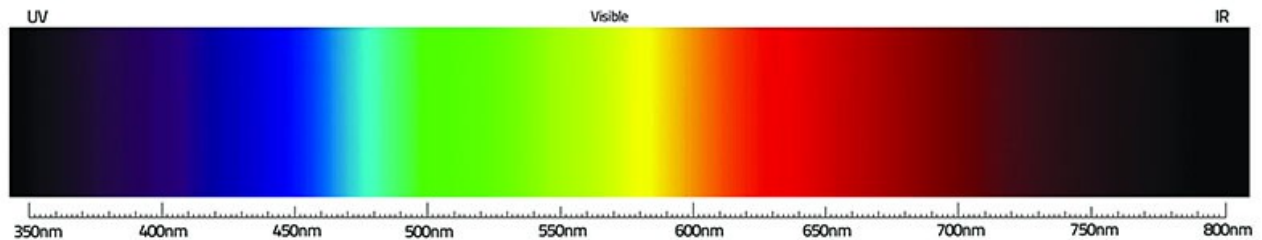


Figure 3: Spectre visible du rayonnement électromagnétique.

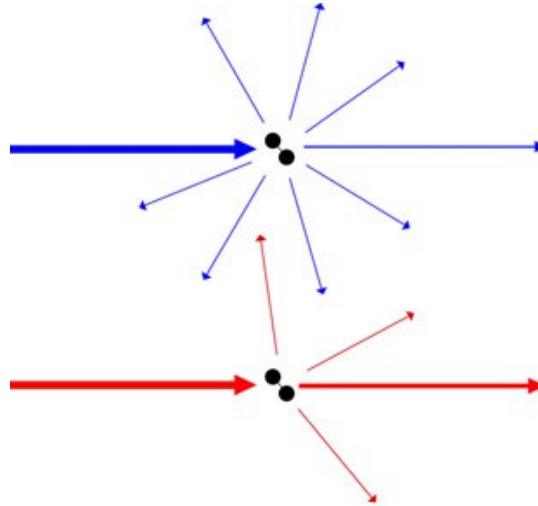
La lumière du soleil produit un spectre continu sur l'ensemble des longueurs d'onde du visible. Mais la répartition spectrale de la lumière du jour observée au sol dépend fortement de l'atmosphère terrestre, qui amène différents phénomènes physiques : la réflexion, la réfraction, l'absorption, et surtout la diffusion, qui est la propriété de la matière finement divisée de disperser la lumière dans toutes les directions. Cette diffusion dépend fortement de la forme des particules dites diffusantes et de leur taille.

Lorsque la taille de ces particules, en l'occurrence les molécules d'air (d'oxygène et d'azote), est petite devant les longueurs d'onde du visible, on évoque le terme de « diffusion de Rayleigh », du nom du physicien anglais Lord Rayleigh (1842-1919). La lumière incidente est alors diffusée de façon isotrope dans toutes les directions, mais pas de la même manière pour toutes les longueurs d'onde. L'intensité diffusée est alors inversement proportionnelle à la puissance 4 de la longueur d'onde. Les courtes longueurs d'onde, correspondant plutôt au bleu, seront donc beaucoup plus diffusées que les grandes, correspondant plutôt au rouge.

De plus, l'intensité de la lumière ré-émise dépend également fortement de la direction d'observation. En effet, comme le bleu est plus diffusé que le rouge, la lumière transmise dans la direction d'éclairage est plus riche en rouge alors que celle qui est diffusée sur le côté est plus riche en bleu (Figure 4<sup>5</sup>).

4 CIE : Commission Internationale de l'Éclairage.

5 Source : [http://www.pixheaven.net/html/geoman/apprendre/ciel\\_bleu.html](http://www.pixheaven.net/html/geoman/apprendre/ciel_bleu.html)



*Figure 4 : Représentation de la Diffusion de Rayleigh : Face aux molécules d'air de l'atmosphère, les courtes longueurs d'onde (bleu) sont très diffusées dans toutes les directions, alors que celles du rouge le sont très peu.*

C'est pour cela que le ciel nous apparaît bleu en pleine journée. Cependant, nous ne voyons tout de même pas le soleil rouge en le regardant directement car la couche d'atmosphère n'est pas assez épaisse en journée : le bleu n'est pas suffisamment diffusé. En revanche, le soleil est cependant un peu plus riche en vert et en rouge qu'en bleu, ce qui donne sa coloration légèrement jaune.

En revanche, quand le soleil est bas sur l'horizon, il traverse une importante couche d'atmosphère, qui va quasiment entièrement diffuser les courtes longueurs d'onde et en partie les moyennes, correspondant quant à elles au vert. Le soleil nous apparaîtra alors de plus en plus rouge au fur et à mesure qu'il est bas à l'horizon. Après son passage sous l'horizon, la lumière du soleil n'atteint plus directement la surface terrestre. Cependant, sa lumière continue de se refléter pendant quelques temps sur le ciel bleu, qui devient alors la source principale de lumière.



## 2. L'HEURE BLEUE

La lumière de l'heure dorée entre nécessairement en résonance avec la lumière qui la précède ou qui la suit, quand le soleil n'est pas encore visible à l'horizon. Il en résulte une lumière indirecte, diffuse et bleutée, causé par la réflexion de la lumière du soleil sur le ciel. L'horizon est quant à lui constitué d'un dégradé allant du rouge au bleu, créé par la lumière rasante du soleil provenant de sous l'horizon, très chaude car traversant toujours une grande couche d'atmosphère, et par le ciel bleu, qui est de plus en plus sombre et profond à mesure que nous nous éloignons du soleil.

C'est ce mouvement effectué par le soleil **au-dessous** de l'horizon dans un court laps de temps, ascendant ou descendant, qui constitue ce que les chefs-opérateurs appellent « **L'Heure Bleue** » (Figure 5), mais souvent désigné par son équivalent anglophone : « Blue Hour » (également appelé « lumière entre chiens et loups »). Dans ce cas-là, le terme 'd'heure' renvoie toujours au temps très court pendant lequel cette lumière est observable, et le 'terme' bleu renvoie à la couleur froide, presque glaciale, et forcément bleutée que créé l'éclairement indirect du soleil par le ciel.



*Figure 5: Photogramme d'une "Heure Bleue" tourné à Ezanville (95) en juillet 2015 avec une Blackmagic Camera Production 4K en RAW dng et étalonné sous Da Vinci Resolve 11.*

### 3. REDÉFINITION DES TERMES

L'heure dorée et l'heure bleue sont donc deux lumières solaires distinctes, observables pendant une courte période de temps, et deux fois par jour : le matin et le soir. Il existe différents termes pour renvoyer à ces 4 périodes qu'il va nous falloir bien distinguer par la suite, et que nous proposons de redéfinir ici :

- L'heure bleue du matin, avant la présence du soleil à l'horizon, est désignée par le terme d'**aube**.
- L'heure bleue du soir, après la disparition du soleil à l'horizon, est désigné par le terme de **crépuscule**. En réalité, le crépuscule fait référence à la fois à l'aube et au crépuscule du soir, mais pour des raisons de clarification, nous n'utiliserons le terme crépuscule uniquement pour désigner l'heure bleue du soir.
- L'heure dorée du matin, avec la présence du soleil à l'horizon, est désignée par le terme d'**aurore**.
- En revanche, l'heure dorée du soir n'a pas de terme spécifique dans la langue française pour désigner cet instant. On associe parfois à tort cet instant au crépuscule, ou on parle d'aurore du soir. Pour bien différencier les termes, nous utiliserons par la suite le terme **vespéral**<sup>6</sup> pour désigner l'heure dorée du soir.

Enfin, le terme « **d'Heure Magique** » (« Magic Hour » en anglais) désigne l'association de l'heure dorée et de l'heure bleue. Cependant, nous préférons utiliser le terme « **Heure Bleue Dorée** », qui reviendra à de nombreuses reprises dans ce mémoire, pour désigner l'intégralité du basculement physique de lumière, du début de l'heure bleue à la fin de l'heure dorée le matin, et inversement le soir. Ce terme me paraît plus précis et plus juste que celui d'heure magique. Nous allons maintenant tenter de définir un commencement et une fin précise aux 4 périodes définies par les termes énoncés ci-dessus.

---

6 Vespéral : qui a rapport au soir, avec une connotation de « dorée »

#### 4. L'ÉLEVATION DE L'HEURE BLEUE DORÉE

L'heure bleue dorée, créée par l'association de l'heure bleue et l'heure dorée, n'est pas un terme scientifique, mais des termes apposés par les peintres et les chefs-opérateurs sur une atmosphère, une sensation, un ressenti. Au moment de parler de l'élévation correspondant à l'heure bleue et à l'heure dorée, il faut donc noter que des critères subjectifs émotionnels et de croyances entrent en jeu. Il n'existe pas un moment précis où le soleil est soudainement trop haut à l'horizon pour ne plus considérer sa lumière comme dorée. Cependant, l'astronomie nous permet de distinguer précisément trois aubes et crépuscules distincts (Figure 6<sup>7</sup>):

- L'Aube/Crépuscule Astronomique : Le ciel n'est plus complètement noir. Elle est caractérisée formellement par la position du soleil qui a une élévation comprise entre  $18^\circ$  et  $12^\circ$  en dessous de l'horizon.
- L'Aube/Crépuscule Nautique : Il y a juste assez de lumière pour que l'horizon et certains objets soient identifiables. Elle est caractérisée formellement par une élévation comprise entre  $12^\circ$  et  $6^\circ$  en dessous de l'horizon.
- L'Aube/Crépuscule Civil : Il y a suffisamment de lumière pour que les objets environnants soient identifiables, les activités du commerce peuvent commencer. Elle est caractérisée formellement par une élévation comprise entre  $6^\circ$  et  $0^\circ$  en dessous de l'horizon.

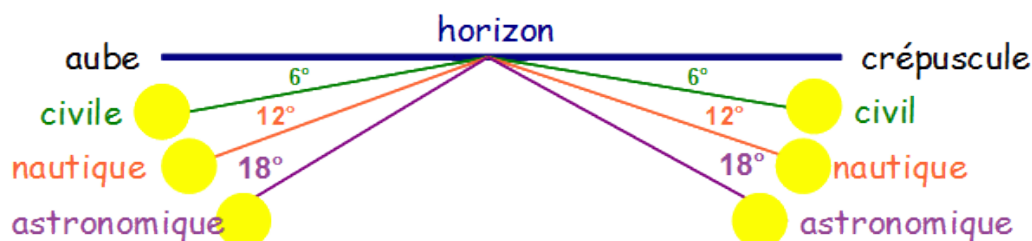


Figure 6: Schéma représentant l'angularité des trois crépuscules.

7 Source : [http://michel.lalos.free.fr/cadrams\\_solaires/doc\\_cadrams/theorie\\_cs/notations\\_convention\\_s.html](http://michel.lalos.free.fr/cadrams_solaires/doc_cadrams/theorie_cs/notations_convention_s.html)

Malgré le découpage en trois phases de l'aube et du crépuscule, des sources diffèrent quant à l'élévation correspondant à la période de l'heure bleue. Certaines considèrent qu'il ne s'agit que de l'aube civile, d'autres de l'aube civil et nautique, d'autres des trois phases de l'aube. En réalité, il n'existe pas de réponse absolue à cette question mais nous devons poser dans le cadre de ce mémoire à quelle période correspond l'heure bleue. Après avoir dans un premier temps considéré l'heure bleue comme une élévation de  $-12^\circ$  à  $0^\circ$ , je suis revenu sur ma décision pour considérer une élévation de  $-6^\circ$  à  $0^\circ$ , plus logique en termes de prise de vue et de captation par une surface photosensible.

L'aurore et le vespéral ne sont quant à eux pas décomposés en diverses phases normées par l'élévation du soleil comme c'est le cas de l'aube et du crépuscule, mais diverses sources convergent vers une élévation comprise entre  $0^\circ$  et  $6^\circ$  environ pour caractériser l'heure dorée. Cela permet de plus de créer une sorte de symétrie entre l'élévation de l'heure bleue de  $-6^\circ$  à  $0^\circ$ , et l'élévation de l'heure dorée de  $0^\circ$  à  $6^\circ$ . En réalité, nous considérerons le passage de l'heure bleue à l'heure dorée non pas à  $0^\circ$  pile mais  $-0,833^\circ$ . En effet, le soleil étant vu comme un cercle depuis la Terre, et non comme un point, son élévation fait toujours référence au centre de ce cercle. C'est donc à  $-0,833^\circ$  que le haut de ce cercle franchit l'horizon, que ce soit dans un mouvement ascendant ou descendant. Nous pouvons donc poser dans le cadre de ce mémoire :

HEURE BLEUE DU MATIN	Entre $-6^\circ$ et $-0,833^\circ$
HEURE DORÉE DU MATIN	Entre $-0,833^\circ$ et $6^\circ$
HEURE DORÉE DU SOIR	Entre $6^\circ$ et $-0,833^\circ$
HEURE BLEUE DU SOIR	Entre $-0,833^\circ$ et $-6^\circ$

Seulement, l'établissement d'une élévation comprise entre  $-6^\circ$  et  $6^\circ$  par rapport à l'horizon ne suffit pas à déterminer la durée de l'heure bleue dorée, car celle-ci dépend fortement de la latitude et de la période de l'année, et donc du mouvement de révolution de la Terre autour du Soleil.

## B. LA DURÉE DE L'HEURE BLEUE DORÉE

### 1. LE MOUVEMENT DE RÉVOLUTION DE LA TERRE

Nous avons souvent tendance à évoquer le soleil qui se lève et qui se couche à l'horizon, comme si celui-ci tournait autour de la Terre. En réalité, nous le savons depuis Copernic, notre système solaire repose sur un système héliocentrique, avec pour centre le Soleil, autour duquel la Terre tourne (en plus de tourner sur elle-même), en suivant une trajectoire elliptique (Figure 7<sup>8</sup>).

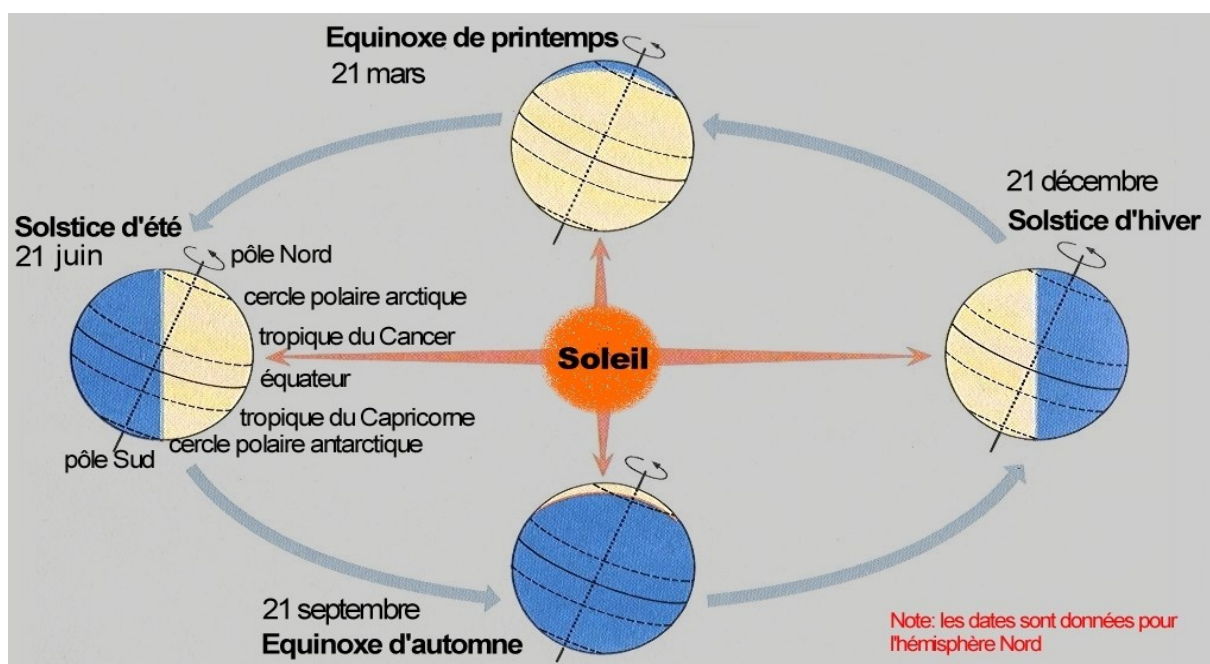


Figure 7: Schéma du mouvement de révolution de la Terre autour du soleil.

Ce mouvement va déterminer les durées du jour et de la nuit –qui varient tout au long de l'année- ainsi que les saisons, aux différents endroits de la Terre. Cette trajectoire elliptique modifie faiblement la distance Soleil/Terre : entre 147 millions de kilomètres (au mois de janvier) et 152 millions de kilomètres (au mois de juillet). Cette variation de distance n'a que très peu de conséquence sur le climat et sur les saisons. Pour l'hémisphère Nord, c'est d'ailleurs pendant l'hiver que la Terre est la plus proche du soleil.

8 Source : <http://planete-terre.tripod.com/mouv.htm>

En réalité, ce qui importe, c'est l'inclinaison de la Terre par rapport au soleil. Le plan créé par le mouvement de révolution de la Terre s'appelle le plan de l'**écliptique**. Or, l'axe de rotation de la Terre, qui est l'axe de ces pôles, est toujours incliné de  $23,45^\circ$  par rapport à la perpendiculaire au plan l'écliptique. C'est ce qu'on appelle l'**obliquité** de la Terre (Figure 8).

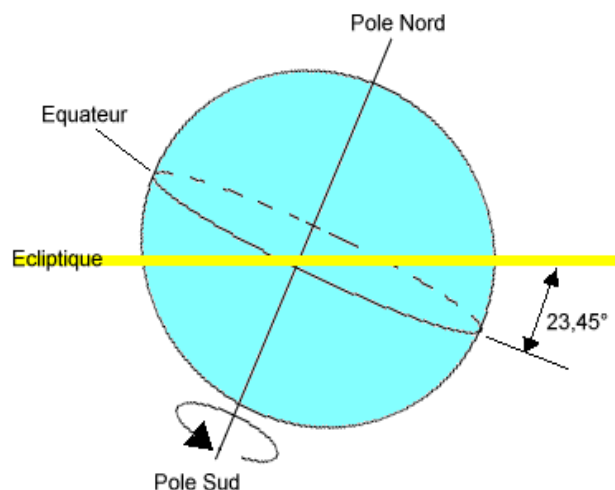


Figure 8: Schéma représentant l'obliquité de la Terre.

Cette obliquité et la trajectoire elliptique de la Terre autour du soleil sont à l'origine de plusieurs variations :

- **La variation de la durée d'ensoleillement** (Figure 9<sup>9</sup>), et donc la variation des horaires de lever et coucher du soleil. En été, par l'obliquité de la Terre, l'hémisphère Nord est plus orienté vers le soleil que pendant l'hiver, ce qui amène plus de chaleur et un allongement de la durée d'ensoleillement (et inversement pour l'hémisphère Sud). Sous nos latitudes, la durée d'ensoleillement passe de 8h au solstice d'hiver (le 21 décembre) jusqu'à 16h au solstice d'été (le 21 juin).

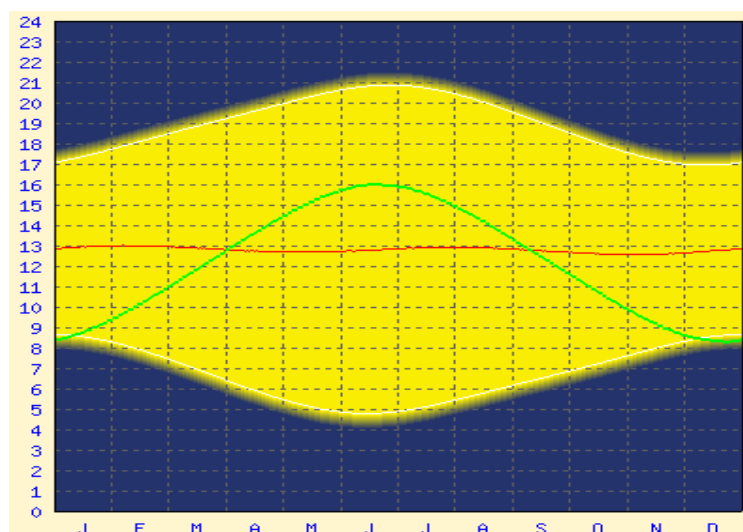


Figure 9: Graphique représentant la durée d'ensoleillement au cours de l'année à Paris. En rouge, heure d'élevation maximale du soleil. En vert, durée d'ensoleillement de la journée.

9 Source : [http://www.ephemeride.com/meteo/courbes\\_solaires/34](http://www.ephemeride.com/meteo/courbes_solaires/34)

- **La variation de positions de lever et coucher du soleil** (Figure 10<sup>10</sup>). Par approximation, nous avons souvent tendance à dire que le soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest. C'est vrai uniquement aux équinoxes de printemps (en mars) et d'automne (en septembre). Dans l'hémisphère Nord, ses points de lever et de coucher se déplacent vers le Nord après l'équinoxe de printemps (mars), atteignent leur maximum lors du solstice d'été (juin), puis ils re-dérivent vers le sud juste après pour retrouver l'axe Est-Ouest à l'équinoxe d'automne (septembre), puis atteignent leur minimum lors du solstice d'hiver (décembre). C'est évidemment l'inverse pour l'Hémisphère Sud.

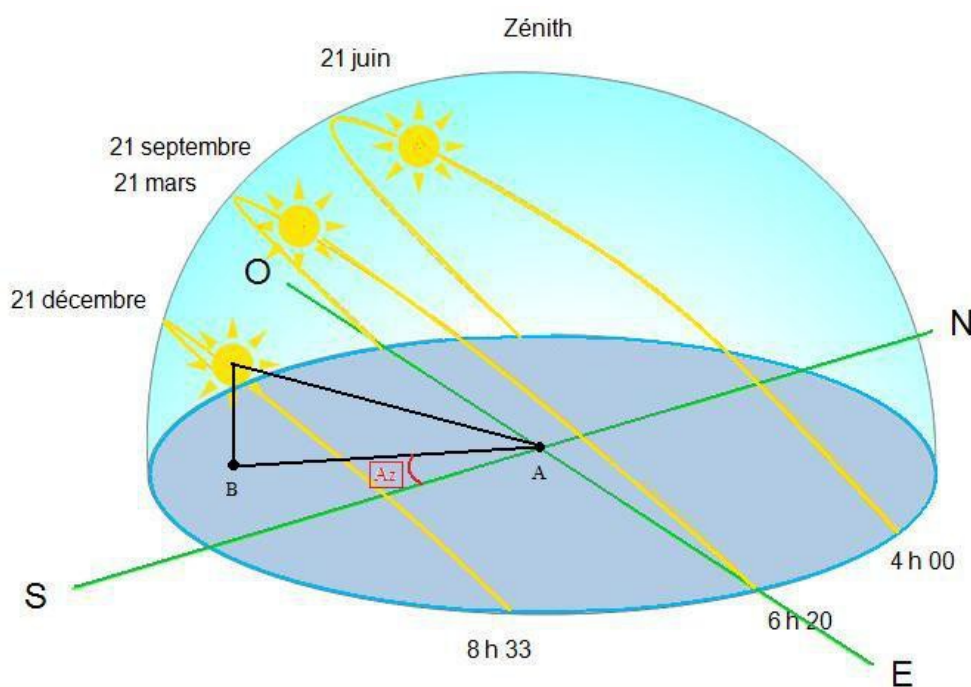


Figure 10: Schéma de l'élévation du soleil et des lieux de son lever et coucher en fonction de la période de l'année, sous nos latitudes.

- Et surtout **la variation de la vitesse angulaire d'élévation du soleil au cours de la journée**, qui a nécessairement des conséquences importantes sur la durée de l'heure bleue et de l'heure dorée. En analysant la variation de cette vitesse angulaire sous nos latitudes en fonction de la période de l'année, nous serons alors en mesure de quantifier en minutes la durée de nos deux phases qui constituent l'heure bleue dorée, pour le matin et pour le soir.

10 Source : [http://www.solairethermique.guidenr.fr/III\\_definition-azimut-hauteur-du-soleil.php](http://www.solairethermique.guidenr.fr/III_definition-azimut-hauteur-du-soleil.php)

## 2. VARIATION DE LA VITESSE D'ÉLEVATION DU SOLEIL

La vitesse angulaire d'élévation du soleil dépend de la combinaison de deux facteurs : la latitude et la saison. En conséquence du mouvement elliptique de la Terre et de son obliquité, un éloignement de l'équateur entraîne une élévation générale du soleil plus basse, et donc un temps d'heure bleue dorée plus important. Au niveau de l'équateur, le soleil se situe très haut dans le ciel au zénith, mais a pour conséquence de tomber « à pic », et offre donc une heure bleue dorée très courte. Au contraire, nous pouvons observer des phénomènes extrêmes au-delà du cercle polaire :

- Le jour polaire : Période de l'année (aux alentours du solstice d'été -en juin- pour l'hémisphère Nord et du solstice d'hiver -en décembre- pour l'hémisphère Sud) pendant laquelle le soleil ne se couche pas. Le nombre de jours pendant lesquels ce phénomène a lieu augmente avec la latitude : un jour au niveau du cercle polaire et 6 mois aux pôles. Avant de tomber dans le « jour complet » ou la « nuit complète », on peut assister aux alentours de l'équinoxe de printemps et de l'équinoxe d'automne à un soleil bas sur l'horizon et donc à une heure dorée de manière continue, jusqu'à plusieurs semaines aux pôles.
- La Nuit Polaire : Il s'agit du phénomène inversé du jour polaire, créant une heure bleue permanente aux alentours de l'équinoxe d'automne et de printemps, qui précède ou succède à l'heure dorée permanente.

Mais pour revenir à des latitudes plus basses, comme celle de Paris<sup>11</sup>, l'étude du mouvement de révolution et de l'obliquité de la Terre permet de définir la variation de la vitesse angulaire d'élévation du Soleil tout au long de l'année. Le site internet SunEarthTools<sup>12</sup>, très complet en termes de renseignements concernant le soleil, a déjà intégré cette étude et permet ainsi d'obtenir une horaire en fonction d'un lieu, d'une période et d'une élévation du soleil. En utilisant la latitude de Paris comme référence, et les élévations préalablement définies pour caractériser l'heure bleue et l'heure dorée, nous pouvons ainsi obtenir la durée de ces deux périodes tout au long de l'année. Les horaires

---

11 Latitude de Paris : 48°51'12" Nord.

12 Source : [http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=fr#help\\_Date](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=fr#help_Date)



précises sont indiquées dans le tableau en Annexes 1<sup>13</sup> (horaires arrondies à la minute près). L'analyse de ce tableau nous a alors permis de créer le graphique suivant (Figure 11) :

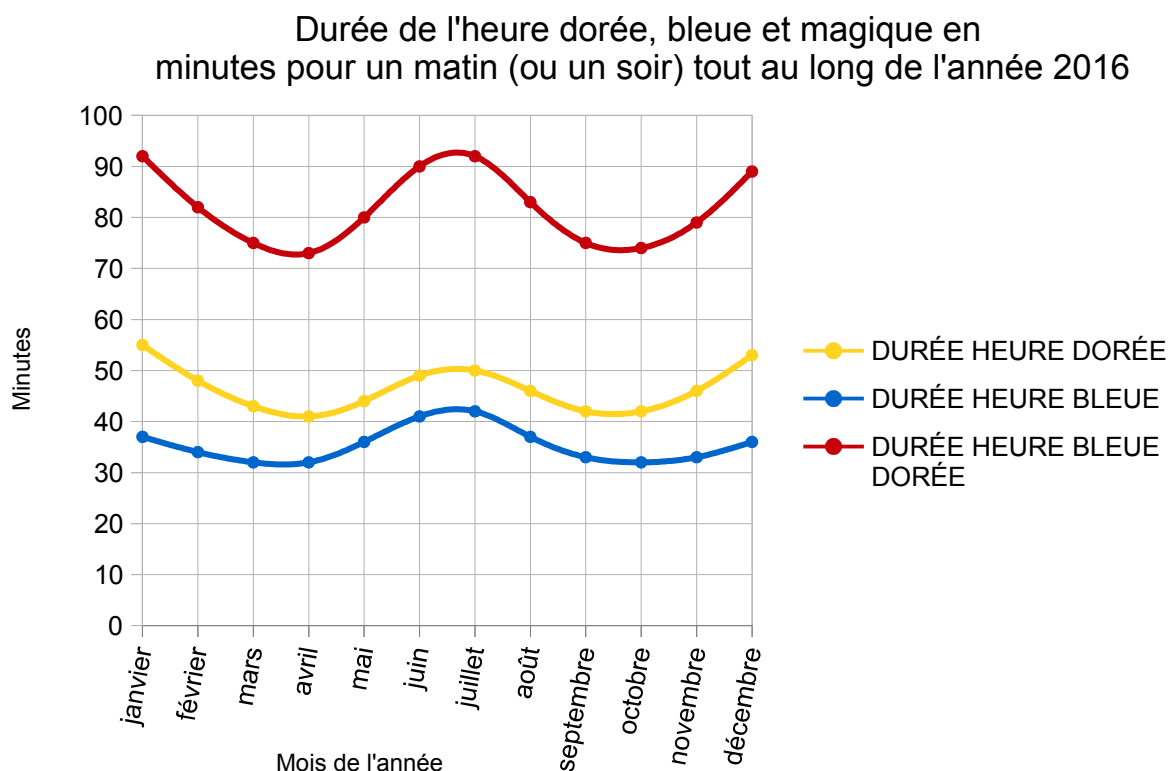


Figure 11 : Graphique représentant la durée de l'heure dorée, de l'heure bleue et de l'heure bleue dorée (=heure magique) en minutes par jour tout au long de l'année 2016 pour Paris.

Nous pouvons tirer plusieurs conclusions intéressantes du tableau indiqué en Annexes 1 et de ce graphique :

- La durée des heures bleues et dorées du matin est exactement identique à celles du soir. L'écart d'une minute parfois relevé étant dû à l'imprécision créée par l'arrondi à la minute près.
- D'après nos critères d'élévations, la durée respective de l'heure dorée et de l'heure bleue n'est finalement pas si courte que cela sur une journée en France. En moyenne, pour le matin (ou le soir), 35 minutes pour l'heure bleue et 47 minutes pour l'heure dorée, ce qui fait un total de 1H22 minutes d'heure bleue dorée; et donc 2H44 minutes sur une journée complète.

13 Annexe 1, p. 153

- Le diagramme ci-dessus montre clairement que l'heure dorée et l'heure bleue sont étroitement liées et suivent la même tendance. Quand la durée de l'un augmente, l'autre augmente également.
- La durée de ces lumières diminue du 21 décembre au 21 mars, augmente du 21 mars au 21 juin, diminue à nouveau du 21 juin au 21 septembre, avant de ré-augmenter du 21 septembre au 21 décembre, suivant les équinoxes et les solstices.
- Cependant, il faut noter que l'heure bleue présente une durée maximale pendant l'été, alors que c'est pendant l'hiver pour l'heure dorée.

Maintenant que nous avons défini et expliqué précisément le parcours de la lumière solaire qui crée ces deux lumières successives et particulières que sont l'heure dorée et l'heure bleue, intéressons-nous aux conséquences sur l'être humain d'un tel basculement physique de lumière.

## CHAPITRE 2 : UN BASCULEMENT PHYSIOLOGIQUE ET MENTAL

### A. LES PHOTORÉCEPTEURS DE LA VISION HUMAINE

#### 1. LES CÔNES

Pour étudier comment réagit le système visuel humain à un basculement physique de lumière, nous devons d'abord comprendre comment il fonctionne. Physiologiquement, pour analyser ce qui constitue le spectre visible du rayonnement électromagnétique, notre système visuel utilise la rétine qui va recueillir la lumière reçue grâce à une cellule photoréceptrice appelé un cône.

Ces cônes permettent à l'oeil d'analyser la couleur, mais pas de manière égale pour chaque longueur d'onde, comme l'explique clairement Robert W. Rodieck :

*« L'être humain possède trois types différents de cônes, dénommés L, M et S, qui se distinguent principalement par la partie du spectre lumineux à laquelle ils sont le plus sensibles [...] Dans le spectre visible, les cônes L sont plus sensibles aux photons de basse fréquence, les cônes M aux photons de moyenne fréquence et les cônes S aux fréquences les plus élevées. »<sup>14</sup>*

Ainsi, les cônes S, sensibles aux photons de haute fréquence, sont donc sensibles aux courtes longueurs d'onde, ce qui correspond plutôt au bleu. De même, les cônes M sont plus sensibles au vert et les cônes L au rouge. Mais bien que ces régions soient centrées sur les trois couleurs primaires, elles se chevauchent de manière importante, comme le montre la Figure 12<sup>15</sup> :

---

14 W. RODIECK, Robert, *La vision*, de l'ouvrage original : *The First Steps in Seeing*, 1998, Editions de Boeck, 2003, p. 44

15 Source : [https://fr.wikiversity.org/wiki/Rudiments\\_de\\_colorim%C3%A9trie/%C3%89tude\\_de\\_l%E2%80%99%C5%93il\\_et\\_du\\_m%C3%A9canisme\\_de\\_vision\\_des\\_couleurs](https://fr.wikiversity.org/wiki/Rudiments_de_colorim%C3%A9trie/%C3%89tude_de_l%E2%80%99%C5%93il_et_du_m%C3%A9canisme_de_vision_des_couleurs)

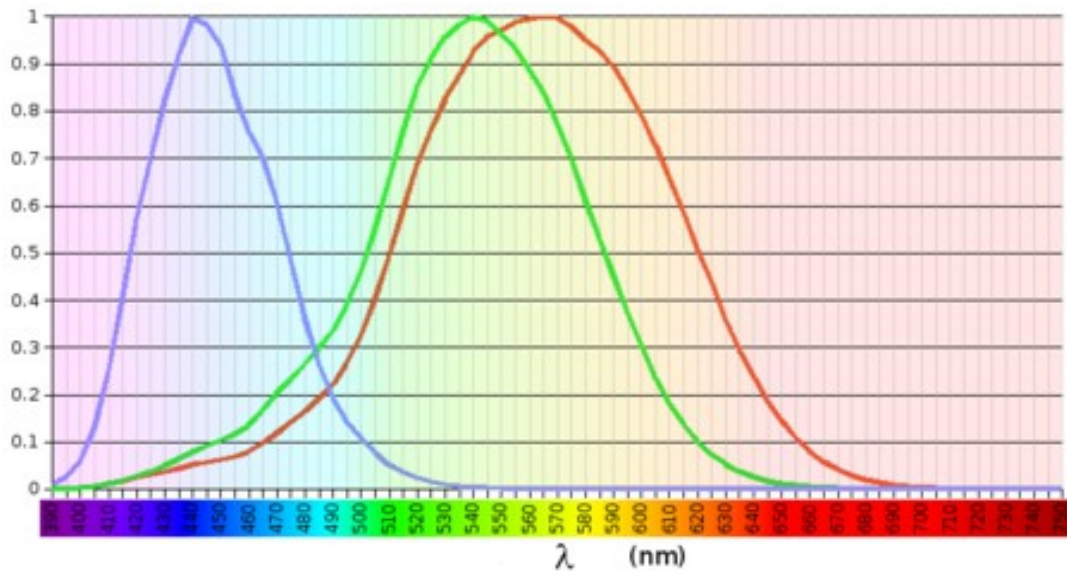


Figure 12: Courbe d'absorption spectrale relative des trois types de cônes que contient la rétine.

Les trois types de cônes sont donc stimulés à des degrés divers par une stimulation colorée donnée, et notre perception des couleurs dépendra donc de la combinaison de ces stimuli. Basé sur les théories de Thomas Young en 1802, puis vérifié au cours du 20<sup>ème</sup> siècle, le terme de trichromie apparaît alors pour désigner cette perception. En effet, notre système visuel repose sur une analyse trichrome car toutes les sensations de couleur sont obtenues par des excitations variées des trois types de cônes correspondant plus ou moins aux trois couleurs primaires : le rouge, le vert et le bleu. De la même manière, nous l'évoquerons dans la troisième partie, la sensibilité spectrale des caméras numériques repose sur le même principe d'analyse trichrome.

Dans l'oeil humain, nous trouvons environ 6 à 8 millions de cônes, présents en majorité au centre de la rétine, qui est la région la plus sensible de l'oeil, qu'on appelle la fovéa. Seulement, le nombre de cônes attribué à chaque domaine n'est pas le même : il y a environ deux fois plus de cônes M (vert) que de cônes L (rouge), tandis que les cônes S (bleu) sont dix fois moins représentés. L'être humain est donc bien plus sensible au vert qu'à toute autre couleur, résultante de millions d'années d'évolution et de survie en milieu naturel. En revanche, ce n'est pas pour autant que l'oeil humain est capable de mieux discriminer le vert qu'une autre couleur. C'est d'ailleurs dans le cyan et le jaune que l'oeil distingue le plus de nuances de couleurs.

## 2. LES BÂTONNETS

En réalité, l'oeil humain possède un deuxième type de cellule photoréceptrice, mais seulement capable d'analyser la luminosité : ce sont les bâtonnets. Bien plus sensible que les cônes (Figure 13<sup>16</sup>), ils constituent 95% des cellules photoréceptrices de l'oeil (entre 92 et 100 millions de bâtonnets par rétine). Ils sont principalement situés à sa périphérie, et présents en nombre décroissant au fur et à mesure qu'on se rapproche du centre, jusqu'à être nul dans la fovéa. Ceci explique que parfois, en conditions de basse luminosité, nous sommes obligés de regarder à côté d'un objet pour mieux le percevoir. Nos cônes, présents au centre de la rétine, ne sont plus du tout excités par des faibles conditions de luminosité et ne perçoivent plus aucune information, tandis que nos bâtonnets, bien plus sensibles, continuent de percevoir.

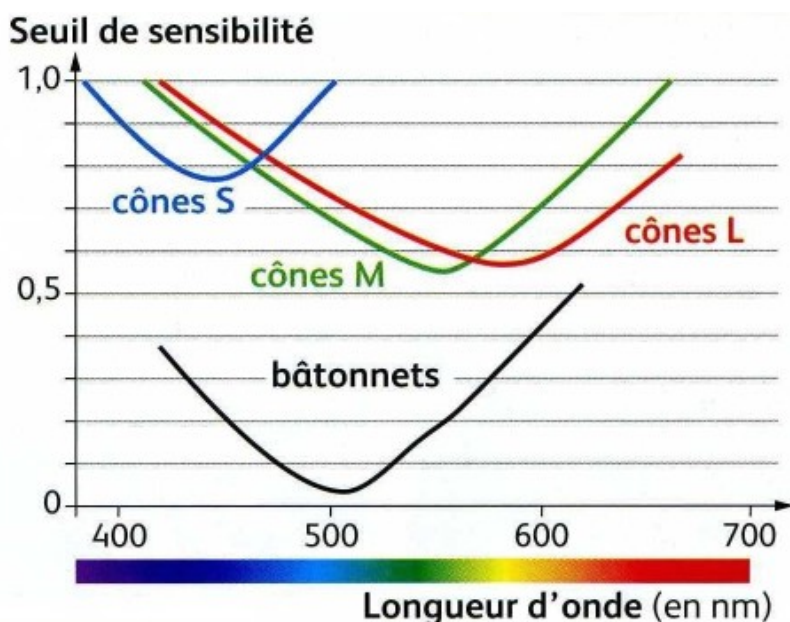


Figure 13: *Seuil de sensibilité relative des cônes et des bâtonnets en fonction de la longueur d'onde.*

Ce graphique nous montre clairement que le seuil de sensibilité des bâtonnets est bien plus bas que ceux des trois types de cônes : ils ont besoin de moins de lumière pour être « excités ». En revanche, étant uniquement sensible à informations de luminance, ils ne permettent pas la vision des couleurs, ce qui explique que nous avons tendance à voir en « noir et blanc » la nuit, d'où l'adage : « La nuit, tous les chats sont gris ».

<sup>16</sup> Source: <https://www.thinglink.com/scene/573510176326287360>

## B. LES DIFFÉRENTS TYPES DE VISION HUMAINE

### 1. VISION PHOTOPIQUE ET SCOTOPIQUE

Basé sur ces deux types de photorécepteurs, le système visuel humain possède donc deux types de vision :

- La vision **photopique**, la vision diurne, associée au jour ou à des conditions d'éclairage importantes, qui fait intervenir les **cônes** qui fournissent l'impression colorée. Le domaine photopique est le domaine de la photométrie<sup>17</sup> dans lequel les surfaces observées ont des luminances lumineuses comprises dans un seuil minimal compris entre 1 et 10 candelas par mètres carrés, et un seuil maximal de l'ordre de milliers de candelas par mètres carrés. Au-delà, nous nous trouvons dans le domaine de l'éblouissement.
- La vision **scotopique**, la vision nocturne, associée à la nuit, qui ne fait appel qu'aux bâtonnets et est donc dénuée de notion de couleurs. Les surfaces observées ont une luminance inférieure à  $10^{-3}$  cd.m<sup>2</sup>.

En basculant du jour à la nuit, les luminances des objets observés baissent nécessairement, et nous amènent à changer nos photorécepteurs, nous faisant basculer de la vision photopique, en couleur, à la vision scotopique, plutôt monochrome.

Seulement, que ce soit en vision photopique ou scotopique, l'efficacité du système visuel n'est pas la même pour toutes les longueurs d'onde. A l'aide d'expériences définies par la CIE, les mesures de la sensation provoquée chez un observateur de référence par chaque composante monochromatique d'une lumière blanche ont permis d'établir une courbe de visibilité relative, décrite par la fonction d'efficacité lumineuse spectrale (Figure 14<sup>18</sup>). Cette fonction exprime la relation entre le flux lumineux perçu par l'oeil humain (exprimé en lumens) et la puissance du rayonnement électromagnétique reçu (exprimée en Watts).

---

17 Photométrie : Science qui étudie le rayonnement lumineux tel qu'il est ressenti par la vision humaine, le quantifie et le mesure aux moyens de différentes grandeurs et notions.

18 Source: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Efficacit%C3%A9\\_lumineuse\\_spectrale](https://fr.wikipedia.org/wiki/Efficacit%C3%A9_lumineuse_spectrale)

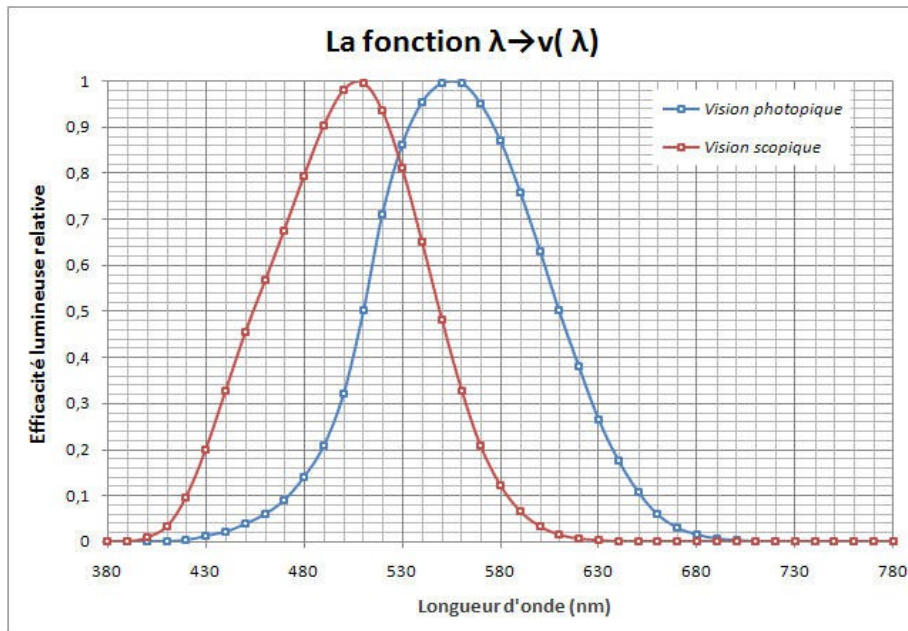


Figure 14: Courbe d'efficacité spectrale relative en vision scotopique et photopique.

Cette courbe nous montre que la sensation lumineuse la plus forte est obtenue pour la couleur jaune-vert correspondant à la longueur d'onde 555nm en vision diurne, alors qu'elle est assez faible pour les courtes longueurs d'onde (bleu) et les grandes longueurs d'onde (rouge). Cela signifie que pour ressentir une impression de luminosité équivalente, l'oeil a besoin de davantage d'énergie bleu ou rouge que d'énergie verte. Cependant, il est surtout intéressant de noter que la courbe de visibilité relative se décale vers le bleu-vert à 507nm pour la vision nocturne. Les bâtonnets sont plus sensibles au bleu que les cônes, ce qui explique en partie pourquoi nous avons généralement une impression de dominante bleue la nuit.

En réalité, après le coucher du soleil, la vision humaine bascule doucement de la vision photopique à scotopique. Mais il existe un laps de temps pendant lequel nos deux types de cellules photoréceptrices agissent en même temps, et dont résulte une certaine confusion des détails et des couleurs.

## 2. VISION MÉSOPIQUE

Ce domaine de perception particulier est appelé la vision **mésopique**, dite aussi la vision crépusculaire, car apparaissant lors du crépuscule. Nous pouvons cependant distinguer trois états distincts du mésopique<sup>19</sup> :

- Le haut mésopique (luminances lumineuses comprises entre 1 et  $10^{-1}$  cd.m<sup>-2</sup>).
- Le mésopique moyen (luminances lumineuses comprises entre  $10^{-1}$  et  $10^{-2}$  cd.m<sup>-2</sup>).
- Le bas mésopique (luminances lumineuses comprises entre  $10^{-2}$  et  $10^{-3}$  cd.m<sup>-2</sup>).

Pendant que la lumière physique décroît, un changement physiologique intervient petit à petit : les couleurs disparaissent peu à peu, l'acuité visuelle diminue, l'efficacité maximale de l'oeil change de longueur d'onde, la perception de la saturation des couleurs est modifiée...

Un changement complet de perception dû au passage des cônes aux bâtonnets, alors que les deux sortes de cellules cherchent encore à s'adapter au rapide changement lumineux. Ainsi, dans le cas d'un coucher de soleil, nous pouvons tenter de rapprocher les luminances visuelles observées en extérieur rural en fonction de l'élévation du soleil (issues de mesure que nous détaillerons dans la partie 2) au domaine de vision de l'oeil humain, afin de comprendre quel changement physiologique exact est mis en jeu en passant de l'heure dorée à l'heure bleue.

Nous obtenons alors un tableau que nous présentons à la page suivante :

---

<sup>19</sup> Source : W. RODIECK, Robert, *La vision*, de l'ouvrage original : *The First Steps in Seeing*, 1998, Editions de Boeck, 2003, p. 26



	ELEVATION DU SOLEIL (en degrés)	LUMINANCE VISUELLE (en cd.m <sup>-2</sup> )	DOMAINE DE VISION
COUCHER DU SOLEIL	0°	10 <sup>3</sup>	PHOTOPIQUE
CREPUSCULE CIVIL	-3°	10	HAUT MÉSOPIQUE
	-6°	1	
CREPUSCULE NAUTIQUE	-9°	10 <sup>-1</sup>	MÉSOPIQUE MOYEN
	-12°	10 <sup>-3</sup>	BAS MÉSOPIQUE
CREPUSCULE ASTRONOMIQUE	-18°	10 <sup>-4</sup>	SCOTOPIQUE
NUIT	< -18°	10 <sup>-5</sup>	

Les luminances visuelles sont mesurées pour un diffuseur parfait et un coefficient de réflexion de 31%. Leurs correspondances avec le domaine de vision humain sont issus de l'ouvrage « Science de la couleur : Aspects physiques et perceptifs »<sup>20</sup>.

Nous pouvons donc constater que nous passons finalement du domaine photopique au domaine du haut mésopique pendant l'heure bleue, tel que nous l'avons préalablement définie, entre une élévation de -0,833° et -6°. Et inversement pour un lever de soleil.

Cependant, si l'heure bleue comme nous l'avons définie ne contient que l'amorce du basculement physiologique observable dans le système visuel humain entre le jour et la nuit, il faut avoir conscience de l'impact mental que crée chez l'être humain ce début de basculement.

---

20 SÈVE, Robert, *Science de la couleur, Aspects physiques et perceptifs*, Chalagam Edition, 2009, p. 26

### C. UN BASCULEMENT MENTAL

La lumière de l'heure bleue dorée exerce une fascination très particulière chez l'homme car elle provoque une double action chez lui : une psychologique et une physiologique. Seulement, ces deux actions sont étroitement liées et inter-dépendantes, comme le sont l'oeil et le cerveau.

Le basculement nuit/jour est intimement lié au basculement de la vision scotopique à la vision photopique en passant par la vision mésopique, qui est une modification de la nature même des photorécepteurs actifs. Dès l'aube, par l'évolution physique de la lumière, l'humain sait pertinemment ce qui va se dérouler dans un futur proche : le soleil va se lever et chasser l'obscurité. Petit à petit, suivant le rythme solaire, il recommence à percevoir les détails et les couleurs. Les informations visuelles (liées à la physicalité mouvante de la lumière) font alors naître en lui des sensations (liées à la physiologie mouvante de son oeil) et des sentiments (liés à la psychologie emmagasinée sous forme de mémoire inconsciente). Le lever ou le coucher du soleil marque donc le passage d'un état à un autre, à tout point de vue. Symboliquement, ces phases de transition d'heure bleue dorée peuvent prendre bien des significations, comme l'explique parfaitement Henri Alekan pour une aube :

*« Ce basculement de l'obscurité vers la clarté par la vision physique s'accompagne d'une résurgence des acquis primitifs de la mémoire, qui lie le nocturne à des peurs ancestrales. L'aube, par sa clarté progressive et rapide, crée une transition et un passage préparant le cycle du quotidien. La lumière « montante » est une lumière optimisante, puisqu'elle accomplit la tâche de chasser l'obscurité chargée d'angoisse et de préparer le « devenir » des heures qui vont suivre. L'esprit de l'homme oscille entre les pôles du passé nocturne révolu et d'un futur auquel il va accéder. L'aube, c'est la confiance qui renaît après la peur, c'est le signal pour l'homme de sa supériorité sur les forces maléfiques de la nuit, c'est sa réponse de possession d'une nature qui lui avait échappé »<sup>21</sup>.*

---

21 ALEKAN, Henri, *Des lumières et des ombres*, Editions du collectionneur, 2001, p. 45

Le même constat psychologique peut être appliqué au crépuscule, avec la disparition progressive du soleil et le retour de la nuit, de l'obscurité, et donc des doutes, de l'angoisse et même de la mort. Ainsi, la lumière aurorale et crépusculaire est porteur d'une signification et d'une symbolique lourde pour l'être humain, héritée notamment de millions d'années de vie sans éclairages artificiels, quand le soleil était la seule véritable source de lumière, abandonnant les hommes au froid et à l'obscurité durant la nuit. Ainsi, ce moment si particulier va nécessairement créer en nous une sensation, un sentiment, un ressenti, une atmosphère, parfois une étrangeté, une angoisse ou au contraire un émerveillement : le soleil apparaît ou disparaît. Il s'agit d'un moment particulier car au-delà de sa beauté esthétique intrinsèque, il demeure relativement rare à observer malgré que la nature nous offre ce spectacle deux fois par jour.

En effet, quelle est la dernière fois que nous avons pu observer un lever ou un coucher de soleil tranquillement, paisiblement, et juste profiter du spectacle ? Cela est dû d'une part au fait que la météo, en fonction du lieu où nous vivons, ne nous permet pas forcément d'apprécier ce spectacle, le soleil étant généralement caché plus ou moins longtemps derrière des nuages. Et d'autre part, nous sommes rarement disponibles au moment des levers et couchers de soleil, même si cela dépend des périodes de l'année. Pendant l'été, en France, le soleil se lève de plus en plus tôt, généralement avant notre propre lever ; et se couche tard. Pendant l'hiver, le soleil se lève et se couche au cours de notre journée, mais nous sommes déjà pris dans le cours de notre vie, allant à l'école, au travail, retournant à la maison, ou y étant déjà. Sur le rythme d'une journée, l'heure bleue dorée intervient logiquement en début et en fin, ce qui ne nous permet que rarement de profiter du spectacle. Et il faut en plus que l'horizon soit dégagé, c'est-à-dire qu'aucun immeuble ou construction ne gêne notre vision, ce qui est également rarement le cas en région parisienne...

Si nous voulons pouvoir admirer un lever/coucher de soleil, il faut généralement volontairement interrompre le cours de notre vie. Mais la rareté paradoxale de l'événement ne fait que renforcer sa beauté et puissance évocatrice lorsqu'on est enfin en mesure de pouvoir l'admirer. Chacun perçoit et ressent alors différemment l'heure bleue dorée, en fonction de sa vie, de son vécu, de sa situation psychologique du moment...

mais elle va toujours provoquer une réaction en nous, qui peut prendre une multitude de significations différentes.

De manière générale, mais absolument pas exhaustive, un lever de soleil amène la transition de la nuit au jour, du noir au blanc, de l'obscurité à la lumière, et a donc une symbolique plus positive qu'un coucher de soleil, qui a les significations contraires. Par exemple, un coucher de soleil signifie la fin d'une journée, et peut faire ressentir l'angoisse, la peur, la mort, la fin, mais aussi la fête pour ceux qui aiment vivre et s'amuser la nuit. Un lever de soleil signifie le début d'une journée, et peut faire ressentir de l'espoir, du courage, de la foi, la promesse d'un jour nouveau...

Ainsi, le basculement physique de lumière de l'heure bleue dorée est également un basculement mental chez l'être humain, porteur d'une lourde symbolique, qui peut représenter beaucoup de sensations et d'émotions différentes. De manière logique, cette symbolique fut reprise dans l'art de l'image au fil des siècles, en peinture, en photographie, et bien évidemment au cinéma. Et nous pouvons d'ailleurs noter que parmi ces arts, seul le cinéma fait entrer une notion de durée en jeu (au sens de spatio-temporel), qui permet d'aller encore plus loin dans l'utilisation de l'heure bleue dorée, en montrant les nuances et l'évolution du basculement physique de lumière lors des levers et couchers de soleil. Nous allons maintenant analyser au travers de quelques extraits de films choisis l'esthétique et la symbolique de l'heure bleue dorée au cinéma.

## CHAPITRE 3 : ESTHÉTIQUE ET SYMBOLIQUE

### DE L'HEURE BLEUE DORÉE AU CINÉMA

À travers une analyse de corpus de quelques films, nous allons étudier la représentation de l'heure bleue dorée au cinéma et les utilisations hautement symboliques de cette lumière, qui peut être utilisée de bien des façons. Nous verrons qu'une des clés de la captation et de la représentation de l'atmosphère si particulière de l'heure bleue dorée se joue au travers de la gestion du contraste<sup>22</sup>, et une autre clé au travers de la gestion de deux nuances de couleurs : le bleu et le rouge. Mais notre étude du contraste et des couleurs sera nécessairement limitée par le fait que d'une part, nous ne savons pas quelles ont été les intentions précises des chefs-opérateurs face à cette lumière particulière ; et que d'autre part, les moyens d'observation de leur travail, les images sur lesquelles sont basées les analyses, ne sont ici pas toujours optimales malheureusement.

#### A. EN OUVERTURE DE FILM

##### 1. LA FABLE

À plusieurs reprises dans l'histoire du cinéma, les premiers plans et premières scènes d'un film ont été captés au moment de l'heure bleue dorée, la plupart du temps sous un soleil levant. En effet, cela permet à la lumière d'ouvrir avec douceur le film : le jour se lève, le film débute. *Milagro Beanfield War*, de Robert Redford, est un film-fable qui raconte l'histoire de Joe Mondragon, un chicano solitaire et bricoleur qui irrigue son champ desséché de façon illégale, en utilisant l'eau qui était réservée pour un important projet d'aménagement. Étant donné qu'il s'agit d'une fable sous forme de long métrage et que le thème majeur du film se rapporte à l'eau et la sécheresse, Robert Redford a fait le choix fort de tourner une grande partie de son film à la lumière bleue et dorée, afin de créer une atmosphère magique et enchanteuse tout du long. Dans la séquence d'introduction du film, sur laquelle le générique défile, le ton burlesque et enchanteur est donné par la déambulation dansante d'un vieillard jouant de l'accordéon dans les rues du village alors que le jour se lève doucement (Figure 15).

---

22 Contraste : Rapport de lumière entre les extrêmes.



Figure 15: *Milagro Beanfield War*, de Robert Redford, 1988.

*Chef Opérateur : Robbie Greenberg.*

Tout au long de cette première séquence d'environ trois minutes, le chef-opérateur Robbie Greenberg joue sur les ombres et les basses lumières, afin de nous faire découvrir peu à peu le village paisible encore endormi sur lequel le jour se lève, de l'heure bleue à l'heure dorée. Il fait également le choix de silhouetter ce personnage burlesque qui traverse en dansant le village, comme une ombre chinoise ambulante, car celui-ci n'existe en réalité que dans l'imagination d'un autre personnage du film. Ce parti pris esthétique fort fonctionne parfaitement avec un soleil levant à contre-jour, qui donne de la matière à l'arrière-plan en découpant les nuages et en les colorant, comme dans le photogramme ci-dessus. Le contraste fort de la scène est ainsi facilement géré en plaçant son avant-plan dans les basses lumières. Ce personnage magique et irréel, dont nous ne connaissons que sa silhouette, nous entraîne ainsi dans cette fable sociale aux thèmes sérieux et engagés (les pauvres contre les riches, traditions et valeurs morales et humaines contre la modernisation déshumanisée, accompagnée de magouilles financières et politiques), mais traités de manière comique et fantaisiste.

Nous pouvons également noter l'ouverture du film *No country for old Men*, des frères Coen, qui commence par une voix off lancinante et mélancolique de Tommy Lee Jones, shérif du comté, qui raconte son incompréhension face au monde violent d'aujourd'hui. À l'image, nous assistons à une succession de plans à l'aurore, à l'aube, au petit matin, suivant le soleil qui se lève doucement sur les paysages du Farwest américain où vont se dérouler toute la fable tragique des frères Coen.

## 2. L'IRONIE TRAGIQUE

Quentin Tarantino, réalisateur américain, utilise la lumière du soleil levant au début de son film *Inglourious Basterds* (2009), pour montrer la vie paisible d'une famille fermière en France en 1941. Le premier plan apparaît, le ciel est bleu, les ombres sont longues, l'herbe dorée, rayonnante, tout comme les feuilles des arbres. Entre la maison et les vaches, un fermier coupe du bois, sa fille étend du linge. Nous avons ici tout le cliché de la famille rurale française, en harmonie avec la nature. Pourtant, nous sentons que quelque chose de terrible va se produire, car chez Tarantino, les situations sont très souvent teintées d'ironie tragique (Figure 16).



*Figure 16: Inglourious Basterds, de Quentin Tarantino, 2009.*

*Chef opérateur : Robert Richardson.*

Car cette ambiance en apparence paisible, une famille travaillant de bon matin dans leur ferme, tranche avec ce qui va se dérouler par la suite. Dans ce photogramme, Tarantino utilise la lumière particulière de l'heure dorée de manière astucieuse, associée avec un travail de cadre recherché. Au premier plan, le fermier a le regard plongé vers l'horizon, vers le hors-champ, où se situe notamment le soleil levant, bien face à lui. Paradoxalement, ce soleil levant n'est pas porteur de bonnes nouvelles, comme c'est généralement symboliquement le cas. Car en réalité, les yeux plissés du fermier causant un regard inquiet ne sont pas tellement dus au soleil levant qu'à la voiture qu'il voit arriver au loin, amenant un officier SS particulièrement redoutable sur ses terres. Par le travail du cadre, renforcé par le format cinémascope du film, nous avons l'impression que

son regard est bloqué par sa maison en arrière-plan. Celle-ci, à contre-jour, plongée dans l'ombre bleutée, cache en effet une famille de juifs, que l'officier allemand vient chercher. Tarantino joue ici avec astuce de l'atmosphère particulière de l'heure bleue dorée, en opposant lumière/ombre et chaud/froid, et au travers du travail du cadre.

En apparence classique, son utilisation de cette lumière s'avère très ironique pour ouvrir sa fable sur sa version de la résistance en France pendant la Seconde Guerre mondiale, commençant d'ailleurs son film par : « Once upon a time... in Nazi-occupied France ». Si la première partie de la phrase renvoie au classique de contes de fées, la suite dénote et promet une version originale et sanglante de la vie en France sous l'occupation nazie.



## B. EN FERMETURE DE FILM

Tout comme un soleil se lève et se couche, un film a un début et une fin. L'heure bleue dorée a donc souvent logiquement été utilisée pour clore l'histoire d'un film. C'est par exemple le cas de *Boyhood*, de Richard Linklater, sorti en 2014, mais qui a la particularité d'avoir vu son tournage s'effectuer par intermittence sur une période de 12 ans. Une temporalité véritable s'est ainsi écoulée au fil des séquences du film, créant ainsi un film quasiment unique dans l'histoire du cinéma. Lors de la séquence finale, le héros, Mason, qu'on suit depuis l'âge de 6 ans, se ballade dans les paysages désertiques de l'Ouest américain, placé face à quelque chose de nouveau pour lui et pour nous dans la diégèse du film : la fragilité d'une rencontre avec une fille qui ne le laisse pas indifférent (Figure 17).



*Figure 17: Boyhood, de Richard Linklater, 2014.*

*Chef-Opérateur: Shane F. Kelly.*

Shane F. Kelly fait le choix de placer cette rencontre sous une lumière crépusculaire aux teintes rougeâtres renforcées par les colorations chaudes du désert et de ses rochers. Nous ne sentons pas véritablement de direction de lumière, le soleil ne les atteignant pas directement, mais ses colorations rougeâtres/rosâtres jouent beaucoup sur eux et le ciel. Nous ne savons pas ici quelle est la part de l'étalonnage dans ce rendu de couleurs, mais nous pouvons quand même noter l'influence du décor, avec ses rochers et cette terre aux

couleurs plutôt chaudes. Le rendu de la peau prend ainsi un aspect caramélisé, lisse, bronzé, qui se fond un peu avec le décor, créant une seule teinte dominante, dans laquelle le bleu souvent évoqué n'existe absolument pas.

Après tout ce qu'on a vécu avec Mason, pendant 3 heures de film, pendant 12 ans de vie, en définitive, nous comprenons avec ce final que tout ne fait que commencer pour lui. C'est cela que symbolise l'utilisation de l'heure dorée ici : un jour se termine, un nouveau va vite commencer pour Mason.

## C. LA PRESSION TEMPORELLE

Les levers et couchers du soleil rythment nos journées de manière invariable. C'est donc un efficace marqueur de temps pour le cinéma, mais bien souvent réduit à une utilisation trop classique pour montrer le passage du temps. Mais au-delà de cette utilisation conventionnelle, certains réalisateurs ont parfois utilisé ces levers/couchers de soleil comme marqueur de temps mais de manière réfléchie et astucieuse. C'est par exemple le cas d'Alfonso Cuarón avec son film *Gravity*, sorti en 2013, qui est un film d'aventure spatiale racontant l'histoire de l'astronaute scientifique Ryan Stone, seule survivante d'une mission spatiale destinée à réparer le télescope Hubble. La mission a dégénéré suite à la présence de débris spatiaux tournant en orbite autour de la Terre, qui ont heurté leur vaisseau.

Comme l'intégralité (ou presque...) du film se déroule en orbite, à 400km au-dessus de la Terre, *Gravity* nous offre déjà un point de vue original sur les levers et couchers de soleil, que nous observons généralement d'un point de vue terrestre. Ici, on peut voir à plusieurs reprises le soleil sortir ou se cacher de derrière notre planète bleue depuis l'orbite terrestre (Figure 18).



*Figure 18: Gravity, d'Alfonso Cuarón, 2013.*

*Chef-Opérateur : Emmanuel Lubezki.*

Il en résulte des images étonnantes qu'on a rarement eu l'occasion de voir au cinéma : passant au travers de l'atmosphère terrestre qui paraît bien mince vu depuis l'orbite, le soleil rayonne dans l'obscurité inquiétante de l'espace, et crée un halo blanc et bleu sur le

contour arrondi de la Terre. Sur la gauche du photogramme, la Terre est de moins en moins éclairée et plonge dans une ambiance nocturne, avec quelques lumières de ville disséminées. Nous avons donc un énorme contraste entre le vide de l'espace et le soleil étincelant. Seulement, étant uniquement un travail d'effets spéciaux, le chef-opérateur Emmanuel Lubezki a pu aisément contrôler ses différents paramètres en vue de ses intentions esthétiques. Ainsi, au lieu de nous donner son interprétation d'un lever de soleil depuis l'espace, qui pourrait prendre bien des formes esthétiques, il a décidé de coller au plus près possible de la réalité. Au regard de quoi, nous pouvons mettre en parallèle une image semblable d'un lever de soleil depuis l'espace, mais issue d'une captation réelle prise depuis la Station Spatiale Internationale (Figure 19<sup>23</sup>) :



*Figure 19: Photographie d'un coucher de soleil pris depuis la Station Spatiale Internationale (ISS).*

Malgré les défauts de la caméra installée sur l'ISS (la Terre apparaît bien sombre, le trait orangé vertical est un défaut de smear, dont la cause est la pollution des registres verticaux du capteur CCD par une saturation trop importante<sup>24</sup>), nous nous rendons bien compte que le soleil devient effectivement orangé, quand il passe par la couche d'atmosphère, même observé depuis l'espace. Seulement, cette phase, au lieu de durer une dizaine de minutes comme sur Terre, ne dure ici qu'une dizaine de secondes, due à la fine couche d'atmosphère traversée, et la vitesse de déplacement de la station spatiale. En tout cas, nous nous rendons bien compte du soin apporté par le chef opérateur et l'équipe des

23 Source : « NASA Video : Earth From Space Real Footage - Video From The International Space Station ISS » (retransmission en direct sur youtube) – <https://www.youtube.com/watch?v=njCDZWTI-xg>

24 Source : BELLAICHE, Philippe, *Les Secrets de l'image vidéo*, Paris, Eyrolles, 2009, p. 169

effets spéciaux afin de créer une atmosphère réaliste, qui est le parti pris pour l'intégralité du film.

Du coup, bien que le film ne se déroule que sur quelques heures, nous retrouvons pourtant deux levers et deux couchers de soleil, dû au fait que nous nous trouvons en orbite autour de la Terre. Mais ces levers/couchers de soleil ne sont pas là que pour faire de belles images, mais jouent un marqueur de temps extrêmement important et contribuent au rythme et à la tension du film. En effet, l'inquiétude est créée par le passage redondant des débris dangereux et mortels en orbite autour de la Terre. Toutes les 1H30, ces débris auront fait le tour de la Terre et créeront un nouveau danger de mort pour Ryan Stone qui doit s'échapper et tenter de rentrer sur Terre. Ainsi, chaque minute qui s'écoule rapproche les débris de l'astronaute. Pour indiquer le le temps qui passe, et qui s'écoule en quelque sorte très rapidement dans l'espace, Cuaron utilise les levers et couchers de soleils.

Du fait de la situation, on peut lui accorder qu'il s'agit d'une utilisation certes conventionnelle dans le fond, mais originale dans la forme de l'heure dorée. Néanmoins, réduire ces levers et couchers de soleil à un marqueur de temps dans Gravity serait extrêmement réducteur. En effet, le réalisateur les utilise également tout au long du film de manière symbolique, pour accompagner l'évolution de la psychologie de son personnage principal.

## D. ANGOISSE, APAISEMENT, MÉLANCOLIE, DÉSESPOIR ET RENAISSANCE : LA METAPHORE FILÉE DE GRAVITY

*Gravity* est un film au scénario certes simple, mais pas simpliste. Il est rempli de symbolisme et de métaphores, plus ou moins évidentes. *Gravity* n'est au fond pas un film sur l'espace, mais une fable existentialiste sur le lâcher prise et le deuil de Ryan Stone, qui vient de perdre récemment sa fille de 4 ans dans un banal accident. Au fur et à mesure de ce film sur la renaissance d'une femme, Alfonso Cuarón fait apparaître plusieurs levers et couchers de soleil qui sont à chaque fois porteur d'un symbolisme fort.

### ANGOISSE

Au début du film, après un plan-séquence magistral de 15 minutes, des débris spatiaux viennent frapper la navette spatiale Explorer, ne laissant pour survivant que Ryan et Kowalski. Suite au choc, Ryan est à la dérive dans l'espace, perdue, désorientée et particulièrement angoissée. Elle tourne sur elle-même sans parvenir à s'arrêter et essaie de contacter Huston sans obtenir de réponses. La caméra est en gros plan sur Ryan, la suivant pendant qu'elle tourne sur elle-même puis s'éloigne doucement, passant au travers de sa visière, et finit par dévoiler dans le fond le soleil qui dépasse légèrement de la Terre (Figure 20).



*Figure 20 : Gravity, d'Alfonso Cuarón, 2013.*

*Chef-Opérateur : Emmanuel Lubezki.*

Alors qu'à la base, le soleil n'éclairait pas la navette, car caché par la Terre, la dérive de Sandra l'amène dans la lumière orangée du soleil, qui se lève au loin. En orbite, le temps et l'espace prennent une autre signification et une autre échelle. Il suffit à Ryan de se déplacer dans l'espace pour entrer dans le champ de l'heure dorée, ce qui n'est pas exactement faisable d'un point de vue humain et terrestre. Cependant, ce court passage dans la lumière du soleil sera rapidement suivi par un re-basculement dans le noir sidéral et inquiétant de l'espace (par la grâce d'un faux raccord lumière visiblement assumé par le réalisateur). Ainsi, la dérive de Ryan est, pour le coup, accentuée dans un premier temps par l'éclairement du soleil, qui offre un fort contraste à la scène et une coloration très orangée voire rougeâtre, pour souligner la peur et l'angoisse du personnage ; avant de retomber dans le noir. Le court passage par l'heure dorée offre alors une belle augmentation de la tension, et entre en parallèle avec l'obscurité qui la suit.

#### APAISEMENT/MÉLANCOLIE

10 minutes plus tard, Kowalski réussit à récupérer Ryan grâce à son MMU, un dispositif de manœuvre à propulsions qu'il porte dans son dos, et la tracte jusqu'à la station spatiale internationale, leur navette ayant été détruite. Le parcours dans l'obscurité sidérale est l'occasion d'une scène de calme et d'apaisement, après la catastrophe initiale. Le soleil se lève doucement derrière eux (voir Figure 18), entourant les personnages de flares et de halos circulaires. Kowalski évoque d'ailleurs la beauté irréaliste du paysage : « Magnifique n'est ce pas ? Le lever du soleil. C'est ce qui me manquera le plus. ». Mais il s'agit ici avant tout d'un moment nostalgique et douloureux pour Ryan, qui, au cours de la discussion, évoque la disparition récente de son enfant de 4 ans. Alfonso Cuarón associe le lever du soleil à la souffrance intérieure de Ryan, le premier étant tout aussi magnifique que sa douleur insupportable. La caméra, aérienne et d'une liberté inouïe, va d'ailleurs tourner autour du visage triste de Ryan pour filmer la Terre, lieu de vie et de morts des êtres humains, éclairée alors par une couleur orange/rouge qui nous rappelle la couleur de la mort.

## DÉSESPOIR

Après une heure de film, Ryan est désormais seule et son seul espoir de survie est d'atteindre la station spatiale Tiangong, à l'aide d'un petit vaisseau Soyouz, encore miraculeusement intact dans la station spatiale internationale, elle aussi détruite par les débris spatiaux. Cependant, elle se rend compte que son vaisseau n'a plus de carburant et hurle sa rage et son désespoir dans le vide de l'espace. La caméra recule alors, dévoilant la Terre dans l'ombre, le soleil disparaissant à l'horizon petit à petit. Ici, ce coucher de soleil symbolise bien évidemment la fin, la mort imminente de Ryan, qui voit ses faibles espoirs s'évanouir (Figure 21).



*Figure 21 : Gravity, d'Alfonso Cuarón, 2013.*

*Chef-Opérateur : Emmanuel Lubezki.*

## RENAISSANCE

Un peu plus tard, alors que tout espoir semblait perdu, Ryan réussit bien évidemment à rallier la station orbitale chinoise en s'aidant notamment d'un extincteur pour se diriger dans l'espace. Alors que la station chinoise, détruite par les débris elle-aussi, perd de l'altitude et commence à chuter vers la Terre, Ryan réussit à la rattraper grâce à l'extincteur et à pénétrer à l'intérieur, pour rejoindre une capsule de survie. Toute cette séquence est accompagnée d'un magnifique lever de soleil, qui symbolise le renouveau, la renaissance, voire la résurrection de Ryan, qui va finalement réussir à rentrer sur Terre (Figure 22).





*Figure 22 : Gravity, d'Alfonso Cuaron, 2013.*

*Chef-Opérateur : Emmanuel Lubezki.*

Tout au long du film, Alfonso Cuaron utilise de manière récurrente les levers et couchers de soleil afin de symboliser différents états psychologiques du personnage : angoisse, apaisement, mélancolie, désespoir, renaissance... Par le biais notamment des 4 photogrammes ci-dessus, nous voyons bien que les images semblent être en définitive très similaires, car offrent à chaque fois un point de vue identique sur le lever/coucher de soleil : celui de l'espace. Pourtant, nous pouvons noter des petites différences qui permettent au chef-opérateur de jouer sur le sentiment à créer :

- Les teintes sont légèrement plus rougeâtres dans le cas de l'angoisse que dans les 3 autres cas, afin d'accentuer la peur chez le spectateur.
- Les lumières de ville émanant de la Terre sont très présentes lorsque le lever de soleil symbolise la renaissance, alors qu'elles sont absentes dans le cas du désespoir, accentuant le contraste et donc l'effet sur le spectateur.

Ainsi, en jouant sur le contraste et la couleur, l'image suit les symboliques fortes créées par les levers et couchers de soleil.

## E. LE TRÉPAS VESPÉRAL ET CRÉPUSCULAIRE

Utilisée notamment dans *Gravity*, l'association du soleil couchant à la mort est une de ses symboliques les plus simples, mais pourtant assez forte. Par exemple, les scènes d'enterrements ont généralement tendance à se dérouler soit sous la pluie (un autre cliché), soit au crépuscule, comme c'est le cas dans *Django Unchained* de Quentin Tarantino, dans *Forrest Gump*, de Robert Zemeckis, et dans bien d'autres. Aussi, la figure du soleil couchant peut être utilisée pour symboliser non pas la mort directement mais l'approche de la mort, qui plane sur un personnage comme une ombre effrayante. Dans *True Grit*, des frères Coen, le marshall cavale à travers les paysages désertiques de l'Ouest américain avec entre ses mains la jeune Mattie Ross, qui est mourante à cause d'une morsure de serpent à la main. Sa seule chance de survie est d'atteindre un docteur très rapidement. Ils galopent donc toute la journée sur Blackie, le cheval de Mattie. Alors à peine consciente à cause du poison, Mattie regarde le soleil se coucher derrière les montagnes (Figure 23).



*Figure 23: True Grit, de Joel et Ethan Coen, 2010.*

*Chef-Opérateur : Roger Deakins.*

À contre-jour, les arbres défilants ne sont plus que des silhouettes noires, découpées par le soleil se couchant derrière une colline. Ici, le soleil est totalement clippé, créant un étalement ne permettant pas de distinguer la forme ronde du soleil. Ce coucher de soleil symbolise à la fois la course contre la montre qui s'est engagée et sa possible mort imminente. En conclusion, le marshall finira par atteindre le docteur et sauver la jeune fille, au terme d'une formidable chevauchée vespérale et crépusculaire.

Dans *Cyrano de Bergerac*, de Jean-Paul Rappeneau, la séquence finale se déroule à l'heure bleue le soir (au crépuscule). Cyrano rend visite à l'amour secret de sa vie, Roxane, en lui cachant qu'il est mortellement blessé. Ici, point de soleil, toute la séquence repose sur l'utilisation de l'heure bleue et de la tombée progressive de la nuit. Tout au long de la longue séquence se déroulant en extérieur sans lumière artificielle, le niveau baisse petit à petit, tout comme la vie de Cyrano s'écoule peu à peu de lui. Le déclin de la lumière accompagne symboliquement celui du personnage interprété par Gérard Depardieu (Figure 24).



*Figure 24: Cyrano de Bergerac, de Jean-Paul Rappeneau, 1990.*

*Chef-Opérateur : Pierre Lhomme.*

Nous constatons ici un niveau général faible mais surtout un contraste également faible, avec l'absence de haute lumière, voire même de moyenne. La tonalité est clairement bleutée, avec l'absence de toute autre teinte dans l'image. De plus, la lumière de l'heure bleue joue un rôle supplémentaire ici, car elle va dévoiler le secret de Cyrano. Depuis des années, celui-ci a en fait écrit en cachette toutes les lettres d'amour signées de Christian, l'amour de Roxane mort depuis quelque temps. Cyrano lit une de ces fameuses lettres à la tombée de la nuit, et se met alors à les réciter, les connaissant par cœur car en étant l'auteur, le faible niveau lumineux ne lui permettant plus de les lire. Roxane comprend alors que son véritable amour était Cyrano, qui meurt dans ses bras, avec la tombée de la nuit.

## F. SYMBOLIQUE DIVINE

Certains réalisateurs n'hésitent pas à utiliser la lumière de l'heure bleue dorée afin de connoter une symbolique divine. Un des exemples les plus frappants est le réalisateur américain Terrence Malick, qui, tout au long de sa carrière, a su saisir l'essence de cette lumière et l'incorporer à ses œuvres comme personne. Au cours de 7 films en 42 ans de carrière, Malick s'est créé son propre style, clairement identifiable par la composition millimétrée de ses plans et les mouvements de caméra d'une grâce inouïe grâce à une utilisation unique du steady-cam, la lumière naturelle saisie sur l'instant par des chefs opérateurs de talent (Nestor Almendros, Emmanuel Lubezki, Tak Fujimoto...), la narration et le montage déstructuré, l'utilisation de musiques classiques... Ses longs métrages s'ancrent tous dans le thème américain et romantique du rapport spirituel de l'individu à la nature, et témoignent tous d'une ambition manifeste : style ample, élégiaque, un goût prononcé pour les images métaphysiques et épiques, fascination mystique pour le monde naturel, plans contemplatifs et picturaux, intériorité des personnages, multiplicité des points de vue...

Nous retrouvons dans ces 7 films une utilisation récurrente de ce qu'on qualifie en général de lumière naturelle, mais qu'on devrait appeler chez Malick de lumière du Soleil, tant celui-ci prend une dimension importante. Néanmoins, nous pouvons distinguer 2 films pour lesquels l'heure bleue dorée a joué un rôle primordial : *Les Moissons du Ciel* et *Le Nouveau Monde*.

### LES MOISSONS DU CIEL : UN PARADIS SUR TERRE

*Les moissons du ciel*, deuxième film du réalisateur, sorti en 1978, raconte l'histoire de Bill, de sa petite amie Abby et de sa sœur Linda qui fuient Chicago pour faire les moissons au Texas. Voyant là l'opportunité de sortir de la misère, Bill pousse Abby à céder aux avances d'un riche fermier, qu'ils savent atteint d'une maladie incurable. Mais Abby finit par tomber amoureuse du fermier...

Malick et son chef opérateur Nestor Almendros ont fait un travail remarquable et

révolutionnaire à l'époque en tournant quasiment l'intégralité du film lors de l'heure bleue dorée sans avoir recours à l'artificialité de projecteurs. Techniquement, cela a induit l'utilisation d'objectifs à très grande ouverture, un renoncement à tout filtre devant la caméra, et évidemment un plan de travail très particulier, car de nombreuses scènes étaient tournées au moment des premiers et derniers rayons du soleil, ce qui eut pour conséquence d'étaler le tournage sur des mois et des mois. Du fait, peu après la moitié du tournage, Nestor Almendros dut céder sa place à cause d'engagements ailleurs à Haskell Wexler, qui continua l'esthétique du film avec une grande implication. Fidèle à ses ambitions esthétiques, Malick a quasiment tourné toutes ses séquences d'extérieur qu'au moment du lever et du coucher du soleil, offrant une teinte dorée et rougeâtre à son paysage magnifique de champs de blé (Figure 25).



*Figure 25: Les Moissons du Ciel, de Terrence Malick, 1978.*

*Chef-Opérateurs : Nestor Almendros et Haskell Wexler.*

Les photogrammes de ce genre sont nombreux dans le film, et il est impossible d'en choisir un plus représentatif qu'un autre. Les séquences d'heure dorée et d'heure bleue se succèdent tout au long du film, avec parfois une discontinuité qui a peu d'importance, allant de pair avec la narration et le montage déstructuré du réalisateur. L'atmosphère rayonnante et intense ainsi créée par l'heure dorée sur ces champs de blé où se déroule quasiment intégralement l'histoire du film permet de donner vie à ce paradis sur Terre (le

titre original étant : *Days of Heaven*), ce que symbolise cet endroit pour Bill, Abby et Linda ; avant de devenir un enfer à la fin, lorsque le riche fermier, se rendant compte de leur trahison, les chassera et y mettra le feu. Car c'est bien de ça qu'il s'agit de créer grâce à cette lumière particulière : un paradis perdu où s'entremêlent les passions et la nature humaine. Après avoir regardé le film, il paraît impensable que ce film aurait pu être tourné sous une autre lumière tant elle participe aux enjeux esthétiques et symboliques du scénario.

### LE NOUVEAU MONDE : UNE TERRE INNOCENTE ET VIERGE

Dans ce film datant de 2005, nous pouvons remarquer la similitude de démarche de tenter de retranscrire un paradis sur Terre par l'utilisation redondante de l'heure bleue dorée. Le film raconte l'histoire de John Smith, officier de l'armée britannique, qui vient de débarquer en 1607 avec des dizaines d'autres colons dans le « Nouveau Monde » : le continent américain, encore vierge et innocent. En cherchant de l'aide auprès des Indiens, John Smith découvrira une jeune femme fascinante : Pocahontas. Très vite, un lien puissant se créera entre eux.

Terrence Malick voulait tourner ce film comme un documentaire, de nouveau entièrement en lumière naturelle, sans aucun éclairage artificiel. Il faut noter que ce film comporte cependant beaucoup moins de scènes tournées à l'heure bleue dorée que *Les Moissons du ciel*. Mais celle-ci est utilisée à plusieurs moments symboliques, notamment pour montrer la relation entre John Smith et Pocahontas. Ici, l'heure bleue dorée n'a pas que pour fonction de donner vie et de symboliser le paradis originel, vierge, pur, innocent, que les colons britanniques vont souiller en apportant la soi-disant « civilisation », qui se traduit en réalité par la cupidité, l'envie et la possession. Elle permet également de traduire le trajet spirituel et intérieur de John Smith et de donner corps à sa relation avec Pocahontas, plus forte au final que l'amitié, et même que l'amour, qui se crée entre eux.

Dans la séquence d'où est tiré ce photogramme (Figure 26), John Smith et une poignée de soldats s'enfoncent dans la nature profonde au fil de l'eau, pour aller rencontrer les Indiens pour commercer. John sait également que Pocahontas sera probablement là-bas, l'ayant déjà rencontré auparavant.



*Figure 26: Le Nouveau Monde, de Terrence Malick, 2005.*

*Chef-Opérateur : Emmanuel Lubezki.*

Des plans à l'heure bleue succèdent à des plans à l'heure dorée, tout le basculement physique de cette lumière particulière est exprimé et montré dans cette séquence d'exploration. Dans ce photogramme, le soleil est couché depuis quelque temps, laissant une traînée rouge en bas de l'horizon, tandis que le ciel bleu profond envahit peu à peu l'espace. Le niveau faible fait que les arbres et les humains n'apparaissent qu'en silhouette. L'absence de soleil est ici remplacée par des torches de feu, qui créent deux points chauds dans l'image guidant notre regard vers l'embarcation.

Ici, Malick confère à la fois un aspect divin et une dimension mystique à l'heure bleue dorée, qui reste une des rares utilisations originales et complexes de cette lumière somptueuse.

## CONCLUSION PARTIE 1

Au cours de cette première partie, après avoir défini des termes importants, nous avons expliqué les origines de la lumière si particulière des levers et couchers de soleil : le mouvement de révolution de la Terre et l'atmosphère terrestre. Nous avons alors été en mesure de séparer précisément l'heure bleue et l'heure dorée, deux phases clés du basculement physique de lumière, et leur attribuer une durée en fonction d'une période et d'un lieu.

Par la suite, nous nous sommes rendu compte que ce basculement physique provoquait également un basculement physiologique (passage de la vision photopique à la vision scotopique, en passant par le mésopique) et mental chez l'être humain, et qu'il était associé à une lourde symbolique. Cette symbolique a été reprise à de nombreuses fois dans le cinéma pour signifier de nombreuses choses : l'apaisement, l'exaltation, le temps qui passe, le début, la fin, l'angoisse, le désespoir, la mélancolie, la renaissance, le trépas, le divin...

Évidemment, il s'agit ici d'un panorama non exhaustif mais assez représentatif de l'utilisation des levers et couchers de soleil au cinéma. Nous avons pu également remarquer que certains jouent sur l'heure bleue, d'autres sur l'heure dorée, d'autres sur le mélange des deux pour créer différentes atmosphères et donc créer différentes sensations. Nous ressortons par exemple de *Cyrano de Bergerac* avec une sensation bleutée et du *Nouveau Monde* avec une sensation dorée.

En tout cas, nous avons pu dégager trois caractéristiques sur cette lumière au travers de cette analyse de corpus :

- Une caractéristique géométrique, avec une lumière direct et douce en présence du soleil, puis totalement diffuse quand celui-ci disparaît à l'horizon.
- Une caractéristique quantitative, avec un niveau et un contraste mouvant.
- Une caractéristique qualitative, avec un basculement du chaud/doré au froid/bleuté, avec l'opposition soleil/ciel.

Intéressons-nous de plus près à ces trois caractéristiques dans la deuxième partie.



## **PARTIE 2**

# **UN BASCULEMENT PHYSIQUE TOTAL**

# CHAPITRE 1 : LA GÉOMÉTRIE DE L'HEURE BLEUE DORÉE

Dans cette deuxième partie, nous allons nous intéresser en détail au basculement physique de l'heure bleue dorée en termes :

- de géométrie de lumière, c'est-à-dire de directivité et d'angularité,
- d'intensité, c'est-à-dire en quantité,
- de qualité, c'est-à-dire en distribution spectrale, d'où découle la coloration.

Entre une élévation du soleil de  $-6^\circ$  à  $6^\circ$ , ces trois points se modifient fondamentalement, avec pour point central le passage du soleil sous l'horizon.

## A. LA SOURCE ET LE SUJET

En juillet 2015, j'ai effectué une expérience préliminaire afin de tenter de comprendre cette évolution et d'essayer de différencier des phases dans l'évolution de la lumière. Cette expérience consistait à filmer simultanément avec deux caméras et deux optiques identiques (deux Blackmagic Caméra Production 4K et deux Canon 24-105mm f4 série L) un coucher de soleil dans un paysage rural et son effet sur un modèle et une color checker<sup>25</sup>. Nous obtenons donc une image du soleil sur une caméra, et la lumière résultante sur le modèle et la color checker sur l'autre, tous deux prises exactement au même moment. J'ai effectué 9 prises de vue, à 9 élévations différentes, mais n'ai décidé de n'en conserver ici que 5 (Figure 27) qui permettent d'amorcer une analyse de l'évolution quantitative, qualitative et géométrique du coucher du soleil. Voici les paramètres et images des 5 plans retenus :

	HORAIRE	ÉLÉVATION	PARAMÈTRES CAMÉRA SOLEIL	PARAMÈTRES CAMÉRA SUJET
PLAN 4	21H35	$1,69^\circ$	F22 / $45^\circ$	F11 / $180^\circ$
PLAN 6	21H45	$0,33^\circ$	F22 / $120^\circ$	F8 / $180^\circ$
PLAN 7	21H47	$0,06^\circ$	F22 / $180^\circ$	F8 / $180^\circ$
PLAN 8	21H50	$-0,34^\circ$	F22 / $180^\circ$	F5.6 / $180^\circ$
PLAN 10	22H00	$-1,66^\circ$	F16 / $180^\circ$	F4 / $180^\circ$

<sup>25</sup> Color Checker : Mire de couleur de référence.

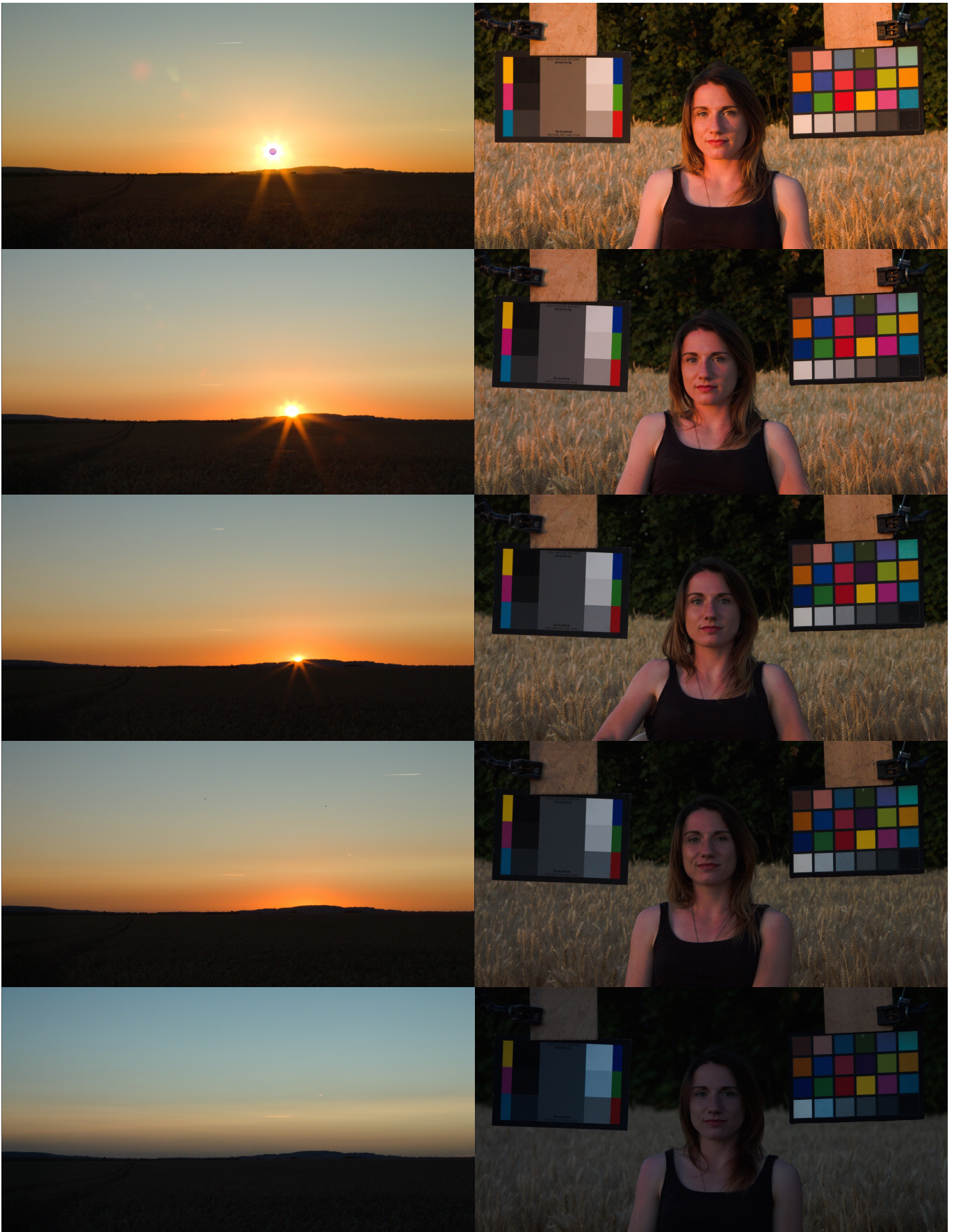


Figure 27 : Série de 2\*5 photogrammes issus de deux Blackmagic 4K montrant l'évolution d'un coucher de soleil.

En ce qui concerne le traitement de ces images, je les ai importées sur Da Vinci Resolve 11 pour les passer dans l'espace colorimétrique REC709. Je n'ai effectué aucune modification à l'étalonnage, l'exposition de ces images étant directement liée aux paramètres de prises de vues détaillés plus haut. De plus, l'artefact violet visible dans le premier photogramme est dû au phénomène de « Black Spot », sur lequel nous reviendrons dans la partie 3. Tout les autres détails de cette expérience préliminaire se trouvent en Annexe 2<sup>26</sup>.

Cette série de 2x5 photogrammes, espacés dans le temps de 25 minutes, nous permettent d'établir que la lumière d'un coucher de soleil change considérablement de géométrie, de quantité et de qualité dans un laps de temps très bref. En effet, nous pouvons déjà constater une baisse du niveau général, et ce malgré le fait que nous ayons essayé de compenser avec le diaphragme et l'obturation la perte de lumière. Nous pouvons également observer que le contraste, certes déjà peu élevé à la base, diminue sur le visage du modèle au fur et à mesure. Il est moins évident de discerner l'évolution du contraste du plan avec le soleil, qui nécessitera une étude plus approfondi par la suite.

La géométrie de la lumière change progressivement mais rapidement, passant de directe, avec le soleil présent à l'horizon, à indirecte lorsque celui-ci disparaît sous l'horizon.

Enfin, les colorations dorées des premiers plans s'effacent peu à peu pour laisser place à des colorations bleutées. Cependant, nous pouvons voir que les deux couleurs semblent cohabiter peu à peu pendant quelques temps, nous indiquant que nous ne passons évidemment pas instantanément de l'heure dorée à l'heure bleue. C'est dans ce subtil mélange de nuances du soleil et du ciel, du chaud et du froid, du rouge et du bleu, que nous trouvons la beauté et la complexité de l'heure bleue dorée.

Nous allons maintenant nous appuyer sur ces images pour développer l'évolution de la géométrie de la lumière lors de l'heure bleue dorée.

---

26 Annexe 2, p. 154

## B. LA GÉOMETRIE DE L'HEURE BLEUE DORÉE

L'ensemble des caractéristiques géométriques d'une lumière va désigner les directions de la lumière, et donc les positions de sources dans l'espace, leur angulation, leur taille, leur ponctualité ou au contraire leur réflexion, qui créent une lumière diffuse. Autant de caractéristiques qui vont influencer sur les dégradés et le rapport lumière/ombre, qu'on appelle aussi « modelé » de l'image.

En termes de géométrie, nous voyons bien sur le premier photogramme avec le modèle que la lumière est dirigée et ponctuelle. Le soleil encore entièrement présent à l'horizon offre une direction marquée de lumière, rasante, venant à l'horizontale, avec l'ombre du nez qui se projette sur la joue gauche du modèle. Les contours de cette ombre sont nets, dû à la source ponctuelle, mais elle n'est pas très dense, car la source secondaire -le ciel, adoucit particulièrement la lumière. Ceci est dû au fait que le rapport quantité de lumière soleil/ciel est beaucoup moins fort qu'au cours de la journée. En effet, durant la journée, la lumière réfléchie du ciel devient assez négligeable face à celle du soleil, créant non seulement des ombres denses, mais l'élévation haute du soleil amène ces zones d'ombres denses au niveau des yeux à cause de l'arcade sourcilière, ce qui n'est guère esthétique. Ceci, plus la difficulté des comédiens à ne pas plisser les yeux face au soleil, force généralement les chefs-opérateurs à placer ses comédiens dos au soleil en lumière naturelle en pleine journée, en « contre ».

À l'heure dorée, le soleil traverse une plus grande partie de l'atmosphère, qui diffuse et adoucit sa lumière, tout en gardant sa ponctualité. Son angularité basse amène également une intensité moins élevée, qui permet aux comédiens de pouvoir le regarder en face sans une trop grande gêne visuelle, et évite également l'éclairage « en douche » propre à la pleine journée. En résumé, au cours de l'heure dorée, le jeu des ombres varie en directivité, en surface (les ombres s'allongent énormément avec la lumière rasante) et en densité. Selon le décor environnant, qui réfléchit plus ou moins la lumière, ces ombres seront plus ou moins denses, même si elle reste beaucoup moins dense qu'en journée.

Au moment où le soleil passe sous l'horizon, dans le quatrième photogramme du soleil, en l'espace de cinq minutes, la lumière change radicalement de géométrie. La source ponctuelle a disparu, ne laissant place qu'à une source diffuse et gigantesque : le ciel, qui réfléchit la lumière du soleil. L'ombre du nez disparaît donc (quatrième photogramme du modèle), mais nous conservons cependant une légère direction de lumière provenant du même endroit.

Seulement, la différence entre la lumière solaire unidirectionnelle de l'heure dorée et la lumière plutôt multidirectionnelle diffuse de l'heure bleue est fondamentale. Alors qu'on pourrait qualifier la première de « lumière pleinement expressive [...], qui en modelant formes et contours, désigne l'objet, insiste, sépare, tranche, cisèle et souligne l'essentiel des formes, repoussant le secondaire en moindre valeur<sup>27</sup> », la seconde est un « éclairage vague, indécis, imprécis, [...] c'est-à-dire un éclairage neutralisant [...] une lumière annihilante<sup>28</sup> ». La première, visible, remarquable et faite pour être remarquée, hiérarchise les éléments, leur place dans l'espace, leur importance dans l'histoire. La seconde, par sa diffusion, englobe les personnages, les objets, ne souligne plus les éléments, mais les noie dans la masse, et trouble la perception du spectateur, qui n'arrive plus à clairement saisir les modulations lumineuses.

Mais il n'est pas ici question de hiérarchiser une lumière par rapport à l'autre. Ces deux styles de géométrie fondamentalement différents, qui basculent de l'un à l'autre en l'espace d'une dizaine de minutes, sont une incroyable palette plastique émotionnelle, qui doivent être utilisés avec soin par le chef-opérateur en fonction du sujet traité.

---

27 ALEKAN, Henri, *Des lumières et des ombres*, Editions du collectionneur, 2001, p. 32 et p. 33

28 ALEKAN, Henri, *Des lumières et des ombres*, Editions du collectionneur, 2001, p. 33 et p. 34

## CHAPITRE 2 : LA QUANTITÉ DE L'HEURE BLEUE DORÉE

Les caractéristiques quantitatives d'une lumière concernent tout ce qui a rapport à la quantité de lumière : l'éclairement, le contraste, la luminance, la puissance des sources... Et ramené à un système de prise de vue, on peut également évoquer : l'exposition, l'ouverture du diaphragme, le temps de pose, la sensibilité de la surface sensible...

Afin de bien comprendre les notions mises en jeu ici, il me semble utile de faire un point photométrique sur quelques grandeurs quantitatives.

### A. POINT PHOTOMÉTRIQUE

Pour que notre système visuel ou un système de prise de vue puissent voir un objet, celui-ci doit envoyer des luminances en direction de notre système considéré. Voici d'où proviennent ces luminances :

- Une source émet une quantité de lumière dans toutes les directions appelée FLUX LUMINEUX  $\Phi$ .
- Transmis dans une direction donnée dans un cône d'angle solide unitaire  $\Omega$  (exprimé en stéradian), ce flux lumineux est appelé INTENSITÉ LUMINEUSE  $I$ .
- Le flux lumineux reçu par unité de surface est appelé ÉCLAIREMENT  $E$ .
- Cet éclairement, modulé par la réflexion (dit aussi albedo) et la diffusion de l'objet, crée une LUMINANCE  $L$ .

De plus, ces grandeurs quantitatives peuvent s'exprimer dans deux systèmes distincts :

- Un système énergétique, qui représente une valeur objective.
- Un système lumineux, qui est pondéré par la réponse spectrale de l'oeil humain.

GRANDEUR	UNITÉ DE MESURE ÉNERGÉTIQUE	UNITÉ DE MESURE VISUELLE	FORMULE
Flux Lumineux $\Phi$	Watt (W)	Lumen (lm)	
Intensité Lumineuse <b>I</b>	W.Sr <sup>-1</sup>	Candela (Cd)	$I = \frac{\Phi}{\Omega}$
Éclairement <b>E</b>	W.m <sup>-2</sup>	Lux (=Lm.m <sup>-2</sup> )	$E = \frac{I \times \cos(\theta)}{D^2}$ <p><math>\theta</math> : angle d'incidence de la lumière sur la surface de l'objet D : Distance entre la source et l'objet</p>
Luminance <b>L</b>	W.m <sup>-2</sup> .Sr <sup>-1</sup>	Cd.m <sup>-2</sup>	$L = \frac{R \times E}{k}$ <p>R : Facteur de Réflexion de l'objet k : Facteur de Diffusion de l'objet</p>

R, le facteur de réflexion, dépend de la matière et de la couleur de l'objet considéré, qui se traduit par la division du flux réfléchi sur le flux incident. Par exemple, en moyenne, un noir basique possède un facteur de réflexion de 2%, un gris neutre de 18%, et un blanc basique de 80%.

K, le facteur de diffusion, dépend de la caractérisation de la surface de l'objet :

- Il est égal à 1 dans le cas d'un objet spéculaire (parfaitement réfléchissant, comme un miroir, renvoyant le rayon incident dans une seule direction)
- Il est égal à  $\pi$  dans le cas d'un objet Lambertien (parfaitement Mat, diffusant le rayon incident dans toutes les directions).
- Il est compris entre 1 et  $\pi$  pour un objet mixte, qui renverra le rayon incident principalement dans une direction, mais en le diffusant dans d'autres. Il est en moyenne de 3.



## B. LES CARACTÉRISTIQUES DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Dans notre cas, notre source de lumière principale est évidemment le soleil, dont voici quelques caractéristiques quantitatives<sup>29</sup> :

Rayon	696 000 km
Distance du soleil à la Terre	$150.10^6$ km (varie de 147 à $153.10^6$ km)
Diamètre apparent	32' (varie de 31'31" à 32'35") soit environ $0,5^\circ$
Puissance totale rayonnée	$3,86.10^{26}$ W
Éclairement énergétique extraterrestre (hors de l'atmosphère terrestre qui absorbe et diffuse en grande quantité l'éclairement)	$1367 \text{ W.m}^{-2}$
Éclairement énergétique global au sol	$705 \text{ W.m}^{-2}$
Luminance visuelle du soleil hors atmosphère	$1,9.10^9 \text{ cd.m}^{-2}$
Luminance visuelle du soleil au sol par temps clair au zénith	$1,47.10^9 \text{ cd.m}^{-2}$
Intensité moyenne du soleil	$2,25.10^{27}$ cd
Éclairement normal au sol	100 000 lux

Nous pouvons surtout retenir deux valeurs très importantes, celle de l'éclairement au sol par temps clair, d'environ 100 000 lux, et celle de la luminance visuelle au sol par temps clair, d'environ  $1,47.10^9 \text{ cd.m}^{-2}$ . Cependant, ces deux valeurs -énormes- concernent un soleil au zénith. Or, lors des levers et couchers de soleil, l'éclairement au sol et la luminance du soleil (et donc le contraste) varient nécessairement fortement, compte tenu de l'angularité et de l'épaisseur de la couche d'atmosphère que traverse le rayonnement électromagnétique du soleil à cette période-là. Au travers de deux séries de mesure, nous allons tenter de quantifier le basculement de l'éclairement et du contraste de l'heure bleue dorée.

---

29 SÈVE, Robert, *Science de la couleur, Aspects physiques et perceptifs*, Chalagam Edition, 2009, p. 44

## C. L'ÉCLAIREMENT MOUVANT DE L'HEURE BLEUE DORÉE

Afin de pouvoir déterminer empiriquement le basculement quantitatif de l'éclairément, nous avons décidé d'aller effectuer des mesures d'un coucher de soleil à Maray (41 320) le 19 mars 2016. Nous avons utilisé le luxmètre Illuminance Meter T10 N°00060 du laboratoire de sensitométrie de l'école Louis Lumière afin de mesurer l'évolution de l'éclairément créé par le soleil (source principale) et sa réflexion sur le ciel (source secondaire mais non négligeable). À intervalle de temps régulier, entre 18H15 et 19H40, nous avons effectué plusieurs mesures de l'éclairément pendant l'heure dorée et l'heure bleue, dont le résultat est montré dans le graphique suivant (Figure 28) :

Le protocole détaillé de ces mesures d'éclairément est disponible en Annexe 3<sup>30</sup>.

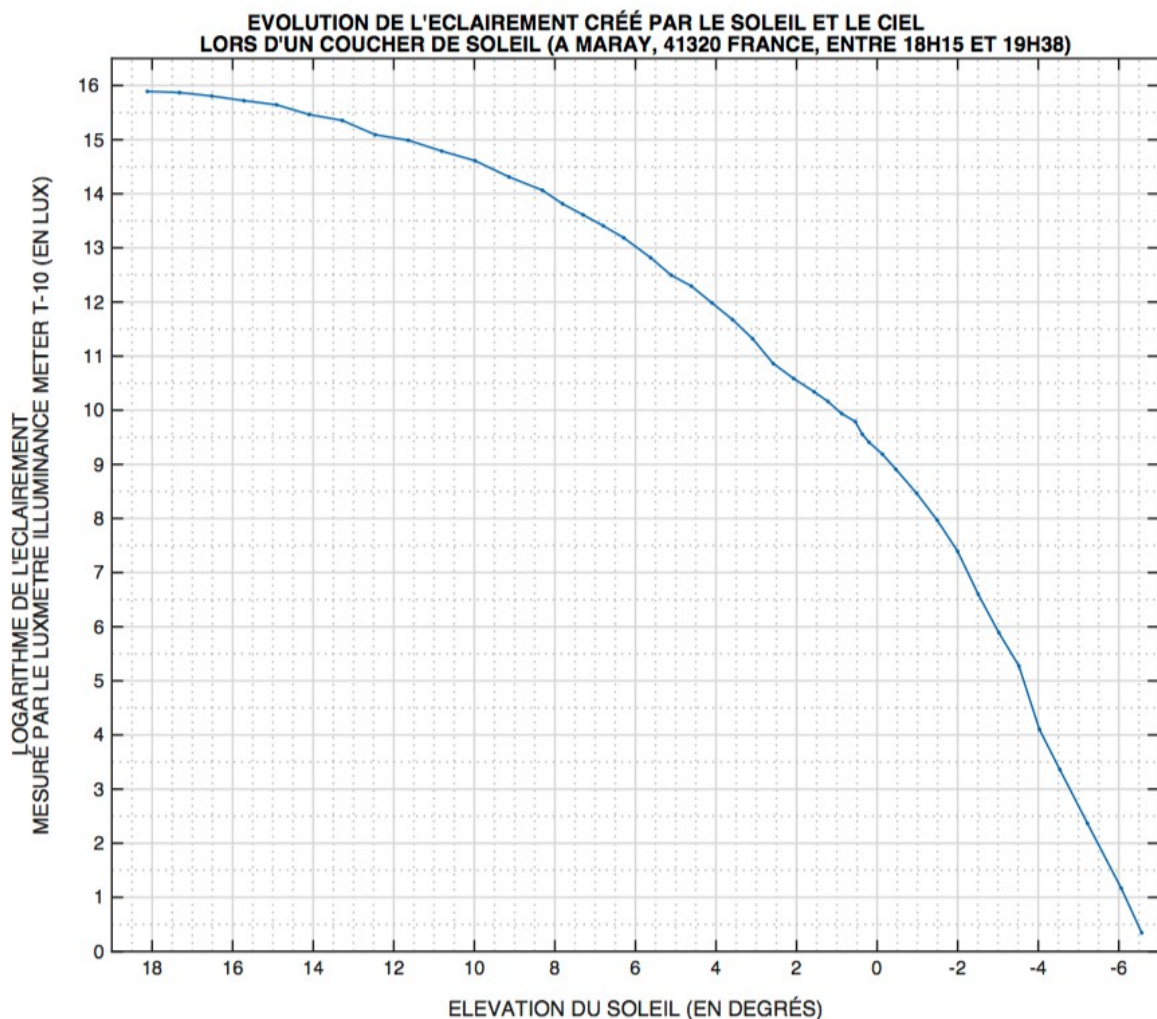


Figure 28 : Graphique indiquant l'évolution de l'éclairément lors d'un coucher de soleil.

À l'aide du site internet SunEarthTool, nous avons préféré indiquer l'élévation du soleil plutôt que l'heure (celle-ci ayant le défaut d'être à mettre forcément en relation avec une période de l'année et un lieu géographique, car il peut tout autant faire nuit noire ou encore grand jour à 18H par exemple). Nous avons également préféré indiquer le résultat en logarithme de base 2 car cela permet d'indiquer l'évolution de l'éclairement par une échelle EV<sup>31</sup>, plus parlante et pratique pour les chefs-opérateurs et les habitués de l'image. Ainsi, une diminution de la moitié de la lumière correspond à une baisse d'un EV. Cette échelle de valeurs relie le diaphragme au temps d'exposition selon la formule suivante :

$$2^{EV} = \frac{A^2}{t}$$

A : Diaphragme

t : Temps d'exposition

Nous constatons ainsi que l'évolution de l'éclairement est de plus en plus rapide au fur et à mesure que le soleil descend à l'horizon. En effet, à une élévation de 18°, l'éclairement du soleil est presque à son maximum, de l'ordre de 60 000 lux dans notre cas. Il faut savoir qu'en plein milieu de journée, avec un temps dégagé, le soleil peut produire un éclairement compris entre 50 000 et 100 000 lux. Si l'écart semble grand, il n'y a finalement qu'un seul EV d'écart entre les deux. Puis, alors que le soleil descend à la même vitesse, degré par degré, son éclairement va diminuer de plus en plus rapidement, presque de manière exponentielle :

- Avant l'heure dorée, entre 18° (à 17H10) et 6° (à 18H24), nous perdons à peine 3 EV en 1h14.
- Pendant l'heure dorée, entre 6° (à 18H24) et 0,37° (18H57), nous perdons environ 3 ½ EV en l'espace de seulement 42 minutes.
- Enfin, pendant l'heure bleue, entre 0,37° (à 18H57) et -6° (à 19H35), nous perdons un peu plus de 8 EV en seulement 38 minutes.

En définitive, de l'heure dorée à l'heure bleue, d'une élévation du soleil de 6° à -6°, par temps clair mais légèrement brumeux, c'est un basculement d'éclairement de l'ordre de **12 EV** qui est mis en jeu. Nous pouvons de plus noter ici que nous aurions pu nous attendre

---

<sup>31</sup> EV : Exposure Value.

à une chute brutale de l'éclairement au moment précis de la disparition du soleil à l'horizon, ce qui n'est finalement pas le cas, en partie dû à la présence de la brume, qui a minimisé l'importance du soleil par rapport au ciel au fur et à mesure que celui-ci se rapprochait de l'horizon. La baisse de l'éclairement est du coup de plus en plus rapide, mais de manière continue, sans saute brutale dans notre cas.

Évidemment, ce résultat est à relativiser, car il n'est conclu que sur une seule série de mesure, la durée du mémoire ne nous permettant pas d'en effectuer d'autres de manière répétée. L'évolution de la quantité de lumière, tout comme de la qualité, est fortement dépendante des conditions météorologiques et du lieu où nous nous trouvons. Le jour de ces mesures, une très légère brume présente à l'horizon a forcément fait varier les mesures. Mais si elles ne sont pas absolues, elles permettent cependant de se rendre compte du basculement d'éclairement à l'heure bleue dorée.

## D. LE CONTRASTE MOUVANT DE L'HEURE BLEUE DORÉE

Comme évoqué plus tôt, l'écart entre les luminances extrêmes d'un sujet constitue ce qu'on appelle le contraste. S'il n'y a pas de contraste, il n'y a pas d'image, juste un aplat uniforme. Il y a cependant quatre types de contraste que nous devons bien différencier :

- Le **Contraste Objet**, qui dépend de la matière et de la densité de l'objet uniquement, c'est-à-dire de son coefficient de réflexion. Il ne pourra être de 5 Ev 1/3 maximum, entre un blanc et un noir commun, éclairé uniformément par une source unique.
- Le **Contraste Éclairement**, qui est le contraste apporté par les différentes sources de lumière.
- Le **Contraste Sujet**, qui est le produit du contraste Objet par le contraste Éclairement, régi par la formule suivante :

$$\text{Contraste Sujet} = \text{Contraste Objet} \times \text{Contraste Éclairement}$$

C'est le contraste que l'on observe avec nos yeux ou avec notre système de prise de vue, celui auquel on fait le plus souvent allusion.

- Le **Contraste Image** est le contraste de l'image une fois projetée, et est donc dissocié ici de l'oeil, et ne s'entend que dans une logique de captation et de restitution d'images. Il dépend évidemment du contraste sujet enregistré par la caméra à la base, mais aussi du moyen de projection (télévision, cinéma, ordinateur...). Il est aujourd'hui impossible de maîtriser le contraste de tous ces éléments de diffusion, excepté celui de la salle de cinéma, qui est normé par le DCI-P3.

Un écart de contraste peut s'exprimer selon l'échelle EV déjà vu plus tôt selon la formule suivante :

$$2^{\text{DELTA EV}} = \text{Contraste Sujet}$$

Ainsi, un contraste sujet de 32:1 correspond à une différence de 5 EV entre la zone qui envoie la plus grande luminance vers notre point de vue, et celle qui envoie la plus faible luminance.

Un contraste sujet statistique moyen rencontré dans la nature a été évalué à environ 5 à 7 EV. Cependant, dans notre cas d'étude particulier, le contraste rencontré lors de l'heure bleue dorée peut s'avérer être bien supérieur à cela si nous considérons le soleil. En effet, si nous ne le considérons pas, mais juste un sujet éclairé par celui-ci, le contraste s'avérera assez faible pendant l'heure dorée et l'heure bleue, comme nous le montre les photogrammes du chapitre 1 de cette même partie.

En revanche, le contraste de l'heure bleue dorée -soleil compris- est extrêmement important et mouvant au cours du temps. Pour mesurer l'évolution de ce contraste, une première approche était de mesurer différentes zones (soleil, ciel, horizon...) à l'aide d'une cellule de mesure de la lumière réfléchie (spotmètre) afin de noter les EV correspondants à chaque zone au fur et à mesure de la descente du soleil à l'horizon. Malheureusement, ce procédé ne permettait pas de tenir compte du flare, plus important aux abords du soleil, qui aurait légèrement faussé les mesures.

Finalement, nous avons décidé d'utiliser un boîtier photo, le Nikon D800-E, pour prendre à intervalle régulier des photographies du paysage. Le flare était toujours présent, mais appliqué à l'ensemble de l'image de manière uniforme, ce qui permettait de ne pas en tenir compte (nous reviendrons sur le flare et son importance dans la partie 3). Connaissant en amont la courbe de réponse du capteur, nous pouvions alors déduire des valeurs numériques de la photographie la lamination subie par le capteur. Cette lamination, associée au temps de pose et au diaphragme affiché sur l'optique, permettait de déduire la luminance envoyée à l'appareil photo par chaque zone du paysage, grâce aux formules de l'éclairage image et de la lamination :

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

Grâce à la formule de calibrage des spotmètre, nous pouvions alors déduire un EV correspondant pour chaque zone de l'image en fonction de la sensibilité :

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

L = Luminance

S : Sensibilité de la surface photo, que nous avons fixé à 100

k : constante fixé à 12,5 (mais varie selon les époques et les lieux)

Nous pouvons ainsi en conclure que :

$$2^{EV} = \frac{H \times A^2 \times S}{0,64 \times t \times k}$$

et donc que :

$$EV = \log_2 \left( \frac{H \times A^2 \times S}{0,64 \times t \times k} \right)$$

Nous avons alors choisi 4 zones de l'image pour traduire les valeurs numériques en EV en fonction des paramètres évoqués juste au-dessus : le soleil, le ciel assez haut sur l'horizon, le ciel bas sur l'horizon, et le champ au premier plan à contre-jour (Figure 29).

Compte tenu du grand contraste causé par la présence du soleil dans le champ sur certaines images, deux photographies successives mais à des expositions différentes ont été nécessaires, afin de couvrir l'intégralité du contraste de l'image.



Figure 29 : Photographie d'un coucher de soleil à une élévation de  $6^\circ$  faites avec un Nikon D800-E (f22, 1/125, 100 isos), avec indiqué les EV pour quatre zones de l'image particulière.

Le protocole détaillé de ces mesures du contraste est disponible également en Annexe 3<sup>32</sup>.

La photographie a été retouchée afin de rendre visible à l'oeil nu toutes les zones de l'image, bien que le contraste entre elles soit très important. Dans cette photographie, le soleil est évidemment clippé, et de loin. Nous constatons que le contraste est ici d'au moins 14,1 EV, car malgré un temps d'exposition très court et un diaphragme très fermé, la luminance du soleil est telle que le capteur a quand même saturé.

À une élévation de  $6^\circ$ , le soleil possède donc encore une luminance bien trop forte pour être filmé sans clipper. Cependant, l'étude du contraste mouvant de celui-ci nous démontre que le contraste de la scène diminue logiquement avec l'élévation du soleil. En prenant plusieurs photographies au cours du temps et de la descente du soleil, nous obtenons alors l'évolution du contraste que je précise dans le tableau ci-dessous :

---

32 Annexe 3, p. 156



Élévation du soleil	Soleil	Ciel assez haut sur l'horizon	Ciel bas sur l'horizon	Le champ	Contraste sujet de la scène
6°	+ 27	18,6	17,7	12,9	<b>+14,1</b>
3°	24,4	17,3	15,9	11,6	<b>12,8</b>
1,22°	16	16,3	14,7	10,6	<b>5,7</b>
0,47°		14,6	13	9,4	<b>5,2</b>
-6°		7,1	5,6	1	<b>6,1</b>

Finalement, au cours du temps, le contraste énorme se réduit peu à peu. Lorsque le soleil était vraiment bas à l'horizon, la brume légère présente lors de ce test a permis de diminuer en grande partie sa quantité de lumière. Juste avant sa disparition à l'horizon, le soleil n'était plus qu'à EV 16, le ciel à EV 16,3 et le champ à EV 10,6.

Nous pouvons même remarquer que le ciel était alors la plus haute luminance de notre sujet à ce moment-là. Ainsi, nous avons obtenu à 1° d'élévation un contraste de l'ordre de 5,7 EV, ce qui représente un contraste sujet statistique moyen.

Cependant, il faut bien relativiser ce contraste et le mettre en accord avec les conditions météorologiques du jour des mesures. En réalité, sans la légère brume, le soleil aurait conservé un EV plus élevé que le ciel alentour, et le contraste aurait été un peu plus grand. Selon qu'il y ait des nuages, de la brume, un ciel dégagé... le contraste réel de la scène se modifie totalement.

Afin d'en être persuadé, nous avons effectué à nouveau des mesures du soleil couchant avec un spotmètre le samedi 7 mai 2016. Malgré le léger défaut de flare du spotmètre, il nous donne une indication intéressante sur l'évolution du contraste mouvant par temps clair. Nous l'avons également réglé sur ISO 100, pour être raccord avec nos mesures précédentes.

Élévation du soleil	Soleil	Ciel assez bas sur l'horizon	Ciel haut sur l'horizon	Le champ d'herbe	Contraste sujet de la scène
2,97°	+30	15	16	12	<b>+18</b>
1,47°	24	15	15	10,5	<b>13,5</b>
0,73°	22	14	14	10	<b>12</b>
0°	20,5	13	13,5	9,5	<b>11</b>
-0,73°	18,5	12,5	12,5	8,5	<b>10</b>
-4,27°		7,5	7,5	3,5	<b>4</b>

Enfin, nous nous rendons compte de la similitude de l'évolution du contraste passant d'un coucher de soleil, mais dans des proportions plus grandes ici, dues au temps parfaitement clair. Le contraste est encore énorme à 3° d'élévation, mais le soleil couchant, traversant une épaisse couche d'atmosphère, voit sa luminance se réduire peu à peu. À 0,73°, juste au moment de son passage sous l'horizon, il n'est plus qu'à EV 18,5. Le contraste de la scène est alors de 10 EV, plus grand qu'un contraste moyen, car nous avons quand même une source dans notre sujet, mais beaucoup moins élevé que le contraste énorme de plus de 18 EV lorsque le soleil est encore un peu haut à l'horizon.

Pendant l'heure bleue, le contraste continue de se réduire, jusqu'à être particulièrement réduit : 4 EV de contraste sujet à -4,27° d'élévation. Nous nous rendons donc compte que le contraste passant de l'heure dorée diminue de manière progressive avec la descente du soleil, jusqu'à être 'raisonnable' au tout dernier moment, lorsque le soleil passe sous l'horizon. Puis, pendant l'heure bleue, le contraste se réduit énormément, dû à la lumière diffuse et à l'absence d'une source de lumière ponctuelle. Ces mesures du contraste seront nécessairement à rapprocher des capacités des caméras numériques à enregistrer plus ou moins de contraste d'une scène dans la troisième partie de ce mémoire.

# CHAPITRE 3 : LA QUALITÉ DE L'HEURE BLEUE DORÉE

## A. POINT COLORIMÉTRIQUE

Au-delà de la géométrie particulière due à l'angularité basse du soleil à l'horizon, de l'affaissement/remontée rapide de l'éclairement et du contraste mouvant, les levers et couchers de soleil sont également très saisissants en termes de coloration. Avant de comprendre comment se créent exactement physiquement ces colorations, nous devons préciser en amont ce qu'est au juste une couleur. Or, toute la difficulté du domaine de la colorimétrie repose sur le fait de créer des bases objectives à une réalité subjective. En effet, la couleur est une sensation visuelle liée au mécanisme de notre vision qui dépend de quatre éléments :

- La source d'éclairage, avec ce qu'on appelle sa distribution spectrale, c'est-à-dire l'émission énergétique de la source de lumière pour chaque longueur d'onde.
- L'objet éclairé, avec son coefficient de réflexion spectral, qui est l'émission énergétique de l'éclairage modulée par la capacité de l'objet à transmettre ou à absorber les différentes longueurs d'onde.
- L'oeil : avec la psychophysique de notre système de perception, que nous avons déjà étudié en amont (les cônes, bâtonnets, vision photopique, mésopique, scotopique...).
- Et le cerveau, qui contient nécessairement une interprétation culturelle et sociale.

Il existe un grand nombre d'attributs caractérisant l'apparence chromatique mais le caractère trivariant de la couleur amène à en privilégier un ensemble de trois<sup>33</sup>, qui sont généralement :

---

33 SÈVE, Robert, *Science de la couleur, Aspects physiques et perceptifs*, Chalagam Edition, 2009, p. 6

- La clarté, c'est-à-dire la luminosité de la couleur.
- La teinte, c'est-à-dire la tonalité de la couleur.
- La saturation, c'est-à-dire la pureté, la chroma de la couleur.

Cette rapide base de colorimétrie va par la suite nous servir dans notre étude de l'évolution de la qualité de lumière de l'heure bleue dorée. Pour l'étudier, nous allons nous intéresser à la distribution spectrale particulière de notre source d'éclairage principale : le soleil, et secondaire : le ciel, qui sont évidemment dues à l'atmosphère terrestre et à la diffusion de Rayleigh, déjà évoquées en première partie du mémoire.

## B. LA RÉPARTITION SPECTRALE DE L'HEURE BLEUE DORÉE

Les caractéristiques qualitatives d'une source de lumière vont désigner tout ce qui se rapporte à sa répartition spectrale (ou distribution spectrale).

De cette répartition spectrale, nous pouvons déduire la luminance énergétique, qui correspond à la somme des émissions énergétiques pour chaque longueur d'onde multiplié par le pas d'analyse, et la luminance visuelle, qui tient compte de la sensibilité particulière du système visuel humain. Il faut ici bien distinguer le système visuel, qui contient une part de psychophysique, et le domaine radiométrique, qui repose juste sur la physique.

Nous pouvons également déduire de cette répartition spectrale ce qu'on appelle communément la température de couleur proximale, ou température de couleur corrélée. Cette notion de température de couleur (TC) est fondée sur la loi du rayonnement thermique du corps noir énoncé par Planck, selon laquelle tout corps émet à toute température un rayonnement électromagnétique à spectre continu -le rayonnement thermique- qui ne peut dépasser une valeur maximale obtenue pour un corps particulier : le radiateur thermique idéal, ou radiateur de Planck, ou encore corps noir.

Cependant, nous ne pouvons parler de température de couleur que lorsque le spectre est suffisamment continu sur le domaine visible, afin de pouvoir le comparer à un illuminant référent, qui sont des modèles théoriques de répartition spectrale, correspondant à des températures de couleurs bien définies.

Voici quelques illuminants usuels définis par la CIE (Figure 30<sup>34</sup>) :

- L'illuminant type A, relatif à une source à incandescence typique, rayonnant selon la loi de Planck, avec une TC d'environ 2855 K.
- L'illuminant type B, qui correspond à un rayonnement solaire direct, à 4870 K, mais qui a été infirmé depuis sa création et n'est plus utilisé.
- L'illuminant type C, correspondant à la lumière du jour à une température de 6780 K, qui n'est également plus utilisé mais a été cependant conservé pour maintenir une certaine continuité.
- Les illuminants type D (pour Daylight), qui représentent différentes phases de la lumière naturelle :
  - D65 : à 6500 K
  - D55 : à 5500 K
  - D75 : à 7500 K

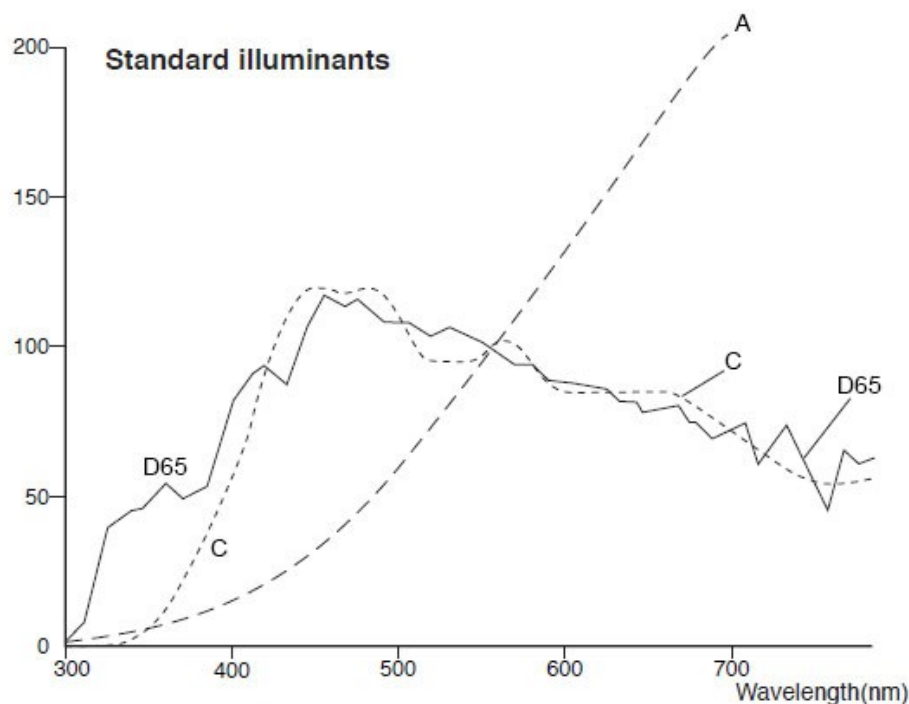


Figure 30 : Graphique indiquant la répartition spectrale de trois illuminants (A, C et D65).

34 Source : <http://sensing.konicaminolta.us/2013/11/understanding-standard-illuminants-in-color-measurement/>

Nous constatons que la répartition spectrale de l'illuminant type D65 est continue entre 380 et 780 nanomètres. Aujourd'hui, il est possible de reconstituer simplement une infinité de phase de la lumière du jour avec trois répartitions spectrales ainsi que deux coefficients ajustables<sup>35</sup>. Cependant, au lever et au coucher du soleil, le basculement qualitatif important et particulier de lumière provoque des répartitions spectrales non continues sur le domaine visible, ne permettant pas l'utilisation d'illuminant de référence pour qualifier ce moment précis de la journée, et rendant quelque peu caduque le terme de température de couleur, même si elle fournit toujours une information intéressante.

Afin de comprendre au mieux le basculement de la distribution spectrale au lever et au coucher du soleil, nous avons décidé d'effectuer nous-mêmes des mesures avec un instrument de mesure spécialisé, le spectroradiomètre CS2000, qui relève pour chaque longueur d'onde du domaine visible l'émission énergétique. Nous avons décidé de mettre en place un dispositif permettant d'effectuer des mesures dissociées du ciel et du soleil, en plaçant une sphère d'intégration à double entrée, une orientée vers le ciel bleu à 90° avec l'horizon, et une vers le soleil levant/couchant. L'utilisation de tubes noirs nous a permis de limiter l'influence de la lumière de l'un sur l'autre. Ainsi, nous pouvions bien dissocier le ciel du soleil pour comprendre l'évolution de chacun au cours du temps, ou plutôt en fonction de l'élévation du soleil par rapport à l'horizon. Le protocole détaillé de ce test effectué le 19 mars 2016 dans le Loir-Et-Cher est disponible en Annexe 4<sup>36</sup>. Nous ne montrons ici que les résultats exprimés sous forme de graphique en trois dimensions, montrant l'évolution de la distribution spectrale dans le domaine du visible d'usage de la colorimétrie (380 à 780 nanomètres), normalisé autour de la longueur d'onde 550 nanomètres, en fonction de l'élévation du soleil à l'horizon.

Nous présentons donc 4 graphiques différents :

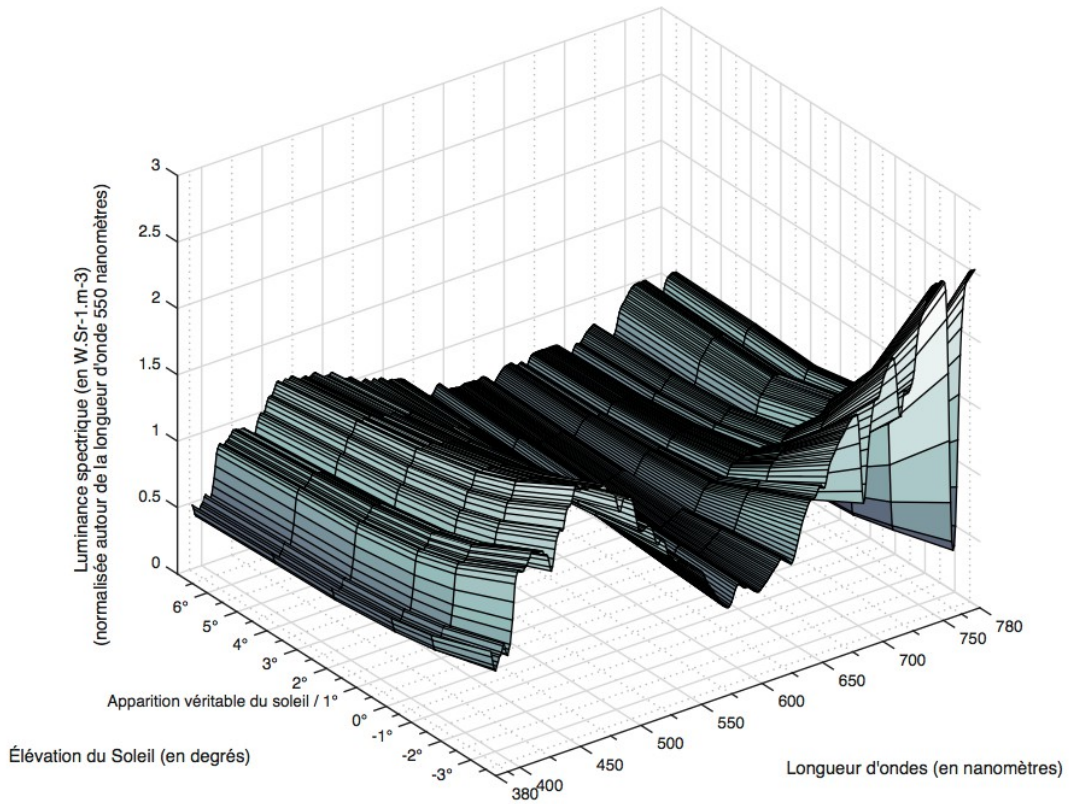
- La répartition spectrale du ciel le matin, à l'aube et à l'aurore (Figure 31).
- La répartition spectrale du soleil le matin, à l'aube et à l'aurore (Figure 32).
- La répartition spectrale du ciel le soir, au vespéral et au crépuscule (Figure 33).
- La répartition spectrale du soleil le soir, au vespéral et au crépuscule (Figure 34).

---

35 W. RODIECK, Robert, *La vision*, de l'ouvrage original : *The First Steps in Seeing*, 1998, Editions de Boeck, 2003, p. 47

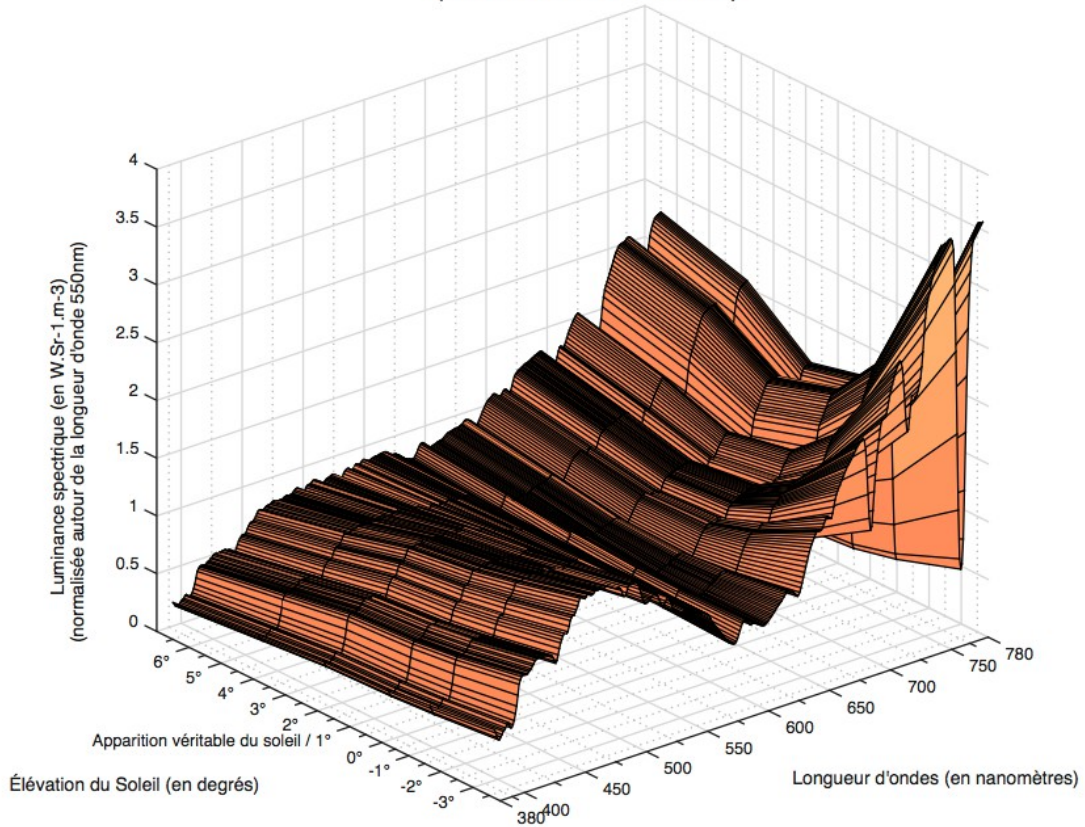
36 Annexe 4, p. 159

**DISTRIBUTION SPECTRALE DU RAYONNEMENT DU CIEL A L'AUBE ET A L'AURORE  
(LE 19/03/16 à LURY-SUR-ARNON)**



*Figure 31 : Répartition Spectrale du Ciel à l'aube et à l'aurore.*

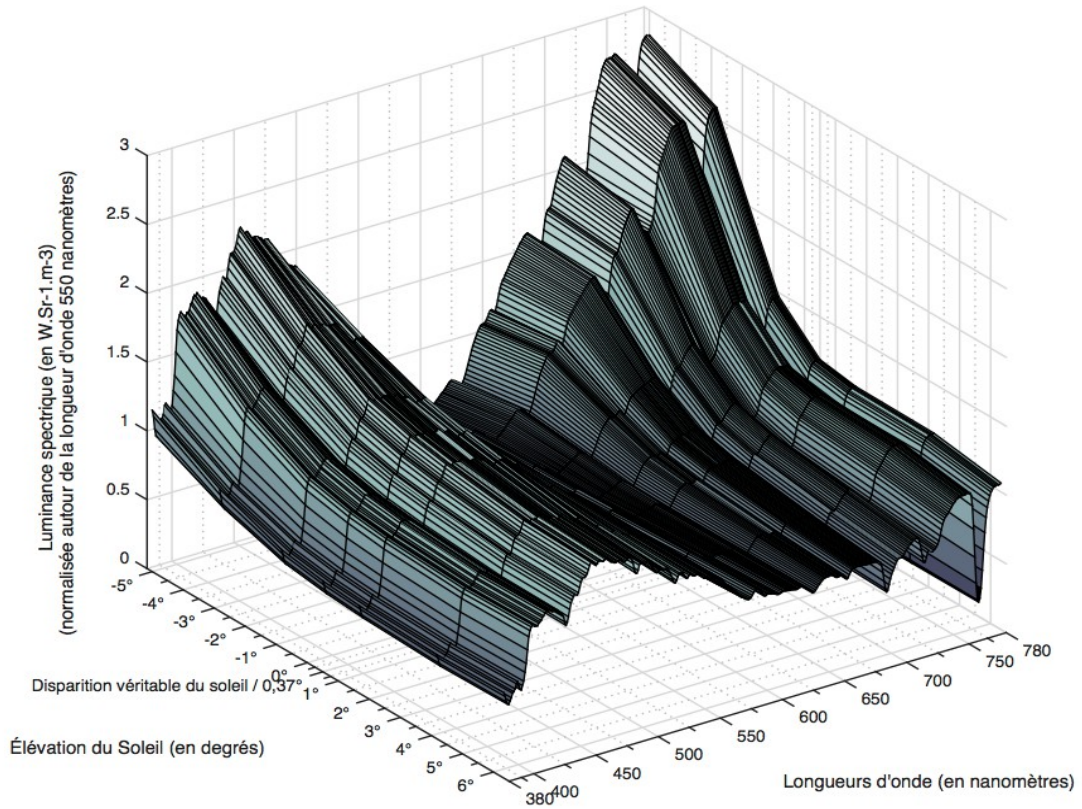
**DISTRIBUTION SPECTRALE DU RAYONNEMENT DU SOLEIL A L'AUBE ET A L'AURORE  
(LE 19/03/16 à LURY-SUR-ARNON)**



*Figure 32 : Répartition Spectrale du Soleil à l'aube et à l'aurore.*

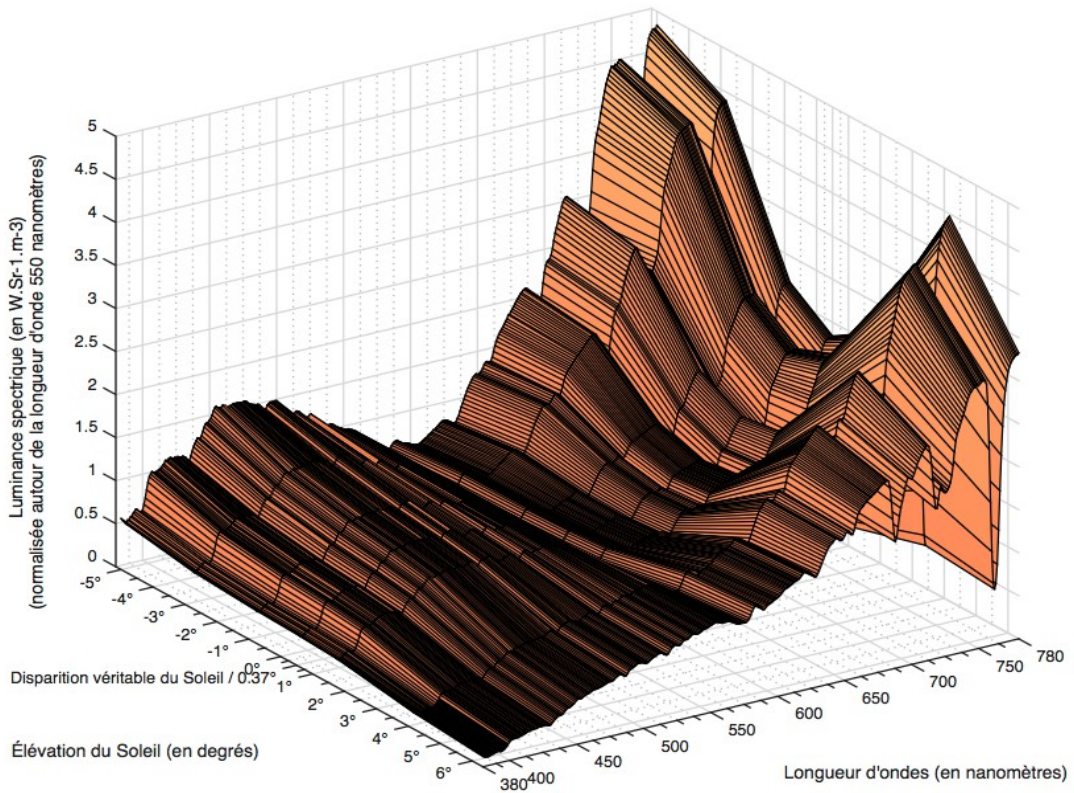


**DISTRIBUTION SPECTRALE DU RAYONNEMENT DU CIEL AU VESPERAL ET AU CREPUSCULE  
(LE 19/03/16 à MARAY)**



*Figure 33 : Répartition Spectrale du Ciel au vespéral et au crépuscule.*

**DISTRIBUTION SPECTRALE DU RAYONNEMENT DU SOLEIL AU VESPERAL ET AU CREPUSCULE  
(LE 19/03/16 à MARAY)**



*Figure 34 : Répartition Spectrale du Soleil au vespéral et au crépuscule.*

Cependant, il faut noter que ces mesures, tout comme celles de l'éclairement et du contraste, ont été effectuées par temps relativement clair, mais avec une légère brume à l'horizon, diminuant la quantité du soleil, et donc l'influence de son spectre comparé à celui du ciel.

#### ANALYSE DE LA DISTRIBUTION SPECTRALE DU CIEL LE SOIR

À une élévation de  $6^\circ$ , nous pouvons constater que le ciel présente encore une distribution spectrale proche de l'illuminant type D, avec un spectre continu et quasiment uniforme. Par la suite, au fur et à mesure que le soleil se rapproche de l'horizon, un creux va se créer dans les moyennes longueurs d'onde (entre 550 et 600 nanomètres, correspondant au vert). De part et d'autre du spectre, la proportion du rayonnement envoyé par les courtes longueurs d'onde (correspondant au bleu) et par les grandes (correspondant au rouge) vont considérablement augmenter. Après le coucher du soleil, le phénomène se poursuit en s'accroissant.

Nous pouvons noter que contrairement à ce qui paraissait évident, le ciel ne dispose pas d'une répartition spectrale importante que dans le bleu. Les longueurs d'onde du rouge, bien que plus irrégulières (la présence de plusieurs « trous » est sûrement due à la pollution généralisée en France), atteignent pour certaines valeurs des énergies spectrales supérieures au bleu. Seulement, il faut prendre également en compte que si la barrière des 780 nanomètres est une limite d'usage en colorimétrie, l'oeil humain ne peut en réalité voir aussi loin (nous nous arrêtons plutôt aux alentours de 700 nanomètres). Tout de même, cette remontée des longueurs d'onde rouge pourrait permettre d'expliquer dans une certaine mesure le magenta que nous retrouvons souvent lors des levers et couchers de soleil.

#### ANALYSE DE LA DISTRIBUTION SPECTRALE DU SOLEIL LE SOIR

La répartition spectrale de la lumière du soleil est plus particulière car elle suit un double basculement. À la différence du ciel dont les courtes et grandes longueurs d'onde suivaient la même évolution dans le même temps, le rouge et le bleu se comportent différemment ici :

- Dans un premier temps, à  $6^\circ$ , le spectre est bien plus proche d'un illuminant A (source à incandescence) que d'un illuminant D, avec de plus en plus d'énergie spectrique au fur et à mesure qu'on se rapproche des grandes longueurs d'onde, correspondant au rouge. Cette distribution met du coup bien en évidence le côté orangé, voire rougeâtre que prend le soleil bas sur l'horizon.
- Dans un second temps, entre  $4^\circ$  et  $0^\circ$ , les grandes longueurs d'onde vont alors diminuer (mais reste tout de même en plus grande proportion que le reste) jusqu'au passage du soleil sous l'horizon, tandis que les courtes longueurs d'onde vont au contraire augmenter dans le même temps.
- Dans un dernier temps, entre  $0^\circ$  et  $-6^\circ$ , les courtes longueurs d'onde continuent d'augmenter au même rythme alors que les grandes longueurs d'onde vont se mettre à ré-augmenter. Après le coucher du soleil, nous retrouvons alors quasiment le même modèle que la distribution spectrale du ciel à la même élévation, mais la part de longueurs d'onde en rouge est cependant bien plus importante, tandis que celle en bleu l'est moins. Bien que caché par l'horizon, le soleil continue de rayonner dans cette direction.

#### DIFFÉRENCES ENTRE LE MATIN ET LE SOIR

Au premier abord, nous pouvons remarquer que les comportements du ciel et du soleil sont logiquement identique entre un matin et un soir. En réalité, si la distribution spectrale du ciel est très identique, nous pouvons noter une petite différence dans celle du soleil. À  $6^\circ$  d'élévation, le soleil présente un peu moins d'énergie spectrique dans les bleus et plus dans les rouges (environ 1,5 à 2 fois plus) le soir que le matin. Cette proportion se conserve globalement à toutes les élévations, sauf pour les courtes longueurs d'onde qui finissent par se rejoindre à  $-6^\circ$ . Cette proportion légèrement supérieure en rouge pour le soir semble conforter une impression commune généralisée qu'un coucher de soleil est plus rougeâtre qu'un lever...

Mais pour quelles raisons ?

Enfin, nous avons déjà constaté plus tôt qu'il n'y avait pas de différence de vitesse d'élévation du soleil entre un matin et un soir. Donc fondamentalement, la position relative de la Terre par rapport au soleil est symétrique à une élévation donnée entre un matin et un soir. La seule différence qui entre alors en jeu est la couche d'atmosphère que va traverser le soleil. La pollution, par exemple, peut jouer un rôle très important dans des changements de spectre solaire, nous privant de certaines parties du spectre du soleil. C'est pour cette raison que nous nous sommes éloignés de la région parisienne et sommes allés faire les mesures dans le centre de la France, pour la limiter au maximum de nos possibilités. Cependant, la qualité de l'air n'est cependant pas la même entre un matin et un soir, même en plein centre de la France.

En effet, un autre élément varie souvent entre un matin et un soir, et modifie la composition de la couche d'atmosphère que traverse le soleil : la température. Logiquement, elle est nécessairement plus élevée d'au moins quelques degrés (mais souvent plus) un soir qu'un matin. Cette variable permet sûrement d'amener un coucher de soleil plus rougeâtre au vespéral qu'à l'aurore. Encore une fois, tout comme pour les mesures de l'éclairement, ces tests n'ont pu être effectués qu'une seule fois à cause de moyens pratiques et financiers. Ils ne permettent malheureusement pas de conclure avec certitude sur la distribution spectrale du ciel et du soleil le matin et le soir, qui est nécessairement un peu différente tous les jours. Il faudrait effectuer ces mesures sur une année entière pour conclure une moyenne et suivre avec précision l'évolution de la qualité de lumière, pour un lieu donné. Mais cette série de mesure unique effectuée le 19 mars dans le Loir-et-Cher réussit cependant à nous fournir une idée générale de l'évolution de la qualité de lumière. Nous pouvons déjà émettre l'hypothèse que par un temps plus clair, le soleil serait plus présent, et le basculement de la répartition spectrale de celui-ci à l'approche de l'horizon serait encore plus important. Ces grandes longueurs d'onde correspondant en rouge seraient présents en plus grande quantité, jusqu'à son passage sous l'horizon.

À titre indicatif, bien que la température de couleur corrélée ne puisse s'appliquer à des spectres discontinus et ne renseigne pas correctement sur le basculement des courtes et grandes longueurs d'onde que nous pouvons constater ici, la voici à titre indicatif, issue

des mesures du CS2000 :

Elévation	6°	5°	4°	3°	2°	1°	0°	-1°	-2°	-3°	-4°	-5°	-6°
TC corrélée Ciel	8750	8650	9000	9200	9550	10150	10500	10900	11900	14000	18350	XXX	XXX
TC corrélée Soleil	3300	3350	3550	4400	4900	6250	6700	6800	7000	7100	7550	9900	XXX

En l'absence de brume, nous aurions sûrement pu voir la température de couleur du soleil descendre jusqu'aux alentours de 2500-3000 K, jusqu'au passage du soleil sous l'horizon.

Néanmoins, nous savons maintenant qu'une des pistes à explorer est la réponse des caméras numériques dans les courtes et grandes longueurs d'onde, qui sont deux endroits clés du basculement de la distribution spectrale d'un lever et coucher de soleil.

## CONCLUSION PARTIE 2

Au cours de cette seconde partie, nous avons étudié en détail la lumière de l'heure bleue dorée, sur 3 aspects particuliers (Figure 35) :

- sa géométrie,
- sa quantité, c'est-à-dire son éclairement et son contraste,
- sa qualité, c'est-à-dire sa répartition spectrale.

Nous avons pu constater que cette lumière, finalement très similaire entre un matin et un soir, présentait une évolution rapide et pleine de nuances, particulièrement lors du passage du soleil sous l'horizon, qui constitue le point clé du basculement de l'heure bleue à l'heure dorée.

Nous avons pu également constater qu'il est difficile de quantifier précisément cette lumière, la météorologie jouant un rôle très important sur celle-ci. Néanmoins, bien que l'heure bleue dorée sera légèrement différente chaque jour selon le temps, nous pouvons nous appuyer sur nos mesures et nos analyses de cette partie pour tenter de comprendre les enjeux de sa captation en numérique. En effet, nous avons pu ressortir dans cette partie l'importance de l'évolution du niveau, du contraste et du basculement des courtes/grandes longueurs d'onde (correspondant environ au bleu/rouge) lors de l'heure bleue dorée.

Nous allons donc maintenant croiser notre étude détaillée de ce basculement physique de lumière avec les caractéristiques des surfaces photosensibles en numérique. En vu de sa captation, nous savons maintenant l'importance de la gestion du contraste et des couleurs dans les capteurs numériques. Quelles sont les caractéristiques de cette surface sensible importantes à connaître pour le chef-opérateur ? Quels sont les éléments majeurs mis en jeu dans la caméra pour capter ce basculement physique total de lumière ?

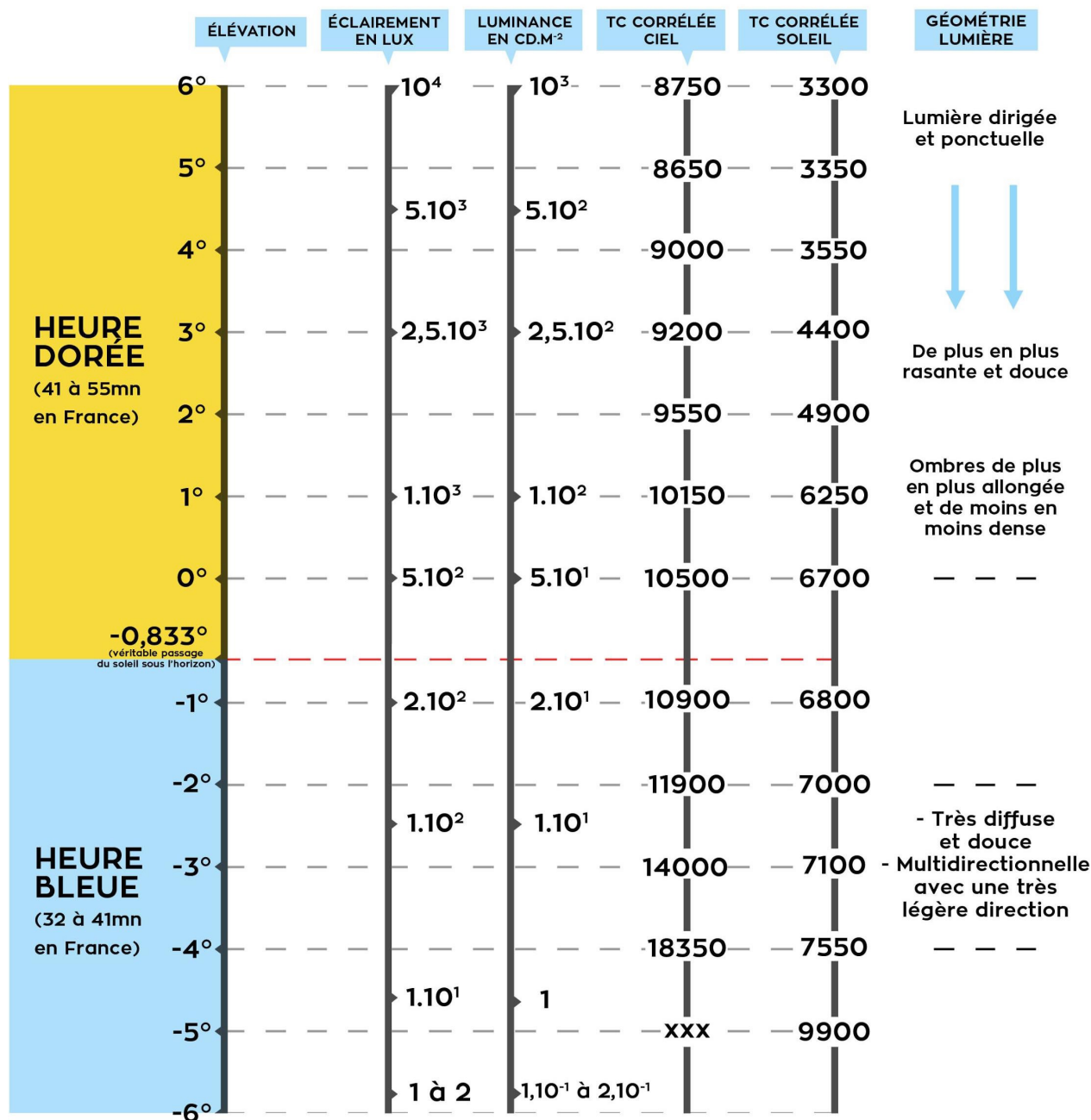


Figure 35 : Schéma récapitulatif du basculement physique à l'heure dorée et l'heure bleue.

Les valeurs d'éclairement et de température de couleur sont issues de nos mesures effectuées le 19 mars 2016 dans le centre de la France. Elles ne constituent pas une vérité absolue mais un ordre d'idée du basculement. La luminance est calculée d'après les mesures de l'éclairement pour un diffuseur parfait ( $k=\pi$ ) et un facteur de réflexion moyen de 31%.

## **PARTIE 3**

# **CAPTER L'IMAGE D'HEURE BLEUE DORÉE EN NUMÉRIQUE**



# CHAPITRE 1 : LES CAMÉRAS NUMÉRIQUES

## FACE À LA QUANTITÉ DE L'HEURE BLEUE DORÉE

### A. LA RÉPONSE QUANTITATIVE DES CAMÉRAS NUMÉRIQUES

#### 1. L'EXPOSITION EN ARGENTIQUE ET EN NUMÉRIQUE

Nous allons commencer par étudier la réponse quantitative des caméras numériques, afin de la mettre en rapport avec l'évolution du basculement quantitatif de lumière de l'heure bleue dorée par la suite. Une notion fondamentale concernant la gestion d'une quantité de lumière est l'exposition. En effet, celle-ci consiste à mettre en adéquation une quantité de lumière émanant d'un sujet avec la surface photo qui servira à sa captation, au cours du temps.

En argentique, cette surface photo est évidemment la pellicule film, dont la captation de la lumière repose sur le noircissement de l'émulsion<sup>37</sup>. Nous obtenons alors une image latente, mais dont le noircissement n'est pas observable à l'oeil. Par la suite, après le développement en laboratoire, nous obtenons une image négative correspondant aux variations de luminance du sujet filmé. Seulement, le film fonctionne par inversion : plus il y a eu de fortes luminances, plus la pellicule a noirci. Il faut alors exposer une émulsion vierge à une lumière contrôlée au travers de l'image négative, ce qui inversera à nouveau le mécanisme d'inversion. Le film repose donc sur une réaction chimique due à une exposition à la lumière.

En numérique, la surface photo de la caméra est un capteur en silicium (CCD, CMOS ou FOVEON, dont les réponses sont comparables, leur différence majeure résidant dans les choix de traitement d'information et de conversion numérique), constitué d'un certain nombre de photosites, qui vont capter les photons issus de la lumière, permettant de libérer pour chaque photon un électron qui ira charger le « puits » du photosite qu'il éclaire, proportionnellement à la lumière reçue. Cette charge d'électron

---

37 FOURNIER, Jean-Louis, *La sensitométrie, Les science de l'image appliquées à la prise de vues cinématographiques*, Paris, Éditions Dujarric, 2006, p. 20

sera ensuite convertie en tension : l'énergie lumineuse est alors traduite en énergie électrique. Par la suite, selon les caméras et les choix du fabricant, une valeur numérique dépendant de la profondeur de codage en bits (ex : 10 bits : 1024 valeurs ; 12 bits : 4096 valeurs...) sera attribuée à chaque photosite.

Bien que les technologies soient très différentes entre argentique et numérique, le procédé reste finalement le même : les luminances du sujet filmé vont « éclairer » notre surface (pellicule film ou capteur numérique) au cours du temps, ce qui constitue ce qu'on appelle la **LUMINATION H** est l'éclairement image reçue par la surface au cours du temps. L'**ÉCLAIREMENT IMAGE  $E_i$**  est l'éclairement produit par les luminances du sujet sur la surface de notre système de prise de vues. Il dépend évidemment de la luminance du sujet, mais également du diaphragme de l'optique, qui va déterminer la quantité de lumière que celle-ci laisse passer, de la transmission de l'optique (caractérisé par un nombre : 0,64), et du facteur de flare.

GRANDEUR	UNITÉ DE MESURE ÉNERGÉTIQUE	UNITÉ DE MESURE VISUELLE	FORMULE
LUMINATION	$W.m^2.s$	Lux.s	$H = E_i \times t$ <p>t : Temps de pose  <math>E_i</math> : Éclairement image</p>
ÉCLAIREMENT	$W.m^2$	Lux	$E_i = \frac{0,64 \times L}{A^2} + E_f$ <p>A : ouverture du diaphragme  L: Luminance du sujet  <math>E_f</math> : Éclairement causé par le flare</p>

« Exposer », c'est donc capter une quantité de lumière déterminée par la luminance de la scène et l'ouverture du diaphragme de l'optique, qui éclairera la surface photosensible au cours du temps, déterminé par l'obturation, tout en tenant compte de la sensibilité de notre surface photosensible.

## 2. COURBE DE RÉPONSE / COURBE H&D

La courbe de réponse est la première étape dans la connaissance de notre capteur : elle correspond aux valeurs numériques attribuées par la caméra en fonction de la luminance reçue par le capteur. Cette courbe de réponse est également appelée « courbe H&D », du nom des savants Hurter et Driffield qui ont établi à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle les principes de la sensitométrie argentique qui sont depuis étendus au numérique. En argentique, la réponse de la pellicule film à la luminance correspond à la densité de celle-ci, qui est le logarithme de l'opacité du négatif<sup>38</sup> selon la formule :

$$D = \log(\text{Opacité})$$

Notre système de perception n'étant pas sensible à un stimulus mais à son logarithme (loi de Weber-Fechner), ce qu'on appelle également une échelle psychométrique, la pellicule argentique réagissait donc déjà de manière similaire à la vision humaine. En revanche, la réponse d'un capteur est nécessairement linéaire et proportionnelle à l'éclairement reçu : il ne peut en être autrement. Seulement, les constructeurs font souvent le choix d'immédiatement appliquer un logarithme, afin de ré-encoder les valeurs numériques de manière plus appropriée. En effet, dans une réponse linéaire, nous assistons à un sur-échantillonnage des hautes lumières : la moitié des valeurs numériques est attribuée au diaphragme le plus élevé, la moitié des valeurs numériques restantes au diaphragme suivant, encodant les « informations réellement utiles » de notre sujet sur bien peu de valeurs.

Ici, nous mettons également le doigt sur un élément important : l'étendue utile de notre capteur est bornée par sa profondeur de codage exprimée en bits, unité binaire de l'information numérique. Un capteur 8 bits ( $2^8=256$  valeurs, avec le noir à 0 et le blanc à 255) ne pourra fondamentalement pas « encaisser » plus de 8 EV de contraste, en ajoutant qu'autant le premier EV sera encodé sur 128 valeurs, autant le dernier sera encodé sur une seule, ce qui ne permet logiquement pas de décrire les variations d'un diaphragme de manière acceptable.

En argentique, la courbe de réponse était obtenue en exposant un négatif à un coin

---

38 FOURNIER, Jean-Louis, *La sensitométrie, Les sciences de l'image appliquées à la prise de vues cinématographiques*, Paris, Éditions Dujarric, 2006, p. 47

sensitométrie (une gamme de 21 plages de densité croissante et d'incrément connu). Par la suite, un densitomètre mesurait l'opacité de ces 21 plages, permettant de créer une courbe reliant la lamination subie par chacune des plage à leur densité conséquente. En numérique, nous pouvons extrapoler ce test en filmant une gamme de densité croissante et d'incrément connu au travers d'une sphère d'intégration envoyant une lumière diffuse et homogène, afin de faire subir différentes luminations (que nous connaissons en fonction de nos paramètres de prises de vues) à notre capteur. En relevant les valeurs numériques correspondantes, nous serons en mesure d'établir la courbe de réponse du capteur.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons décidé d'analyser non pas un seul capteur numérique, mais deux, afin de mettre en évidence leurs similitudes et, surtout, leurs différences. Ainsi, nous pourrons bien montrer que chaque caméra, chaque capteur, réagit différemment, et qu'il est primordial de connaître les caractéristiques de celui-ci afin de l'exploiter correctement. Nous mettrons alors ces deux capteurs face aux particularités de la lumière de l'heure bleue dorée, qui présente un basculement physique (que ce soit quantitatif ou qualitatif) très important, comme vu dans la deuxième partie. En fonction des caractéristiques de chacun des capteurs, nous verrons alors que les stratégies du chef-opérateur doivent différer, et que l'image obtenue à la fin est nécessairement différente, malgré une intention esthétique identique au départ. Nous avons donc choisi comme caméra l'Arri Alexa Studio N°6201, une caméra disponible au sein de l'école Louis Lumière, et la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677, m'appartenant personnellement. Les deux caméras permettent un flux Raw<sup>39</sup> mais ne font pas clairement pas parti de la même catégorie : l'Alexa Studio est une caméra professionnelle utilisée sur des longs-métrages, alors que la Blackmagic 4K est une caméra entrée de gamme coutant seulement quelques milliers d'euros. De cette différence de conception, de capacité, de destination d'utilisation et d'utilisateurs, nous espérons ainsi obtenir des différences notables entre ces deux caméras.

Nous cherchons donc à établir la courbe de réponse de nos deux caméras d'étude. Afin d'être le plus précis possible, nous n'avons pas filmé une mais deux gammes avec des contrastes et des incréments différents (une gamme de 14 EV avec un incrément de 2/3

---

39 Raw : Brut en anglais, caractérise l'image brute presque non compressée issu directement du capteur numérique.

EV, et une gamme de 10 EV avec un incrément de ½ EV). Les détails du protocole sont disponible en Annexe 5<sup>40</sup>. Voici le résultat pour l'Alexa Studio :

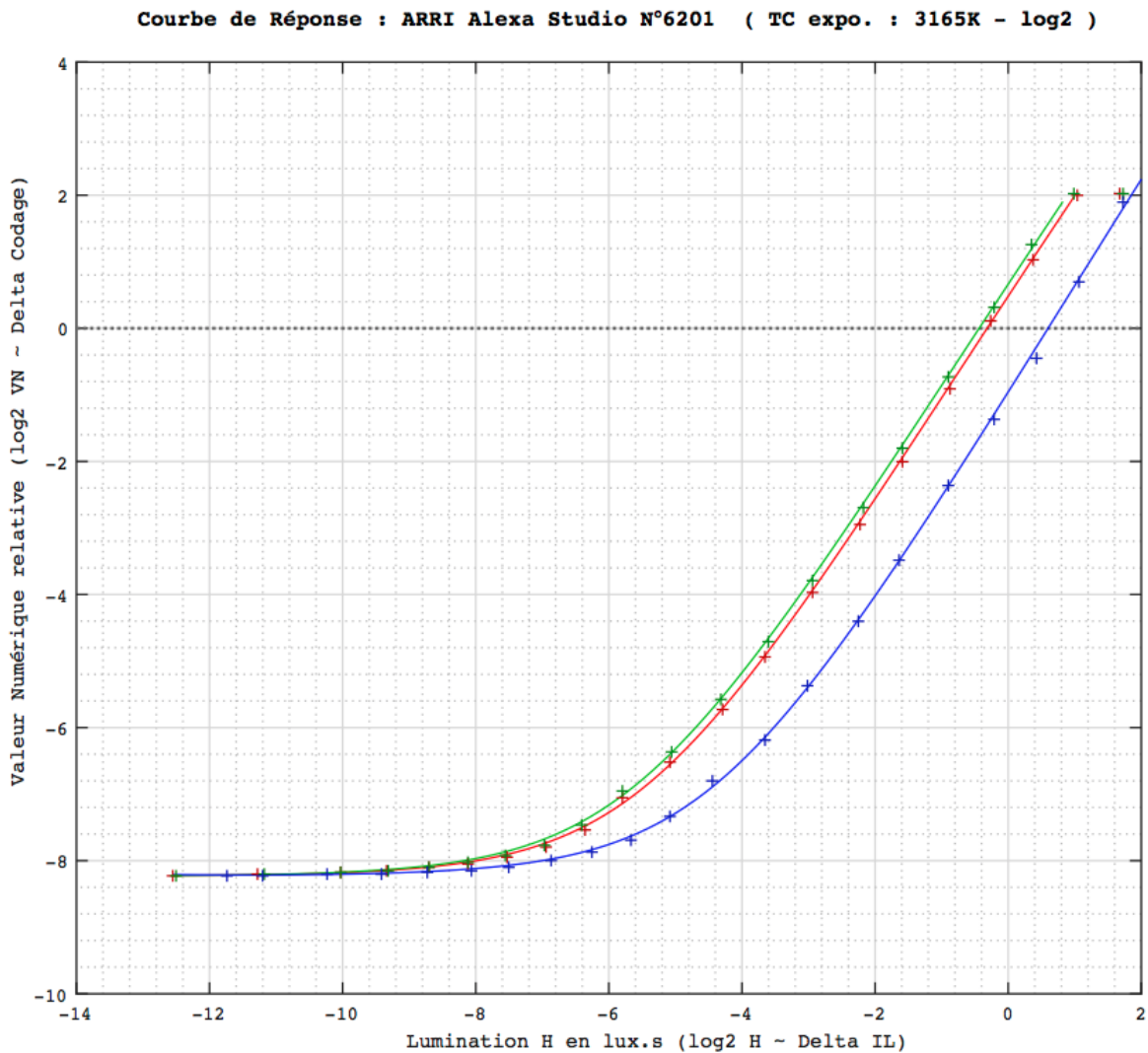


Figure 36 : Courbe de réponse de l'Alexa Studio N°6201, dans les canaux rouge, vert et bleu, à une TC de 3165K, avec une précision de ¼ d'EV.

Il faut cependant tenir compte de l'imprécision relative de notre protocole, notamment dans le relevé de la luminance des différentes plages de densité de la gamme et de la mesure des réelles densités de chaque plage. Ainsi, l'association de ces multiples petites imprécisions possibles nous amène à exprimer nos résultats avec une certaine incertitude, de l'ordre de ¼ d'EV. De plus, nous avons volontairement exprimé la luminance en logarithme de base 2, afin de correspondre à l'échelle des diaphragmes. En choisissant une échelle logarithmique, et non-linéaire, nous mettons en évidence le ré-encodage intelligent de la part des fabricants.

<sup>40</sup> Annexe 5, p. 161

Dans le cas présent, le canal bleu est un peu décalé, car la source de lumière permettant d'effectuer ce test a une température de couleur corrélée de 3165 Kelvins, donc plutôt chaude. L'Alexa studio possédant une température de couleur d'équilibre un peu plus élevée (nous y reviendrons très prochainement), le canal bleu reçoit très peu de lamination, en comparaison des canaux verts et rouges. C'est précisément pour cette raison qu'une courbe de réponse doit être annoncée pour une température de couleur spécifique. Idéalement, il faudrait refaire un test de courbe de réponse à la température d'équilibre de chaque capteur, pour obtenir théoriquement des courbes rouges et bleues confondues. Mais intéressons-nous à la courbe verte, qui présente 3 parties distinctes :

- Au-dessus d'une lamination d'environ 1,77 lux.s, le canal vert a saturé, c'est-à-dire qu'il cesse toute modulation, il n'y a plus d'information enregistrée. On dit que le signal a saturé, ou clippé.
- Elle possède une partie rectiligne sur environ 6 EV ( de +1 à -5 logarithmes de base 2 de la lamination), où la réponse du capteur est linéaire entre le logarithme de la lamination et le logarithme des valeurs numériques.
- La ligne droite remonte petit à petit en bas de courbe et module de moins en moins, jusqu'à ne quasiment plus moduler à -10. En théorie, la partie rectiligne devrait continuer jusqu'aux plus basses valeurs, mais un bruit aléatoire, dû en partie à l'échauffement du capteur, apparaît bien avant, et remonte la partie basse de la courbe. La réponse de la caméra dans cette zone est accompagnée de bruit plus ou moins gênant visuellement. En réalité, Arri utilise ce défaut inhérent à tout capteur à son avantage, et s'efforce de créer lui-même ce pied de courbe de manière contrôlée, en venant placer ces noirs des trois canaux à une même valeur, correspondant à une sortie vidéo.

En argentique, nous pouvions distinguer non pas 3 parties, mais 5 parties, avec une Densité minimum, une Densité maximum, une partie rectiligne, un pied de courbe et une épaule. Ce pied de courbe et cette épaule correspondent à des gradations (ou des aptitudes au contraste) différentes de la partie rectiligne. Ainsi, dès la prise de vue, en plaçant ses

ombres ou ses hautes lumières dans ces parties de la courbe, le chef-opérateur avait une influence majeure sur le rendu de l'image.

En numérique, malheureusement, le chef opérateur ne possède désormais qu'une partie rectiligne avec une aptitude au contraste uniforme pour créer son image. Le pied de courbe, toujours observable d'une certaine manière en numérique mais dû surtout au bruit du capteur, pousse en général le chef opérateur à éviter quand cela est possible cette zone de la courbe pour poser son sujet. En conséquence, le numérique a largement contribué à déplacer en partie un certain travail sur l'image et le contraste à la post-production et à l'étalonnage. Ce n'est pas une bonne ou une mauvaise chose en soi, mais un fait établi qu'il faut avoir en tête au moment de penser et de créer son image sur le tournage.

Voici maintenant la courbe de réponse de notre deuxième caméra, la Blackmagic 4K :

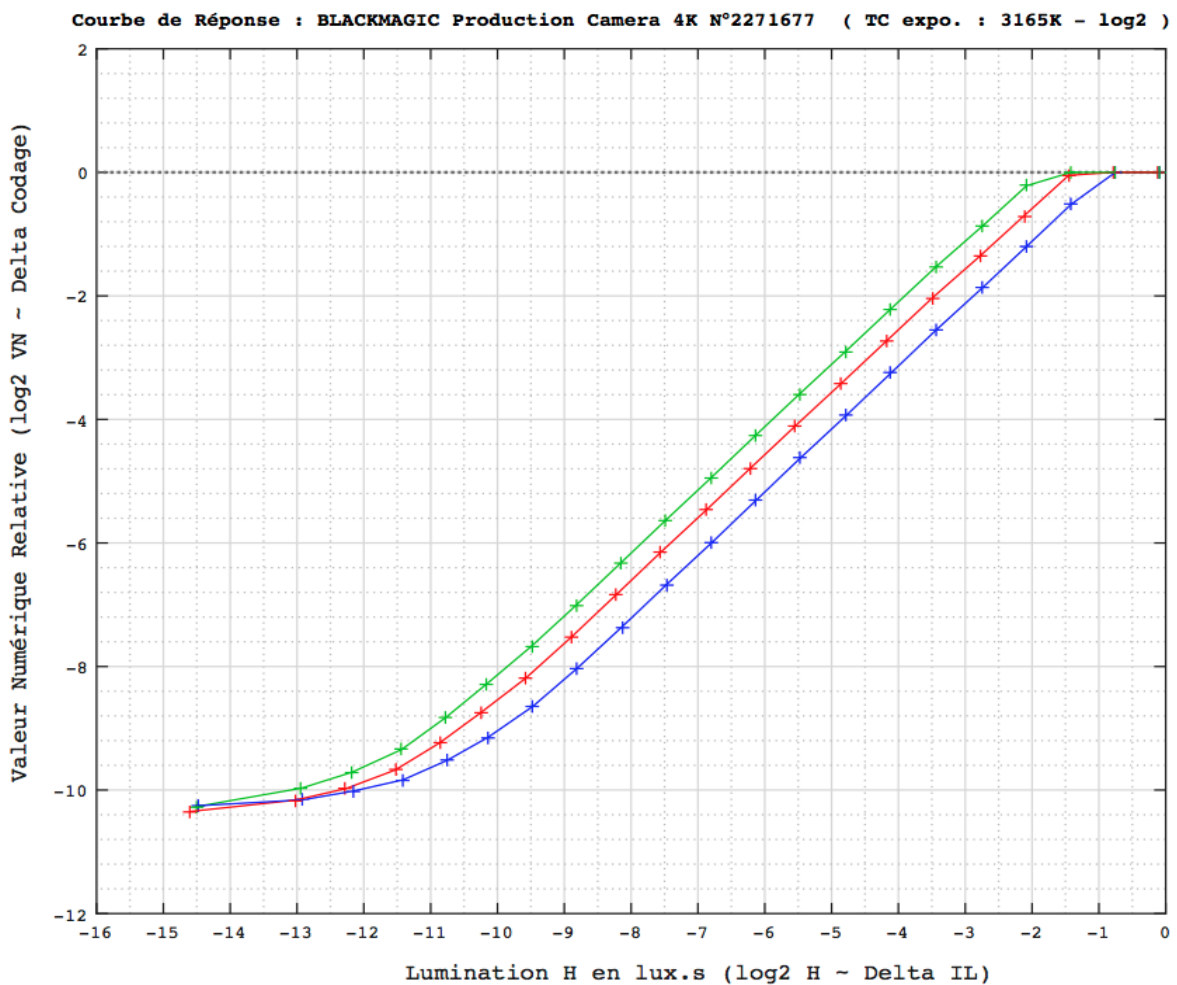


Figure 37 : Courbe de réponse de la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677 dans les canaux rouge, vert et bleu, à une TC de 3165K, avec une précision de 1/4 d'EV.

De même que pour l'Alexa Studio, nous exprimons ici nos résultats avec une incertitude de l'ordre de  $\frac{1}{4}$  d'EV. Nous constatons que les deux courbes présentent évidemment une allure similaire. Tous les capteurs réagissent quasiment de manière identique. En revanche, nous pouvons observer quelques différences majeures :

- La saturation du capteur arrive à une lumination de 0,30 lux.s dans le canal vert, donc bien avant celle de l'Alexa (environ 2 EV  $\frac{1}{3}$  avant).
- La courbe bleue n'est pas autant décalée que pour l'Alexa Studio. Cela est dû à une température d'équilibre de la Blackmagic que nous pouvons déjà supputer être plus proche de la température de couleur de la source à 3165K que pour l'Alexa, car la Blackmagic a « vue » plus de bleu dans cette source que la caméra d'Arri. Nous y reviendrons plus tard.
- La partie linéaire est plus longue que chez l'Alexa, avant que les trois canaux se rejoignent en bas de courbe et forment un pied. Cette partie linéaire plus longue est due au traitement des noirs qui a été appliqué différemment. En effet, nous pouvons grandement modifier l'allure de la courbe en changeant le niveau de noir. Ici, nous avons utilisé d'une part la préconisation de l'Alexa, et d'autre part la préconisation dng pour la Blackmagic. Nous pouvons cependant remarquer un léger détail : le canal bleu repasse par-dessus le canal rouge puis le vert, ce qui semble trahir un traitement des faibles luminations plus approximatifs chez Blackmagic.

Ces courbes de réponse nous donnent une première visualisation sur une information primordiale du capteur, en plus de son point de saturation : son étendue utile. L'étendue utile représente le contraste maximum d'une scène que la caméra peut enregistrer avec suffisamment de détails. Lorsque l'étendue utile de la caméra est supérieure au contraste sujet d'une scène, on parle de terme de latitude d'exposition. C'est la marge de choix, ou d'erreur, que possède le chef-opérateur dans son choix d'exposition. L'exposition n'est donc pas fondamentalement un problème pour un chef opérateur qui connaît les caractéristiques de sa caméra et sait manier et contrôler un tant soit peu le contraste sujet



à l'aide de son éclairage. Pour information, Arri annonce une étendue utile de 14 EV chez l'Alexa Studio<sup>41</sup>, et Blackmagic une étendue utile de 12 EV<sup>42</sup>. Nous pouvons donc très largement faire tenir un contraste statistique moyen de 5 à 7 EV dans cette étendue utile. De même, si nous revenons au contraste d'un coucher de soleil, nous nous sommes rendu compte que quand celui-ci était très bas à l'horizon, le contraste sujet était alors réduit à 'seulement' 10 EV. D'après les informations fournies par Arri et Blackmagic nous n'aurions donc pas de grandes difficultés à faire tenir notre grand contraste sujet dans notre étendue utile. Tout au plus, nous ne possédons pas une très grande latitude d'exposition. Mais ces chiffres annoncés par nos deux fabricants sont-ils réellement juste ?

En effet, en regardant de plus près notre courbe de réponse, si nous avons un point déterminé et invariant d'un côté : le point de saturation ; de l'autre côté de la courbe, il est plus délicat d'arrêter un point assuré à cause du bruit. À la lecture rapide des courbes, nous avons l'impression que l'Alexa Studio possède environ une étendue utile de 11 EV car nous pouvons considérer qu'à  $\log_2(H) = -10$ , la courbe est quasiment plate et ne module plus. Avec la même réflexion, nous arriverions à une étendue utile de 12 EV sur la courbe de réponse de la Blackmagic 4K. Il faut cependant tenir compte du mode de représentation de courbes, en particulier avec le niveau des noirs, qui donne l'impression d'une plus grande étendue utile. Seulement, il nous faut nécessairement considérer le bruit afin d'arrêter un point dans le bas de la courbe et annoncer une étendue utile réelle sur chacune des caméras. En effet, confronté à une « source chaude », comme pourrait l'être le soleil couchant, nous constatons un bruit dans le canal bleu très important chez la Blackmagic, qui est moins évident chez l'Alexa. Il nous faut donc nous intéresser brièvement au bruit afin d'établir un critère nous permettant d'arrêter une étendue utile réelle et plus conforme à la réalité du tournage chez nos deux caméras.

---

41 ARRI, *Alexa Pocket Guide Sup 11.0*, référence manuel, 2015, p. 78

42 BLACKMAGIC DESIGN, *Blackmagic\_Cameras\_Manual*, référence manuel, 2016, p. 28

### 3. LE BRUIT

Dans un capteur numérique, une certaine lamination sur un ensemble de photosites est censée rendre une certaine valeur numérique précise pour tout ces photosites. En réalité, cette lamination rendra des valeurs numériques proches mais souvent différentes pour cet ensemble de photosites, ce qu'on appelle le bruit intra-image. De plus, un même photosite qui reçoit toujours une même lamination rendra des valeurs numériques différentes au cours du temps, d'une image à l'autre, ce qu'on appelle le bruit inter-image.

Ces deux sortes de bruit sont présents sur l'intégralité du capteur, quelle que soit la lamination, mais ne sont au final visible et réellement gênant que dans le bas de la courbe. Mais quand est-ce que le bruit devient trop important pour qu'il soit considéré comme gênant ? Car le bruit numérique et son ressenti par le spectateur est dépendant d'énormément d'éléments : la surface considérée, le contraste de l'image, les conditions de projections, son évolution au cours du temps...

Il nous est donc quasiment impossible de choisir un point arrêté de manière absolue, d'où la difficulté d'indiquer une réelle étendue utile. Si d'un côté, nous avons le point de saturation, un point précis et invariable, de l'autre, nous sommes face à des variations aléatoires de valeurs numériques pour une même lamination.

Nous avons vu sur les courbes de réponse que l'Alexa Studio semblait avoir une étendue utile d'environ 11 EV, et la Blackmagic d'environ 12 EV. Essayons maintenant d'analyser le bruit sur ces deux caméras pour se rendre compte de leurs différences de traitements des faibles luminations, et afin de tenter d'arrêter, de manière arbitraire mais logique, une étendue utile réelle, tenant compte de la montée du bruit.

Dans le cadre de ce mémoire, nous proposons une méthode simple, en reprenant l'image de la gamme carbone utilisée au test de courbe de réponse. Nous rappelons qu'elle est composée de 21 plages, espacées théoriquement de  $2/3$  d'EV chacun, ce qui créé donc un contraste maximal de 14 EV. Chacune de ses plages va créer une lamination différente sur le capteur, et donc avoir des valeurs numériques associées différentes. Cependant, à

cause du bruit, nous allons nous rendre compte qu'au fur et à mesure que nous descendons dans le bas de la courbe, les valeurs numériques associées à une même lamination varient et s'espacent de plus en plus. Arrivé à un point, nous pouvons même voir que des valeurs numériques correspondants à des photosites d'une plage de la gamme carbone vont avoir les mêmes valeurs que d'autres photosites appartenant pourtant à la plage suivante.

Afin de bien comprendre l'évolution de la montée du bruit selon les différentes plages de lamination de la gamme, nous avons déterminé sur chaque plage pour le canal vert une moyenne et un écart-type. D'après le théorème central limite, qui établit que toute somme de variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées, comme c'est le cas ici, tend vers une variable aléatoire gaussienne, nous pouvons représenter les valeurs numériques de ces 21 plages sous la forme de 21 courbes gaussiennes à l'aide de la formule suivante :

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times \exp\left(\frac{-0,5 \times (t - \mu)^2}{\sigma^2}\right)$$

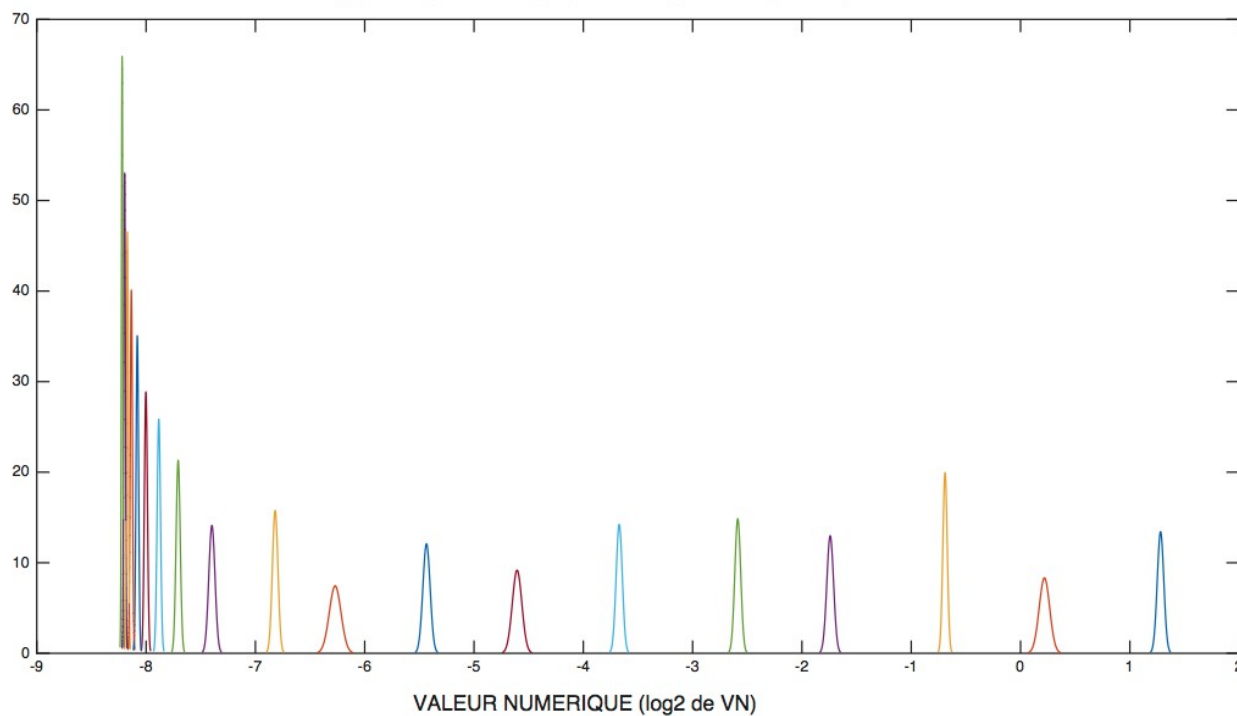
avec :  $\mu$ : moyenne

$\sigma$  : écart type

Nous obtenons alors les courbes gaussiennes des valeurs numériques de nos 21 plages de lamination différentes. Plus une courbe sera large, plus son écart-type sera grand, et donc plus le bruit sera important à cette plage.

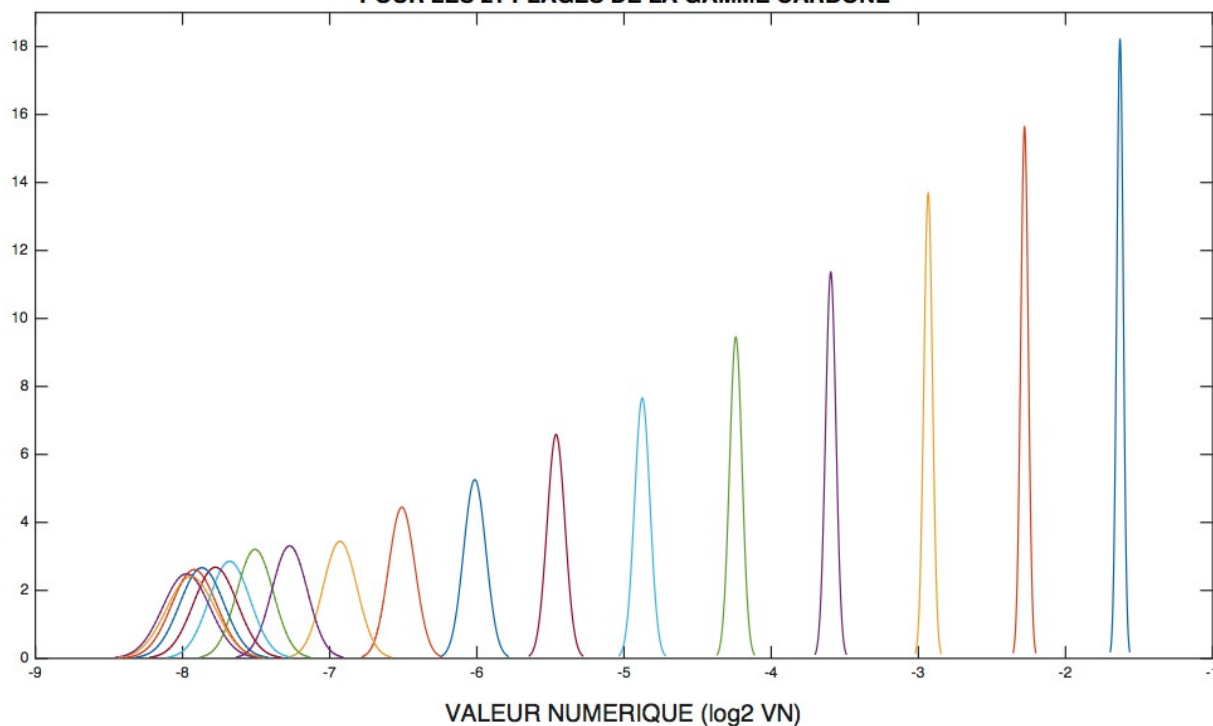
Voici les deux graphiques montrant l'évolution du bruit pour l'Alexa Studio et la Blackmagic 4K :

**COURBE GAUSSIENNE DES VALEURS NUMERIQUES DE L'ALEXA STUDIO N°6201  
POUR LES 21 PLAGES DE LA GAMME CARBONE**



*Figure 38 : Courbes gaussiennes des valeurs numériques de l'Alexa Studio N°6201 pour les 21 plages de la gamme carbone.*

**COURBES GAUSSIENNES DES VALEURS NUMERIQUES DE LA BLACKMAGIC CAMERA PRODUCTION 4K N°2271677  
POUR LES 21 PLAGES DE LA GAMME CARBONE**



*Figure 39 : Courbes gaussiennes des valeurs numériques de la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677 pour les 21 plages de la gamme carbone.*

Nous pouvons nous rendre compte que l'Alexa Studio présente des gaussiennes très peu étalées et se chevauchant très peu, même dans les basses luminations. Cela signifie que la caméra réussit à discriminer correctement les différentes plages de la gamme, même quand elles viennent se placer très bas sur la courbe. Les moyennes sont très proches les unes des autres, mais l'écart type reste très faible dans le même temps.

Au contraire, la Blackmagic 4K présente des gaussiennes certes plus régulières mais de plus en plus étalées, indiquant que plus on se place bas sur la courbe, plus les valeurs numériques correspondantes vont être aléatoires et peu précises. Au lieu d'avoir nos valeurs numériques centrées et très regroupées autour de la moyenne, comme c'est le cas dans l'Alexa Studio, ici elles s'espacent de plus en plus. Dans le bas de la courbe, la caméra est totalement incapable de discriminer des luminations pourtant espacées de  $2/3$  d'EV, comme l'attestent les nombreux chevauchements de valeurs numériques.

Nous pouvons donc conclure que la Blackmagic 4K possède une montée du bruit vraiment beaucoup plus importante que celle de l'Alexa Studio. En utilisant ces gaussiennes et en gardant un regard statistique et mathématiques, nous pouvons maintenant proposer un critère de détermination d'arrêt de l'étendue utile dans le bas de la courbe.

#### 4. VERS UNE ETENDUE UTILE RÉELLE

En effet, quand un certain nombre de valeurs numériques correspondant à une lamination commence à se mélanger avec un certain nombre de valeurs numériques d'une lamination pourtant 2/3 d'EV moins importante, nous ne pouvons plus considérer que la caméra discrimine correctement. Nous pouvons alors obtenir notre second point pour arrêter une étendue utile réelle. Dans le cadre de ce mémoire, nous avons arrêté arbitrairement un seuil de chevauchement trop important basé sur la moyenne et l'écart type, et qui correspond à l'équation suivante :

$$\mu VN(H) - 2 \times \sigma VN(H) < \mu VN(H - 2/3EV) + 2 \times \sigma VN(H - 2/3EV)$$

avec :  $\mu$ : moyenne

$\sigma$  : écart type

Cela signifie que notre point d'arrêt se trouve lorsque nous obtenons un nombre plus grand en additionnant la moyenne des valeurs numériques d'une plage plus deux fois son écart type, qu'en soustrayant deux fois l'écart type à la moyenne des valeurs numériques de la plage se trouvant 2/3 d'EV au-dessus en lamination.

Pour l'Alexa, cela se produit entre la plage 18 et la plage 19. A partir de la plage 19, la caméra ne distingue plus correctement deux luminations distinctes d'après notre critère arbitraire. En ôtant les deux premières plages qui sont saturées, nous avons donc 17 plages de 2/3 EV qui ont été correctement discriminé par la caméra. Cela correspond à environ **11 EV 1/3 d'étendue utile**.

Pour la Blackmagic 4K, cela se produit bien avant, entre la plage 13 et la plage 14. A partir de la plage 14, la caméra ne distingue plus correctement deux luminations distinctes d'après notre critère arbitraire. En ôtant les trois premières plages qui sont saturées, nous avons donc 11 plages de 2/3 EV qui ont été correctement discriminé par la caméra. Cela correspond à environ **7 EV 1/3 d'étendue utile**.

Nous avons été volontairement drastique dans notre choix de point d'arrêt dans le bas de la courbe, afin d'obtenir une étendue utile réelle comportant un peu de marge d'erreur.

Selon les situations, nous pourrions nous risquer à considérer 12 EV d'étendue utile sur l'Alexa et 8 EV sur la Blackmagic. Ces valeurs correspondant d'ailleurs à peu près aux étendues utiles que je m'étais fixé empiriquement, basées sur mes multiples expériences de tournage avec ces deux caméras.

Mais considérons les valeurs de 11 EV 1/3 et 7 EV 1/3 pour le reste de ce mémoire, un peu éloigné des 14 EV annoncés par Arri, et réellement loin des 12 EV annoncés Blackmagic...

Finalement, le contraste mouvant de l'heure bleue dorée, passant de plus de 18 EV à 6° d'élévation à 'seulement' 10-12 EV quand le soleil est vraiment bas à l'horizon, aura bien du mal à se placer sur notre courbe de réponse. En particulier pour la Blackmagic 4K, qui possède finalement une étendue utile réelle uniquement capable de placer les contrastes statistiques moyens de 5 à 7 EV sur sa courbe de réponse.

Maintenant que nous avons compris comment réagissait nos deux caméras numériques en termes quantitatifs, intéressons-nous aux différentes possibilités qui s'offrent au chef-opérateur pour gérer la quantité de lumière de l'heure bleue dorée.

## B. LES SOLUTIONS POUR GÉRER LA QUANTITE DE LUMIÈRE

### 1. CLIPPER LE SOLEIL

La présence d'une source de lumière dans le champ d'une luminance de l'ordre de  $1,47.10^9$  cd/m<sup>2</sup> à son maximum est difficilement gérable. Bien souvent, la solution trouvée par les chefs-opérateurs s'avère très simple : saturer (ou « clipper ») le soleil, c'est-à-dire de volontairement le surexposer, en privilégiant logiquement le reste de l'image, qui contient généralement l'action principale. Cependant, nous ne pouvons nous permettre de trop le saturer, sinon nous perdrons la forme ronde du soleil, ne laissant qu'un aplat blanc plus ou moins étal, assez peu esthétique, que nous retrouvons parfois dans des caméras bas de gamme.

Dans les caméras professionnelles, malgré la course effrénée à la plus grande étendue utile possible, celles-ci ne peuvent pas encore couvrir un tel contraste. Si nous désirons conserver les nuances du soleil à l'horizon, en le plaçant sur le haut de notre courbe de réponse, notre paysage apparaîtra alors bien sombre, dans le pied de courbe au mieux (pour un contraste sujet de 10-12 EV par exemple), et nos personnages se retrouveront silhouettés, en ombres chinoise, ce qui peut être un effet de style tout à fait esthétique et défendable.

Cependant, nous nous sommes rendu compte de l'existence d'un problème majeur sur notre Blackmagic 4K : le phénomène de Black Spot, appelé aussi Black Sun. Il s'agit d'un phénomène relativement peu connu, souvent absent des caméras numériques professionnelles, qui consiste en l'apparition de points généralement violets, quand le capteur subit une trop forte lustration. Ce phénomène est dû au fait que, quand le capteur subit une très forte lustration, recevant un trop grand nombre de photons, il n'indique alors plus qu'il est saturé, mais renvoie à la caméra juste l'information d'un pixel totalement noir, et ce, uniquement pour le canal vert. Le capteur n'a alors que pour seules informations des canaux rouge et bleu saturés, et un canal vert totalement noir, ce qui crée logiquement des pixels magenta (rouge + bleu).



Il est clairement visible ici sur une prise de vue effectuée avec la Blackmagic 4K :



*Figure 40 : Phénomène du Black Sun/Black Spot sur un photogramme issu d'une séquence RAW de la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677.*

À première vue, ce phénomène n'est pas présent avec l'Alexa Studio. En réalité, il l'est mais n'apparaît que 7 à 8 EV au-dessus du clipping. Mais comme il est assez rare de filmer le soleil en se mettant à pleine ouverture, ou sans mettre de filtres neutres, nous ne l'observons que rarement chez Arri. Chez Blackmagic, il apparaît beaucoup plus rapidement, devenant tout de suite plus gênant.

Cependant, ce défaut est facilement retouchable en post-production dans le cadre d'un plan fixe.

## 2. ÉVITER LE SOLEIL

S'il est difficile de gérer son contraste avec le soleil dans le champ, le chef-opérateur peut se contenter de justement éviter de le filmer, en ne conservant que son effet sur ses comédiens. La question du cadre et du placement des acteurs sont donc des notions très importantes lorsque nous tournons à l'heure bleue dorée. Logiquement, des cadres larges poseront plus de difficultés que des cadres resserrés, que le chef opérateur peut plus facilement ré-éclairer. Sinon, il faudra des quantités astronomiques et déraisonnables de puissance électrique pour diminuer le contraste d'un plan large avec le soleil dans le champ. Ce qui amène souvent les chefs-opérateurs à utiliser la lumière produite par le soleil sans filmer directement celui-ci.

Évidemment, dans le cadre d'un tournage se déroulant à l'heure bleue dorée, mais tourné en studio, les problématiques sont totalement différentes. La lumière est entièrement reproduite artificiellement, sans présence du soleil, et donc le souci du chef opérateur va être de reproduire des effets de nuance et de bascule subtiles à l'aide de projecteurs dont la qualité est loin d'égaliser celle du soleil rasant. C'est un exercice extrêmement complexe et intéressant (qui va notamment concerner l'IRC<sup>43</sup> des projecteurs) mais qui ne concerne pas directement le sujet d'étude de ce mémoire.

---

43 IRC : Indice de rendu des Couleurs.

### 3. DIMINUER LA LUMINATION

La luminance du soleil est forcément extrêmement importante. Pour diminuer la lamination du capteur, il faut donc influencer sur les autres paramètres d'exposition indiqués par la formule de la lamination que nous rappelons ici :

$$H = \frac{t \times 0,64 \times L}{A^2} + E(\text{flare})$$

- Le diaphragme : Fermer celui-ci permettra de diminuer la quantité de lumière qui atteindra le capteur. Ceci aura pour conséquence également d'augmenter la profondeur de champs.
- Le temps d'exposition : Réduire le temps d'exposition (qui est généralement de 1/50 de secondes à une cadence de 25 i/s) permet de diminuer la lamination, car l'éclairement qu'il subit dure nécessairement moins longtemps. Cependant, si cela est souvent utilisé en photographie, cela pose plus de difficultés en mouvement. Plus le temps d'exposition est rapide, plus on réduit le flou de mouvement, et plus on créera un effet de saccade.
- Les filtres neutres, souvent utilisés au cinéma, permettent de diminuer la luminance globale de la scène. Appliquée devant l'optique, ou en interne à la caméra, juste avant le capteur, un filtre ND3 enlève un EV, un ND6 enlève 2 EV, etc... Cependant, ces filtres diminuent la luminance globale de la scène, et pas seulement celle du soleil. Ils permettent donc de régler le problème de niveau trop fort, mais pas celui du contraste, qui reste finalement le même. Il existe néanmoins des filtres dégradés, qui permettent d'appliquer la diminution de la luminance à seulement une partie de l'image, comme par exemple le ciel, en s'alignant avec l'horizon. Cependant, le contraste sujet soleil/ciel demeure évidemment inchangé.

#### 4. UTILISER LE FLARE

Par abus de langage, le flare est souvent considéré comme les halos qui se forment dans l'objectif lorsqu'une source lumineuse se trouve dans les abords immédiats du cadre ou dans le cadre. Le résultat donne souvent un côté esthétique très à la mode en ce moment. Évidemment, au lever et au coucher du soleil, il est facile d'obtenir ces jolis halos en filmant le soleil ou en le plaçant proche du cadre. Cependant, à la base, le flare est une aberration optique due à une diffusion parasite de la lumière à l'intérieur d'un objectif et dans la chambre, qui entraîne une baisse générale du contraste de l'image obtenue<sup>44</sup>. De manière générale, nous cherchons à lutter contre ce phénomène, notamment à l'aide des mattes-box qui se placent devant l'objectif.

En l'occurrence, diminuer le contraste énorme évoqué plus haut d'un lever/coucher de soleil à l'aide du flare peut nous intéresser dans notre cas. Le facteur de flare dépend d'une part de l'objectif, et d'autre part du capteur. Plus l'objectif contient de lentilles, plus les diffusions parasites de lumière seront nombreuses, augmentant l'influence du flare. Cependant, les traitements anti-reflets, sans faire disparaître complètement le défaut, permettent de diminuer son importance sur les objectifs modernes. Il faut d'ailleurs noter que le flare est plus important en numérique qu'en argentique car la surface photo y est bien plus réfléchissante, augmentant les réflexions parasites entre les lentilles de l'objectif et le capteur.

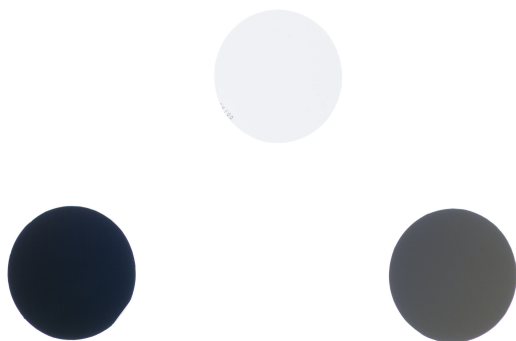
D'après une norme ISO<sup>45</sup>, ce facteur est quantifié à l'aide d'une mire spéciale composée d'un carré noir sur fond blanc. Il correspond à la différence d'éclairement de la zone noire de la mire lorsqu'elle occupe l'ensemble du cadre et lorsqu'elle n'occupe que 10% du cadre. En partant de cette méthode, nous avons décidé de le pousser plus loin en prenant non pas une référence de noir mais trois. Nous avons donc placé trois disques de densité neutre d'une valeur respective de ND1 (3 EV + 1/3), ND2 (6 EV + 2/3) et ND3 (10 EV) sur une plaque de verre face à la sphère d'intégration. À l'aide d'un cache approprié, nous pouvions filmer les 3 densités avec et sans lumière parasite. Comme nous savions que le flare ne s'appliquait pas de manière uniforme à toute l'image, nous pouvions ainsi obtenir

---

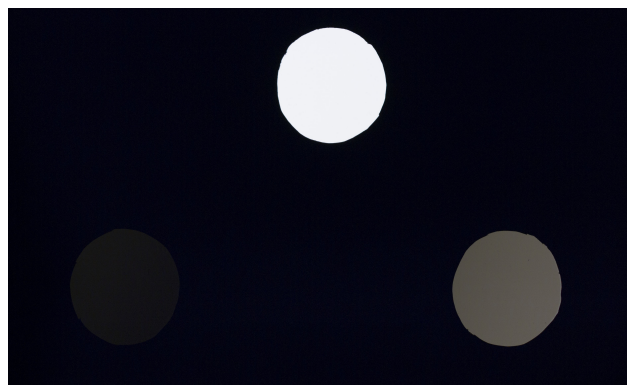
44 BELLAICHE, Philippe, *Les Secrets de l'image vidéo*, Paris, Eyrolles, 2009, p. 133

45 NF ISO 9358, *Optique et instruments d'optique, Lumière parasite diffuse des systèmes d'imagerie*, mars 1998.

un facteur de flare pour trois points de notre courbe de réponse.



*Figure 41 : Photogramme illustrant le phénomène du flare.*



*Figure 42 : Photogramme illustrant le phénomène du flare.*

D'ailleurs, en aparté, cette illustration peut faire penser au contraste simultané ou successif, qui, expliqué brièvement, est le fait qu'une zone de luminance sera perçue différemment selon son environnement lumineux, car notre cerveau corrige l'information qu'il reçoit de notre œil, en amplifiant les différences. Ici, les 3 patchs paraissent plus sombre entouré de blanc, et plus clair entouré de noir. En réalité, ici, dû au phénomène du flare, les patchs ne sont effectivement pas totalement identique. Mais il faut avoir conscience que notre cerveau accentue notre perception du contraste et du détail. C'est un élément de plus à prendre en compte quand nous cherchons à définir la couleur...

En effet, ici, nous avons obtenu des valeurs numériques plus élevées en l'absence du cache qu'en sa présence, lorsque la lumière parasite permettait de diminuer le contraste de la scène en remontant fortement les basses valeurs, et en ne modifiant pas beaucoup les hautes valeurs. Mais finalement, nous trouvions dommage d'obtenir une simili-courbe de trois points, alors qu'en filmant une gamme carbone avec et sans cache, nous pouvions finalement obtenir la courbe de réponse de notre caméra avec et sans flare. Nous pouvions ainsi quantifier l'importance du flare pour chaque zone de notre courbe. Nous avons donc effectué à nouveau ce test avec un protocole différent, dont le but était d'obtenir une nouvelle courbe de réponse, avec et sans le cache.

Les détails de ce protocole sont disponible en Annexe 5<sup>46</sup>.

---

46 Annexe 5, p. 161

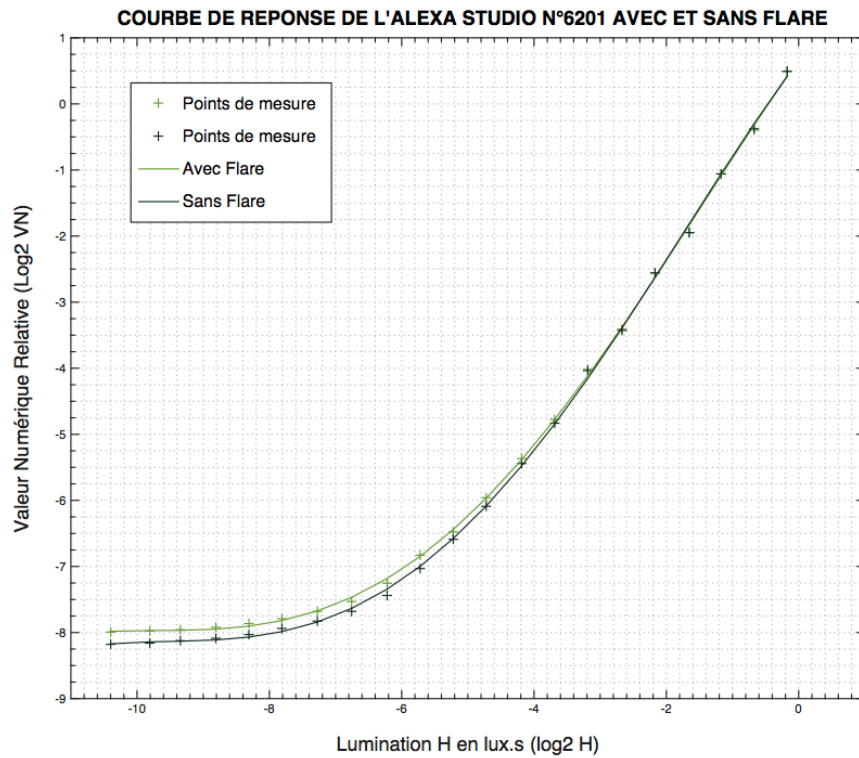


Figure 43 : Courbe de réponse de l'Alexa Studio avec et sans Flare.

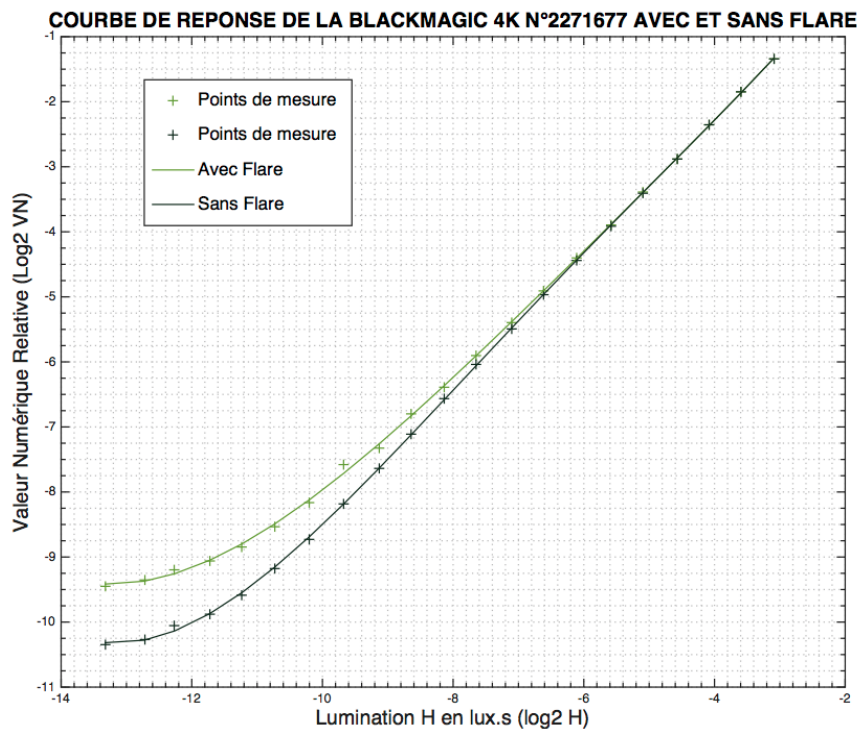


Figure 44 : Courbe de réponse de la Blackmagic 4K avec et sans Flare.

Nous nous rendons compte que le flare a finalement peu d'impact sur le haut de la courbe. Il faut attendre d'être 5-6 EV en dessous de la saturation pour que l'influence du flare se remarque et remonte toutes les valeurs numériques. Cependant, pour l'Alexa, il reste constant tout au long du bas de la courbe, et n'est pas si important que cela. Au contraire, sur la Blackmagic, s'il est également négligeable en haut de courbe, il est de plus en plus important au fur et à mesure des faibles luminations, réduisant le contraste de la scène en remontant les valeurs numériques de près d'un EV tout en bas de courbe.

C'est finalement une bonne chose que notre caméra ayant l'étendue utile la plus faible soit la plus sensible au flare parasite, car nous pourrions compter sur ce phénomène à l'heure bleue dorée, en tachant de ne pas trop le réduire avec une matte-box, pour réduire légèrement notre contraste.

## 5. LA SENSIBILITÉ

Dans les sous-parties précédentes, nous cherchions différentes solutions pour diminuer le contraste sujet trop important en présence du soleil. Cependant, nous avons également constaté que l'heure bleue dorée présentait un basculement de niveau important, qui allait très vite surtout pendant l'heure bleue. Tant que l'optique le permet, nous pouvons ouvrir ou fermer le diaphragme au fur et à mesure du gain ou de la perte de niveau lumineux. Mais arrivé à pleine ouverture, avec un temps d'exposition difficilement plus long que 1/50ème de seconde, le chef opérateur n'a plus de solutions pour offrir une plus grande lustration à son capteur.

En prenant en référence nos mesures, nous avons environ un éclairage d'un lux à  $-6^\circ$  d'élévation, à la fin de l'heure bleue, ce qui correspond à  $0,1 \text{ cd.m}^{-2}$  pour un diffuseur parfait et un coefficient de réflexion moyen de 31%. En considérant une optique grande ouverture (f1.4) et un temps d'exposition de 1/50, nous lustrons alors notre capteur de seulement  $0,00065 \text{ lux.s}$ . En prenant nos points de saturation de nos deux caméras ( $1,77 \text{ lux.s}$  pour l'Alexa Studio et  $0,30 \text{ lux.s}$  pour la Blackmagic 4K), nous nous rendons compte que nous nous plaçons à environ  $11 \text{ EV } 1/2$  de la saturation chez l'Alexa et environ 9 EV chez la Blackmagic. C'est-à-dire tout juste en dehors de ce que nous considérons comme l'étendue utile réelle de l'Alexa, et un peu plus en dehors pour la Blackmagic 4K. C'est aussi pourquoi une élévation de  $-6^\circ$  indique la fin de l'heure bleue pour moi, car nous ne pouvons que très difficilement continuer à tourner ensuite. Cependant, il existe un dernier outil au chef-opérateur qui lui permet, à défaut d'améliorer sa lustration au cours de l'heure bleue, de jouer et 'tricher' sur les valeurs numériques : la sensibilité.

La sensibilité d'une surface photosensible est la réponse de cette surface à une quantité de lumière. Plus la surface photosensible a besoin de lumière pour réagir, moins elle est sensible, et inversement, moins elle a besoin de lumière, plus elle l'est.

Nous pouvons donc poser :

$$S = \frac{x}{H}$$

avec S : Sensibilité  
H : Lumination  
x : Constante

La sensibilité est quantifiée par un indice d'exposition (EI pour Exposure Index), issu de la norme photographique ISO, avec la fameuse échelle de valeurs 100-125-160-200-250-320-400 etc... qui a la particularité de suivre l'échelle des EV. Quand on double la sensibilité, on augmente d'un EV. La sensibilité est donc une caractéristique native du capteur, fourni par les fabricants de caméras. Seulement, comme il n'existe pas de normes officielles, nous ne savons pas sur quels critères est basé le terme de sensibilité native ou nominale qu'applique chaque fabricant à sa caméra. Ainsi, la Blackmagic 4K est annoncée à 400 EI, tandis que l'Alexa Studio est annoncée à 800 EI. Souvent, il s'agit pour les fabricants du domaine « d'optimisation de la caméra », avec une répartition des EV à peu près équivalente de part et d'autre du gris neutre à 18%, comme le montre le schéma suivant issu de la documentation d'Arri (Figure 45<sup>47</sup>).

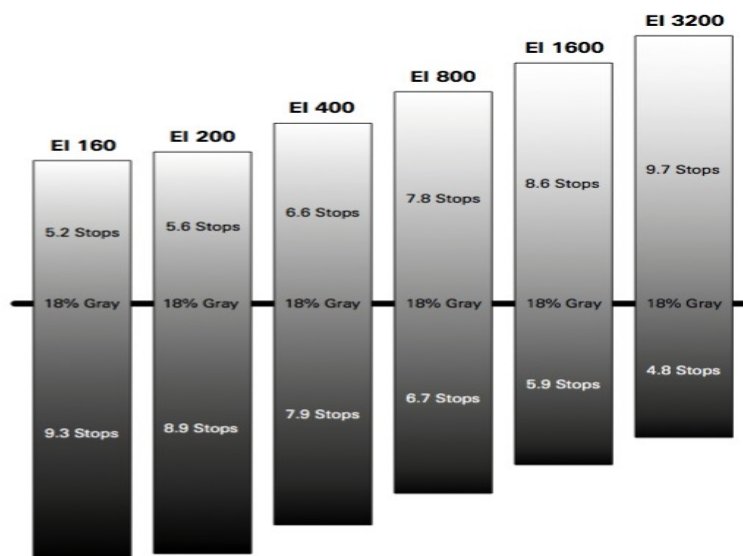


Figure 45 : Schéma d'illustration de la répartition des EV en fonction de la sensibilité selon Arri.

Chaque capteur n'a qu'une sensibilité unique, sa réaction ne variant pas en fonction de la sensibilité que nous choisissons sur le curseur. Celui-ci ne va pas réussir à chercher d'autres informations de lumination, ce qui serait le cas si sa sensibilité changeait

47 Source : ARRI, ALEXA\_Pocket\_Guide\_SUP\_11.0, Reference Manuel, 2015, p. 32



réellement. C'est pour cela que le schéma précédent est trompeur : il donne l'impression que le gris neutre ne se déplace pas et que la caméra va réussir à chercher des informations supplémentaires dans les hautes ou les basses lumières en fonction de l'EI choisi, ce qui est totalement faux.

En réalité, nous pouvons nous rendre compte que prendre la caméra à une sensibilité différente a deux influences :

- Le ré-encodage des valeurs numériques
- Le placement du gris neutre à 18% sur la courbe de réponse

### RÉ-ENCODAGE DES VALEURS NUMÉRIQUES

La sensibilité permet de ré-encoder différemment les luminations que la capteur reçoit : c'est simplement une ré-organisation de la gradation. Plus la sensibilité choisie sur la caméra sera élevée, plus la caméra va réorganiser la gradation de manière à obtenir une image plus « claire ». Pour une même lumination, la caméra attribuera une valeur numérique plus haute à 800 ISO qu'à 200 ISO. Cependant, ce travail effectué dans la caméra et non en post-production, s'avère plutôt efficace jusqu'à un certain point. En effet, l'augmentation artificielle de la sensibilité est nécessairement accompagnée d'un autre problème : la montée du niveau de bruit. Nous ne pouvons donc nous permettre de monter trop haut en sensibilité. Mais en choisissant une sensibilité plutôt élevée mais raisonnable, nous allons modifier notre encodage et appliquer des valeurs numériques plus hautes à ces luminations très faibles, de manière totalement artificielle.

Cela me rappelle d'ailleurs le tournage du F2 en extérieur, réalisé par Alexandre Buyukodabas, au cours duquel j'ai été chef-opérateur sur une séquence se déroulant à l'heure bleue du soir. Alors que nous semblions prêts assez tôt, j'avais choisi mes paramètres d'exposition à 1/50, f5.6 et EI200 afin de poser 'correctement'. Je précise que nous n'étions pas en Raw mais dans un codec 'compression sans perte' : le Prores 444. Au fur et à mesure du coucher du soleil, nous avons perdu beaucoup de temps pour diverses raisons, ce qui m'a amené à compenser par le diaphragme la baisse du niveau lumineux, compliquant petit à petit le travail de l'assistant opérateur. Arrivé à pleine ouverture, j'ai alors fait le choix d'augmenter ma sensibilité à EI 400, puis à EI 800 pour compenser le

manque de lamination. Je ne voulais cependant pas pousser plus loin la sensibilité de la caméra, craignant pour le bruit. Heureusement, nous avons finalement réussi à entrer le plan avec ces paramètres-ci, ce qui constitue un moindre mal au regard du déroulement du tournage. Finalement, à l'étalonnage, nous avons finalement pris le parti d'assombrir encore plus l'image pour créer une atmosphère sombre et pesante, comme le montre bien le photogramme suivant.



*Figure 46 : Photogramme issu du film "L'Heure où blanchit la campagne", exercice F2, tourné en Alexa Standard. Paramètres : Log-C, 5600K, f2, EI 800, 1/50, étalonné sur Rain.*

Sur le même principe, en mars dernier, pour le tournage d'une heure bleue du matin sur la PPM de Simon Bonanni *Les Medouny*, sur laquelle j'étais chef-opérateur, j'avais utilisé l'Alexa Mini à 800 ISO quand le niveau était encore faible (nous étions également en Prores444). Par la suite, l'augmentation progressive du niveau m'a permis de redescendre à 400 ISO, puis à 200. Je n'avais plus besoin de « tricher » sur le ré-encodage de mes valeurs numériques. En revanche, bouger sa sensibilité de la sorte peut non seulement entraîner des problèmes de raccord entre les plans (mais nous tournions un plan-séquence donc nous n'avions pas vraiment ce souci-là), et nous fait également déplacer notre contraste sur la courbe de réponse.

### PLACEMENT SUR LA COURBE

Au-delà du ré-encodage des valeurs numériques, le choix de sensibilité est également déterminant pour placer notre gris neutre à 18% à différents endroits de la courbe, car elle est le liant entre notre cellule de mesure de la lumière et notre caméra. En effet, ce

fameux gris neutre à 18% reste le point de référence de nos cellules incidentes et spotmètres. Lorsque nous pointons notre spotmètre vers les divers objets de notre sujet ,il ne faut jamais oublier que celui-ci est programmé pour renvoyer un couple diaphragme/temps d'exposition, en fonction de la luminance mesurée et de la sensibilité choisie, afin que notre capteur reçoive une lamination correspondant à une exposition « correcte ». Mais quelle est une lamination « correcte » pour une sensibilité donnée ?

A l'aide de la formule de calibrage des spotmètre et de la formule de la lamination évoquée plus tôt, nous pouvons poser :

$$H = \frac{0,64 \times k}{S}$$

avec H : la lamination

k : constante égale à 12,5 à notre époque

S : sensibilité choisie

Nous pouvons ainsi en déduire une correspondance entre la lamination subie par le capteur en fonction de la sensibilité choisie sur notre spotmètre.

ISO INDIQUÉ SUR LE SPOTMETRE	LUMINATION SUBIE PAR LE CAPTEUR (en lux.s)
25	0,32
50	0,16
100	0,08
200	0,04
400	0,02
800	0,01

Ainsi, choisir 200 ISO sur son spotmètre amènera la luminance envoyée par l'objet « spotté » à créer une lamination de 0,04 lux.s sur notre capteur, pour peu que l'on respecte le couple diaphragme/temps d'exposition indiqué par notre instrument de mesure. De plus, nous connaissons les points de saturation précis de nos deux caméras : 0,30 lux.s pour la Blackmagic 4K, et 1,77 lux.s pour l'Alexa Studio. Nous nous rendons compte que prendre la Blackmagic 4K à 200 ISOS nous amènera à placer le gris neutre à

environ 3 EV de la saturation, tandis que prendre l'Alexa à la même sensibilité nous amènera à placer le gris neutre à 5 EV 1/3 environ de la saturation.

Et en la prenant à 800 ISO, comme nous le conseille fortement Arri, nous allons en réalité placer notre gris neutre à 7 EV de la saturation, donc vraiment bas sur la courbe. Cette stratégie a pour but de nous protéger des hautes lumières et de la surexposition. Cependant, cette marge de manœuvre de 7 EV paraît bien grande et pas nécessairement utile. Nous nous empêchons de placer des informations dans la partie de la courbe qui répond le mieux et qui est encodé sur plus de valeurs. Il ne faut pas oublier qu'à cause de la réponse linéaire d'un capteur, 87,5% des valeurs numériques servent à encoder seulement les 3 EV les plus proche de la saturation, dans lesquelles on ne vient généralement rien placer de notre sujet filmé en prenant la caméra à 800 ISO. Nous devons donc avoir conscience que le choix de sensibilité a une incidence sur le placement de notre gris neutre sur la courbe, pour peu que l'on respecte le diaphragme indiqué par notre spotmètre. Libre à chaque chef-opérateur de choisir une méthode d'exposition, en choisissant une sensibilité définie sur sa caméra et son spotmètre, et en respectant à sa manière les diaphragmes indiqués. L'important étant de toujours savoir où nous allons placer notre contraste sujet sur notre courbe de réponse.

### VERS UNE NORME DE SENSIBILITÉ ?

À l'aide de notre tableau de correspondance entre la sensibilité ISO choisie sur le spotmètre et la lamination sur le capteur, et grâce au point de saturation de notre caméra, qui est, on le rappelle, le seul élément précis et invariant d'une courbe de réponse, nous avons tous les moyens pour proposer une norme de détermination de la sensibilité, applicable à toutes les caméras.

Nous savons qu'un contraste statistique moyen entre un blanc et un noir est de 5 EV 1/3, avec environ 3 EV compris entre un noir à 2% et un gris neutre à 18%, et environ 2 EV 1/3 entre le gris neutre à 18% et un blanc à 80%. Au regard de cela, choisissons de manière arbitraire de poser notre gris neutre à 3 EV du point de saturation de notre

capteur. Si bien que nous pouvons déterminer la sensibilité d'une caméra par la phrase suivante : à quelle sensibilité faut-il considérer notre caméra pour placer un gris neutre à 18% à précisément 3 EV de son point de saturation ?

Dans le cas de la Blackmagic 4K, nous devons la considérer aux environs de 200 ISO pour que le gris neutre soit placé à 3 EV de sa saturation.

Dans le cas de l'Alexa Studio, nous devons la considérer aux environs de 50 ISO pour que le gris neutre soit placé à 3 EV de sa saturation.

Avec cette norme, chaque utilisateur saurait qu'en choisissant de prendre une caméra à sa sensibilité annoncée, il irait placer le gris neutre à 3 EV de la saturation. De manière logique, en la considérant à une sensibilité plus importante, on éloignerait notre gris neutre de notre point de réponse en allant le placer plus bas sur la courbe. Mais au moins, la sensibilité annoncée par les constructeurs voudrait dire la même chose sur toutes les caméras.

Pour autant, que la Blackmagic 4K est une sensibilité plus élevée que l'Alexa Studio ne signifie pas qu'elle réagira mieux à de plus faibles luminations. Ici, la notion d'étendue utile entre évidemment en jeu. En regardant nos deux étendues utiles réelles arrêtées précédemment, nous nous rendons bien compte que l'Alexa Studio est capable d'aller chercher des luminations plus élevées mais également moins élevées que la Blackmagic 4K. Nous pouvons en quelque sorte dire que l'étendue utile réelle de l'Alexa 'englobe' l'étendue utile réelle de la Blackmagic 4K.

Ainsi, notre Alexa Studio, qui présente une plus grande étendue utile réelle que la Blackmagic 4K (11 EV 1/3 contre 7 EV 1/3) sera beaucoup plus performante pour gérer les grands contrastes de l'heure bleue dorée, mais permettra également de mieux gérer les faibles luminations lors de la fin de l'heure bleue, grâce à sa bien meilleure gestion du bruit. Par expérience, nous pouvons utiliser sans trop de soucis l'Alexa jusqu'à 1280 ISO, alors que la Blackmagic est inutilisable au-dessus de 400 ISO...

# CHAPITRE 2 : LES CAMÉRAS NUMÉRIQUES

## FACE À LA QUALITÉ DE L'HEURE BLEUE DORÉE

### A. LA RÉPONSE QUALITATIVE DES CAMÉRAS NUMÉRIQUES

#### 1. LA TEMPÉRATURE DE COULEUR

Nous avons déjà évoqué le terme de température de couleur proximale ou corrélée dans la deuxième partie de ce mémoire, que l'on trouve par comparaison avec l'émission théorique du corps noir échauffé à cette température. Exprimée en Kelvins ou en Mired (selon la formule  $K = 10^6 / M$ ), la température corrélée d'une source de lumière blanche peut être obtenue en comparant les coordonnées de chromaticité de cette source à celle du lieu du corps noir (spectrum locus). Voici sa représentation dans un diagramme de chromaticité CIE 1931 x y :

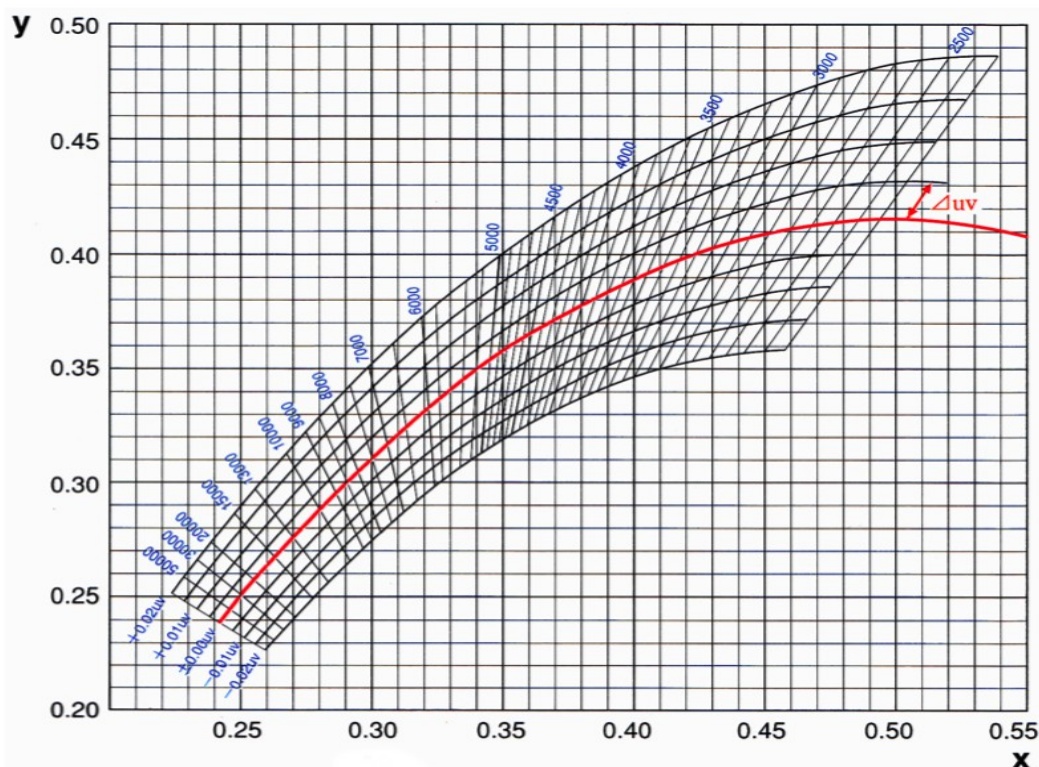


Figure 47 : Représentation du lieu du corps noir dans un diagramme de chromaticité CIE 1931, avec indiqué le delta uv et les températures de couleur corrélées.

Si une source possède ses coordonnées sur la ligne d'iso-température, nous avons l'impression visuellement de la même couleur. Cependant, l'écart entre la véritable température du corps noir et la température de couleur corrélée de la source s'exprime par un delta uv. Au-dessus, le décalage est en vert, et en dessous en magenta.

En numérique, pour faire face aux différentes températures de couleur que nous pouvons rencontrer (exemple : 3200K pour du tungstène, en intérieur ; et 5600K pour de la lumière du jour classique), nous avons la possibilité de faire un choix de balance des blancs. Généralement, cette balance est faite de sorte à « s'aligner » avec la température de couleur dominante de la scène, afin que notre image soit neutre, qu'un blanc soit vu blanc par la caméra. Cette balance consiste à une application de gains artificiels dans les canaux rouge et bleu de la caméra. Plus nous chercherons à équilibrer une lumière froide, telle que le ciel de l'heure bleue, plus nous devons compenser le canal rouge avec un fort coefficient, car la caméra ne voit que très peu de rouge sous une telle lumière. Cette balance n'est donc pas sans risque, car attribuer de forts coefficients dans le rouge ou le bleu pour compenser le déséquilibre de température peut engendrer du bruit chromatique.

Un capteur ne possède qu'une seule température d'équilibre, c'est-à-dire une température à laquelle il applique le même gain dans les canaux rouges et bleus, pour obtenir une sensation de blanc. De part et d'autre de cette température d'équilibre, le capteur corrige la balance des blancs en attribuant différents coefficients dans les canaux rouges et bleus afin de donner la sensation du blanc. Afin d'approcher cette notion de température d'équilibre d'une caméra, nous pouvons utiliser nos images tournées en juillet 2015 avec la Blackmagic 4K, dans lesquelles nous avons placés une Color Checker (charte de couleurs), exposée à la fois à la lumière du ciel et du soleil couchant. En analysant uniquement cette Color Checker indépendamment du reste de l'image, nous pouvons réaliser des histogrammes indiquant le nombre de pixels par teintes en fonction de l'évolution de la lumière. Nous pouvons ainsi nous rendre compte, au fur et à mesure du basculement qualitatif de lumière, de l'évolution des teintes de la color checker qu'enregistre la caméra (Figure 48) :

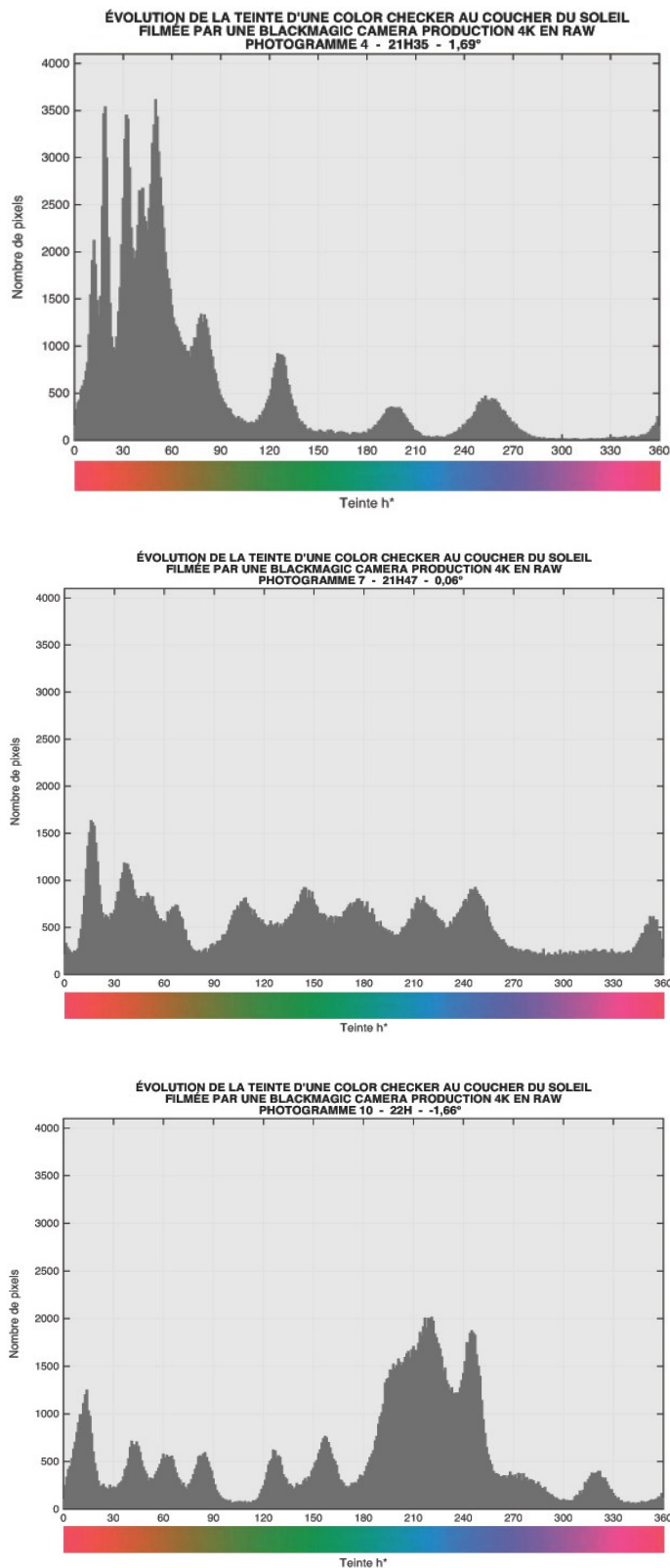


Figure 48 : Histogrammes du nombre de pixels par teinte d'une color checker filmée par la Blackmagic Camera Production 4K N°2771677 à une élévation du soleil de 1,69°, de 0,06° et -1,66°.

Nous pouvons observer qu'à 1,69° degré d'élévation, la Blackmagic a vu beaucoup des pixels de la color checker dans des teintes rougeâtres. Suite au basculement du soleil sous l'horizon, elle a au contraire vu à -1,66° d'élévation beaucoup de pixels dans des teintes bleutés. Ces éléments confirment le basculement qualitatif que nous avons évoqués dans la deuxième partie, du chaud au froid, du rouge au bleu. Nous comprenons donc bien l'importance ici de la température d'équilibre, tant les canaux rouge et bleu sont mis en jeu lors de ce basculement de lumière. De plus, au passage du soleil sous l'horizon, nous observons que la Blackmagic a vu à peu près autant de pixels de chaque couleur présent sur la teinte, comme si la température de la lumière à ce moment-là (même si le spectre non continu nous empêche de réellement évoquer le terme de température de couleur) équivalait à celle de la température d'équilibre de la caméra...



Afin de déterminer les températures d'équilibre de nos deux caméras d'étude, nous avons programmé avec la source spectrale programmable OL490 du laboratoire de sensitométrie 10 illuminants correspondant à 10 températures de couleur différentes. Les caractéristiques de ces 10 illuminants et les détails du protocole sont disponibles en Annexe 5<sup>48</sup>.

Nous avons filmé en Raw avec nos deux caméras chacun de ces 10 illuminants pendant plusieurs secondes. Grâce au logiciel de traitement Matlab, nous avons pu effectuer des moyennes sur plusieurs images pour obtenir la réponse dans les canaux rouge, vert et bleu, pour chaque illuminant. Logiquement, le canal vert répond à peu près toujours de la même manière. En revanche, les canaux rouge et bleu ont réagi différemment, selon que la source était « chaude » ou « froide ».

Grâce à ces 10 points de mesure en rouge et en bleu, nous avons pu obtenir un polynôme du second degré, permettant de tracer la courbe passant au mieux par l'ensemble de ces 10 points. Ces polynômes peuvent donc être assimilés à la réponse de la caméra en rouge et en bleu. Leur croisement indique donc la température de couleur pour laquelle la caméra voit autant de rouge que de bleu. Il s'agira donc de la température d'équilibre de la caméra.

Voici ci-dessous les graphiques avec les polynômes de réponse de nos deux caméras étudiées (Figure 49 et Figure 50) :

---

48 Annexe 5, p. 161



Nous pouvons remarquer que les deux capteurs sont sensiblement différents. L'Alexa Studio possède une température d'équilibre de 205 mireds, soit 4880 Kelvins (à +/- 5 mireds), tandis que la Blackmagic 4K en possède une de 266 mireds, soit 3760 Kelvins (à +/- 5 mireds). Nous avons donc une différence de plus de 1000 Kelvins entre ces deux températures d'équilibre.

Par rapport aux deux températures référentes dans le monde du cinéma (3200K : source incandescente tungstène ; et 5600K : Daylight, lumière du jour classique, projecteur HMI), l'Alexa Studio est plus proche du Daylight tandis que la Blackmagic est plus proche des sources tungstène. Elles ont donc moins de correction à effectuer, donc de gain à appliquer à leurs canaux, avec ces sources respectives. Ce décalage implique également des corrections importantes à effectuer à deux endroits distincts :

- L'Alexa Studio devra effectuer une très forte correction en bleu aux alentours de 2800 Kelvins, c'est-à-dire pour l'équivalent de la température de couleur émise par une bougie.
- La Blackmagic 4K devra effectuer une très forte correction en rouge aux alentours de 8000 Kelvins, c'est-à-dire pour un ciel bleu juste après le coucher du Soleil.

Or, des fortes corrections de balance vont alors nécessairement amener du bruit dans les canaux à corriger en fonction de la température de couleur choisie. En l'occurrence, nous avons pu nous rendre compte du problème de bruit dans le canal bleu de la Blackmagic 4K sur le test de courbe de réponse, avec un bruit très important dans ce canal dû au fait que la source de lumière en contenait très peu. Cependant, ces informations sont à relativiser par la pratique car nous essayons rarement d'obtenir un blanc réellement blanc à la lumière des bougies ou à l'heure bleue. Nous cherchons souvent à conserver le côté chaud/rougeâtre ou froid/bleuté de ces éléments.

En définitive, en ce qui concerne le basculement qualitatif de lumière de l'heure bleue dorée, nous avons vu que les températures de couleur mises en jeu pouvaient être de l'ordre de 3000 Kelvins pour un soleil couchant et dans le même temps de l'ordre de 8000-9000 Kelvins pour le ciel bleu. La question importante ici est celle de ce qu'on appelle le contraste coloré, mettant en opposition le rouge et le bleu, le chaud et le froid,

le soleil et le ciel, les courtes et les grandes longueurs d'onde. Comment influencer sur ce contraste coloré qui est une des clés de la lumière et de l'image de l'heure bleue dorée ?

Par exemple, nous choisissons généralement la température de 5600K afin de conserver le bleu du ciel et le rouge du soleil, pour tenter d'obtenir un équilibre entre les deux. En réalité, comme nous l'avons bien vu dans la deuxième partie, ces deux lumières évoluent en permanence, et choisir 5600K comme valeur absolue ne nous permet pas d'avoir une balance correcte. Heureusement, un flux Raw permet de déplacer en post-production le choix du gain des canaux rouge et bleu, nous offrant un confort supplémentaire à la prise de vue, en cas d'erreur. Malheureusement, dans un flux 'compressé', le choix de balance est implémenté et définitif. Il faut donc le choisir correctement dès la prise de vue, au risque de détériorer son image à l'étalonnage en lutant contre des mauvais choix de tournage. Il est donc primordial pour un chef-opérateur d'être d'une part équipé d'un colorimètre afin de connaître en temps réel l'évolution de ces deux lumières qui cohabitent, et d'autre part de connaître la réponse de sa caméra à différentes températures de couleur. Ainsi, nous avons toutes les cartes en main pour nous placer comme bon nous semble, pour gérer notre contraste coloré, en privilégiant le côté doré ou le côté bleu du soleil couchant. Dans notre cas, la température d'équilibre de l'Alexa Studio, de 4880K (+/- 5 mireds) paraît plus proche d'un équilibre correct entre l'heure bleue et l'heure dorée, permettant de limiter les gains dans les canaux rouge et bleu. En revanche, la Blackmagic 4K a une température d'équilibre plus basse, de 3760 (+/- 5 mireds), qui obligera bien souvent à attribuer des gains importants au canal rouge si nous désirons nous placer aux alentours de 4500-5000K lors de l'heure bleue dorée.

À titre d'information, voici la représentation des images issues de chaque caméra en fonction des 10 illuminants envoyés dans la source spectrale programmable. Nous avons conservé le gammut propre à chaque caméra, mais avons choisi un gamma identique, celui du sRGB. Nous avons ensuite normalisé les deux bandes autour d'une valeur proche de la saturation.



Figure 51 : Image de 10 illuminants de différentes températures de couleur vus par l'Alexa studio n°6201.



Figure 52 : Image de 10 illuminants de différentes températures de couleur vus par la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677.

Sur les 10 illuminants que nous avons choisi de créer, nous pouvons constater que nous avons, par hasard, envoyé quasiment la température d'équilibre de la Blackmagic, à 267 mireds, soit 3745 Kelvins (à une dizaine de Kelvins de la température d'équilibre de la Blackmagic, qui est de 3760 (+/-5 mireds) Kelvins). Ce n'est pas le cas pour l'Alexa, et c'est pour cela que nous n'obtenons pas un « blanc » dans ses images.

## 2. LA SENSIBILITÉ SPECTRALE

Nous avons précédemment vu que la sensibilité d'un capteur était inversement proportionnelle à la luminance. Seulement, la réponse de la caméra est également fortement dépendante du spectre de lumière, avec la longueur d'onde qui intervient comme troisième facteur. Nous avons établi que les limites d'usage du domaine visible du rayonnement électro-magnétique sont d'environ 380 à 780 nanomètres. Ce sont certes les limites d'usage en colorimétrie, mais en réalité l'oeil humain est seulement capable de voir entre environ 400 et 700 nanomètres. Les caméras numériques sont quant à elles sensibles à un certain domaine du spectre qui n'est évidemment pas identique à celui du système visuel humain. C'est pourquoi les fabricants ajoutent généralement des filtres pour empêcher les infrarouges et les ultraviolets, que nous ne sommes pas capable de voir, de participer à l'image enregistrée par le capteur.

En conséquence, la sensibilité spectrale du capteur, c'est-à-dire sa sensibilité dans ces trois canaux rouge, vert, bleu en fonction de la longueur d'onde du spectre de la lumière, est dépendante de la réponse spectrale native des photosites, censée être la même pour tous, de la mosaïque de Bayer apposée dessus, de ces fameux filtres anti UV et IR, ainsi que l'optique qui joue un rôle non négligeable. Cette sensibilité spectrale est un élément clé de réponse de notre caméra, que ce soit en termes quantitatif ou qualitatif. En effet, nous avons vu dans notre deuxième partie que le basculement qualitatif de l'heure dorée concernait surtout un basculement des courtes et grandes longueurs d'onde. C'est donc à ces deux extrémités que nous allons tirer des informations intéressantes de nos deux capteurs.

Afin de déterminer la sensibilité spectrale de nos deux capteurs, nous avons une fois de plus utilisé la source spectrale programmable OL490 du laboratoire de sensitométrie. Nous avons ainsi exposé nos capteurs à 69 longueurs d'onde différentes, comprises entre 380 et 720 nm par pas de 5 nm, à 5 intensités différentes. Nous avons ainsi obtenu, pour chaque canal rouge, vert et bleu, 69 courbes de réponse en fonction des 69 longueurs d'onde traitées. Par la suite, nous avons décidé d'un niveau arbitraire de réponse à :

$$\log_2(VN_{\text{relatif}}) = -4$$

Il s'agissait alors, grâce à nos 3\*69 courbes de réponse, de connaître la lamination nécessaire pour l'obtention d'un tel niveau aux 69 longueurs d'onde traitées.

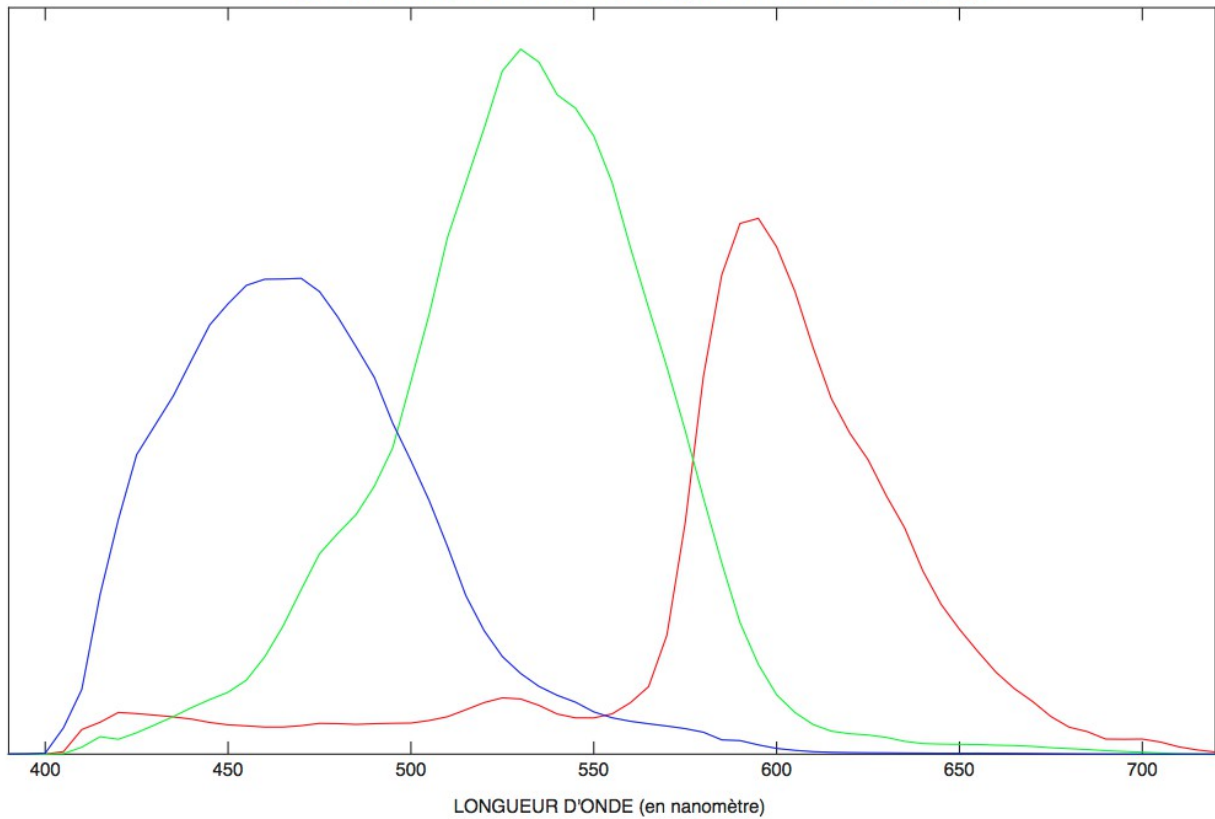
Par exemple, il faut très peu de lamination à 450 nanomètres pour obtenir un tel niveau dans le canal bleu, alors qu'il en faudra beaucoup plus à 550 nanomètres. Cela tient fondamentalement au spectre de longueurs d'onde, auquel est rattaché le bleu dans les courtes longueurs d'onde, le vert dans les moyennes, et le rouge dans les grandes. De plus, nous savons que la sensibilité est inversement proportionnelle à la lamination, car plus il faudra de lamination dans une longueur d'onde pour obtenir notre niveau de référence, moins la caméra sera sensible à cette longueur d'onde. Nous pouvons alors obtenir la sensibilité spectrale de notre caméra, dans les trois canaux rouge, vert et bleu, qui sont indiqués ci-dessous pour l'Alexa Studio et la Blackmagic 4K.

Le détail du protocole est disponible en Annexe 5<sup>49</sup>.

---

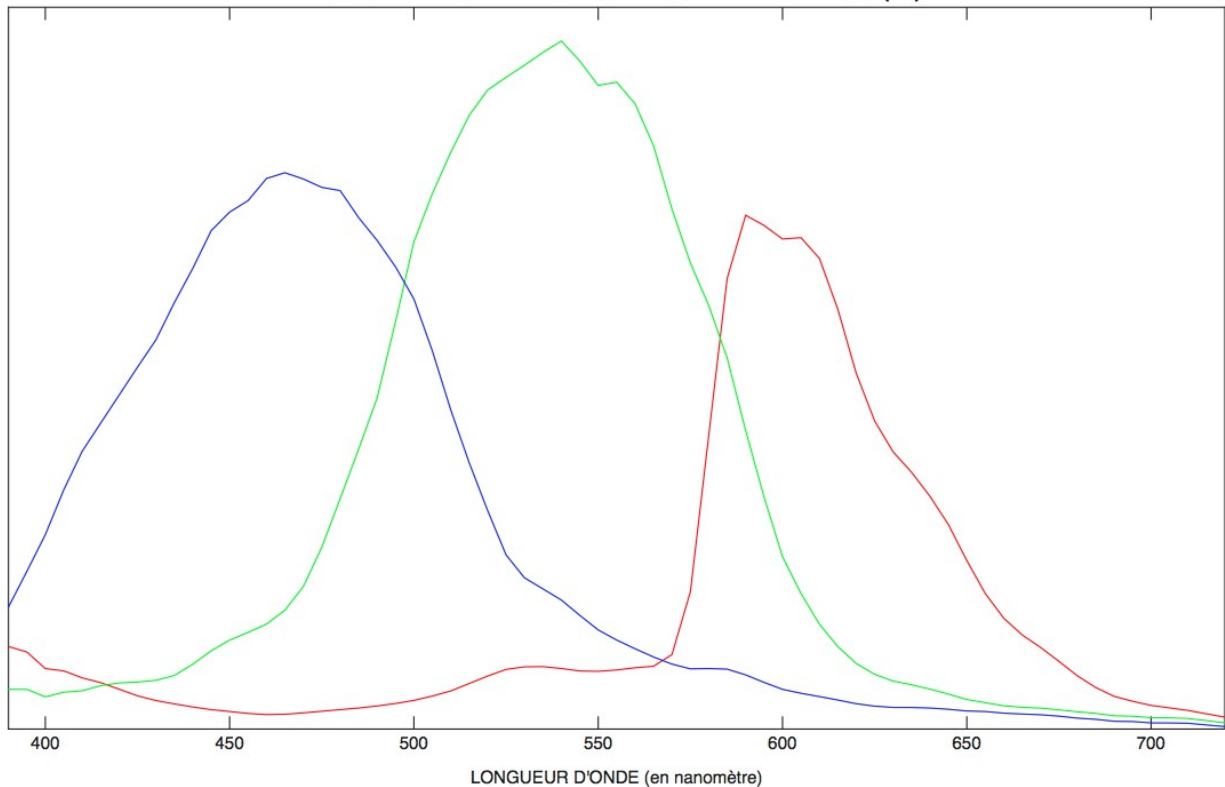
49 Annexe 5, p. 161

**SENSIBILITE SPECTRALE DE L'ARRI ALEXA STUDIO N°6201  
POUR UN NIVEAU DE VALEUR NUMERIQUE RELATIF DE : LOG2(VN)=-4**



*Figure 53 : Graphique de la sensibilité spectrale de l'Arri Alexa Studio N°6201 dans les canaux rouge, vert et bleu pour un niveau de valeur numérique log2 relatif de -4.*

**SENSIBILITE SPECTRALE DE LA BLACKMAGIC CAMERA PRODUCTION 4K N°2271677  
POUR UN NIVEAU DE VALEUR NUMERIQUE RELATIF DE : LOG2(VN)=-4**



*Figure 54 : Graphique de la sensibilité spectrale de la Blackmagic Camera Production 4K N°2271677 dans les canaux rouge, vert et bleu pour un niveau de valeur numérique log2 relatif de -4.*



Nous pouvons voir ici que les deux caméras possèdent une sensibilité spectrale à la forme grossièrement identique mais qui présentent quelques différences notables :

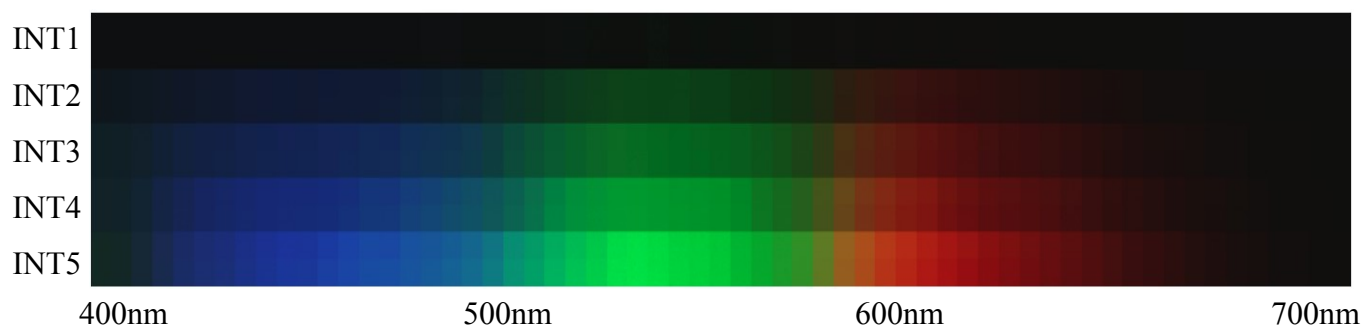
- l'Alexa Studio possède trois canaux assez distincts, de forme à peu près similaire, avec une légère traînée du bleu dans les verts, et du rouge dans le vert et le bleu, afin de pouvoir juste nuancer les couleurs. De plus, Arri arrête bien net sa sensibilité spectrale aux bornes de 400 et 720 nm, sans doute par le biais de filtres anti ultraviolets et infrarouges.
- Au contraire, la Blackmagic 4K a 3 canaux beaucoup plus étalé : le canal bleu déborde beaucoup sur le vert puis sur le rouge, et le canal rouge déborde en assez grande quantité sur le vert, puis remonte dans les très courtes longueurs d'onde. Il s'agit là d'une sensibilité spectrale qui s'étend énormément tout au long du spectre, ce qui ne va pas favoriser une bonne analyse colorée. À toutes les longueurs d'onde du visible, les trois canaux vont réagir plus ou moins, empêchant d'obtenir des couleurs franches et réaliste. De plus, nous pouvons voir que la caméra ne réduit pas sa sensibilité spectrale aux bornes du domaine visible : il est assez choquant de constater que la caméra va chercher des informations dans les ultraviolets, et ce, dans les trois canaux. Ceci pour probablement gagner artificiellement en sensibilité dans des domaines du non-visible, au détriment d'une bonne analyse des couleurs.

En conséquence, les deux caméras ne vont clairement pas avoir la même réponse au basculement qualitatif de lumière qui a lieu dans les courtes et grandes longueurs d'onde lors d'une heure bleue dorée. Si l'Alexa semble pouvoir rendre des couleurs justes grâce à sa sensibilité spectrale bien répartie, nous pouvons plus craindre pour le rendu de la Blackmagic.

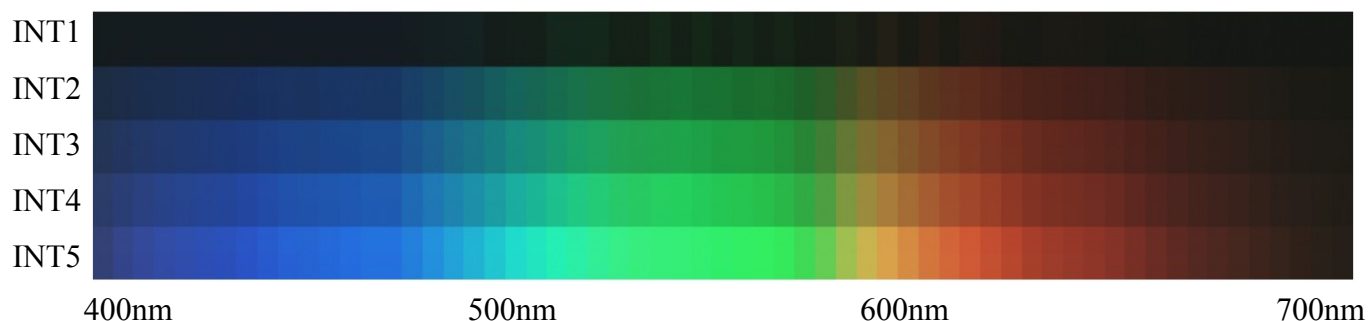
De plus, nous pouvons observer ici les différences de température d'équilibre. En effet, les canaux rouge et bleu de l'Alexa possèdent une sensibilité identique aux alentours de 550 nanomètres, ce qui correspond d'ailleurs au pic de sensibilité de l'oeil humain, tandis que dans la Blackmagic, cette sensibilité identique est aux alentours de 570 nanomètres, à

une longueur d'onde plus grande, donc plus « chaude ».

À titre d'information, voici la représentation des images issues de chaque caméra aux 69 longueurs d'onde et aux 5 intensités. Nous avons conservé le gammut propre à chaque caméra, mais avons choisi un gamma identique, celui du sRVB. Il s'agit en quelque sorte d'une représentation imagée de la sensibilité spectrale.



*Figure 55 : Images issues de l'Alexa Studio n°6201 pour 69 lumières voulues monochromatiques entre 400 et 700 nm (par pas de 5 nm), à 5 intensités différentes.*



*Figure 56 : Images issues de l'Alexa Studio n°6201 pour 69 lumières voulues monochromatiques entre 400 et 700 nm (par pas de 5 nm), à 5 intensités différentes.*

## B. LES SOLUTIONS POUR GÉRER LA QUALITÉ DE LUMIÈRE

### 1. L'ENCODAGE : LE RAW, LE REC709 ET LE LOG

Le choix d'encodage est une décision très importante qui se prend en amont du tournage, et qui influe énormément à la fois sur la gestion de la quantité et de la qualité de lumière d'une scène, car il modifie à la fois le gamma et le gammut de notre image enregistrée. En effet, selon la destination des images (salle de cinéma, télévision, internet...), le flux d'enregistrement du fichier va différer, et les stratégies d'exposition du chef-opérateur avec. Pour bien comprendre les différents encodages, nous devons comprendre le chemin de création de l'image, de son exposition à la lumière à l'enregistrement définitif du fichier.

LUMINANCE DU SUJET



LUMINATION : Exposition du capteur à différentes luminations selon les diverses luminances de la scène et des paramètres d'exposition.

VALEURS NUMÉRIQUES : Attribution d'une valeur numérique à chaque photosite du capteur proportionnellement à la lamination subie, et selon la quantification du capteur. À ce stade, l'image est en noir et blanc car le capteur n'est sensible qu'à une luminance, indépendamment de la couleur.



**RAW**

DÉMATRICAGE : (appelé débayerisation si le filtre de couleur appliqué sur le capteur est une matrice de Bayer, comme c'est bien souvent le cas) : séparation de l'image noir et

blanc en trois couches Rouge, Verte et Bleue, selon le filtre coloré appliqué devant chaque photosite. Donc 4 photosites vont créer un seul pixel.

**BALANCE DES BLANCS** : Des gains sont appliqués dans les canaux rouge et bleu en fonction du choix de balance des blancs effectué par le chef-opérateur.

**INTERPOLATION** : Création de pixels supplémentaires à l'aide des photosites alentour, grâce à des algorithmes.

**GAMMUT MAPPING** : Changement d'espace colorimétrique, de celui propre à la caméra à un normé choisi via le choix d'encodage (ex : gammut du REC709, gammut du LOG-C).

**GAMMA MAPPING** : Changement de la gradation des valeurs en fonction de la norme choisie par le chef-opérateur (ex : gamme du REC709, gamme du LOG-C).

**REC709/VIDEO**  **LOG-C/FILM**

**COMPRESSION** : Avec ou sans pertes selon le choix du chef opérateur (exemple : Prores 444=compression quasiment sans perte, Prores422=compression avec perte dans les informations de chrominance notamment).

Il faut cependant bien préciser ici qu'il s'agit d'un développement d'image classique, mais que selon la logique des outils de traitement, l'ordre et la méthode peuvent s'avérer légèrement différents. Nous pouvons récupérer notre image à différents stades de l'encodage, comme indiqué sur le schéma ci-dessus, avec le Raw, le REC709/VIDEO et le LOG-C/FILM. Ici, nous utilisons les termes d'ARRI/BLACKMAGIC, mais qui sont plus ou moins des correspondances de l'une à l'autre. Cependant, à part le REC709, ces espaces ne sont pas véritablement normés. Évidemment, plus nous la récupérons tôt, plus l'image sera brute, plus nous pourrons effectuer de traitements personnels et poussés en post-production, mais plus le fichier sera lourd. Dans une logique de télévision, avec une image prête à diffuser dès son enregistrement, nous aurons tout intérêt à nous mettre dans l'espace REC709, en vue d'obtenir une « belle image », contrastée et saturée, dès la prise

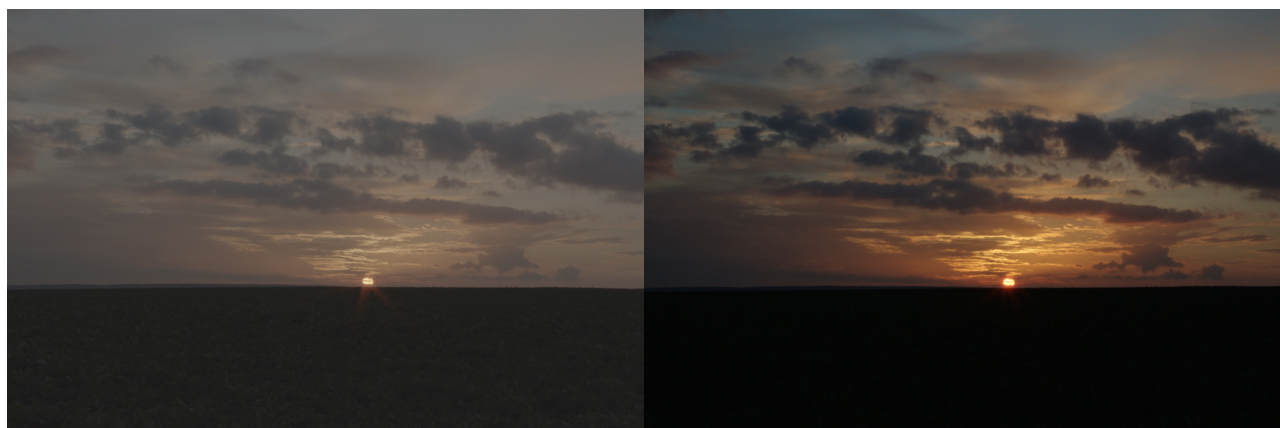
de vue, en la pensant sans étalonnage. En revanche, dans une logique cinéma, nous savons pertinemment qu'il y aura un étalonnage. Le chef opérateur peut donc faire des choix différents, afin de conserver un maximum d'informations, pour avoir une grande latitude à l'étalonnage pour obtenir précisément le rendu qu'il désire. De manière concrète, nous pouvons exposer une scène de pénombre dans le pied de courbe en logique télévision, afin d'avoir un rendu direct, et exposer une scène sur le haut de la courbe en logique cinéma, afin de pouvoir à l'étalonnage baisser ces valeurs, pour obtenir un rendu relativement similaire mais bien plus contrôlé, et avec beaucoup moins de bruit.

Le format Raw est ainsi vivement conseillé dans la captation d'une heure bleue dorée, étant donné les difficultés quantitatives et qualitatives de cette période, afin de conserver les informations les moins compressées possible issues du capteur. En réalité, nous savons pertinemment qu'il ne s'agit pas de l'information brute du capteur mais que certaines compressions ont déjà été effectuées par la caméra. Par exemple, chez Arri comme chez Blackmagic, nous récupérons leur Raw encodé sur un modèle logarithmique, alors que la réponse du capteur est nécessairement linéaire. Les deux fabricants ont fait le choix, plutôt intelligent, d'encoder directement leur signal linéaire afin de mieux répartir la gradation des valeurs. Chez Red, nous conservons certes un signal linéaire mais nous pouvons attribuer une compression à notre Raw.

De plus, en Raw, certains choix effectués sur la caméra ne sont que des métadonnées, comme c'est le cas de la balance des blancs. C'est également censé être le cas pour la sensibilité, car nous avons vu qu'elle n'est finalement qu'une ré-organisation de la gradation. Or, alors qu'il s'agit très souvent d'une métadonnée, Arri prend le parti d'appliquer une nouvelle compression avant de rendre son fichier Raw en encodant différemment son fichier en fonction de la sensibilité choisie par le chef opérateur au tournage. Il est donc primordial d'effectuer consciemment ce choix-là au tournage car nous ne pourrions retourner en arrière par la suite sur des logiciels comme Da Vinci Resolve (cependant, ce choix reste réversible sur des logiciels comme Matlab).

Afin de se rendre bien compte visuellement de la différence entre le Log-C et le REC709, qui ont donc un gammut différent (gammut du LOG-C chez Arri : Wide Gammut, et

gammut du REC709 chez Arri : Norme REC709), ainsi qu'un gamma différent, donc une gradation différente (celle du LOG-C offre une aptitude au contraste plus douce, créant une image laiteuse, moins flatteuse, mais permettant plus de marge à l'étalonnage), nous avons filmé simultanément un coucher de soleil avec deux caméras Arri relativement similaires (l'Alexa Standard de l'école, et une Alexa Mini prêtée par ImageWorks), avec les mêmes paramètres d'exposition. Nous obtenons donc deux images qui diffèrent simplement par leur espace colorimétrique et leur gradation choisie par l'encodage :



*Figure 57 : Photogramme d'un coucher de soleil filmé par l'Alexa Mini d'Image Works en LOG-C.*

*Figure 58 : Photogramme d'un coucher de soleil filmé par l'Alexa Standard en REC709.*

Finalement, l'image REC709 nous donne un rendu direct, contrasté et saturé, alors que le LOG-C, bien plus laiteux, est pensé pour l'étalonnage (tout comme le Raw d'ailleurs). Via le choix d'encodage, le chef-opérateur influe nécessairement sur la qualité, et donc sur les couleurs de son image issue de son capteur. Ce choix doit être fait en accord avec le flux de post production et les stratégies d'exposition du chef-opérateur.

En termes d'encodage, nous ne pouvons passer sous silence la prise de vue avec HDR (High Dynamic Range) qui se développe petit à petit, mais sans réussir à vraiment fonctionner. Son principe consiste simplement à effectuer deux prises de vues avec deux expositions : une image sur-exposée pour les basses lumières et une sous-exposée pour les hautes. En mélangeant les deux, l'image finale peut finalement contenir un contraste sujet très important. Mais finalement, souvent mal utilisée, l'image HDR nous semble peu réaliste. Pourtant, cet outil permet de gérer de très grand contraste et serait très utile dans le cas d'un coucher de soleil. Malheureusement, que ce soit en termes de temps ou de moyens, nous n'avons pu nous pencher sur la question en détail.

## 2. LE CHOIX DE BALANCE DES BLANCS

Lors de la détermination de la température d'équilibre de nos deux caméras, nous avons constaté l'importance de la balance des blancs pour gérer la qualité de l'heure bleue dorée. En effet, la captation numérique de la qualité de lumière des soleils levants et couchants repose particulièrement sur les gains appliqués aux canaux rouge et bleu, car la lumière même est un basculement continu et plein de nuances entre des courtes longueurs d'onde (assimilables au bleu) et des grandes longueurs d'onde (assimilables au rouge).

Dans un flux Raw, nous avons également vu que le choix de balance des blancs est une métadonnée, que nous pouvons nous permettre d'effectuer au calme, après le tournage. En effet, dans le cas d'un flux avec compression, tel que le Prores, notre balance des blancs choisie au tournage est alors définitive, ce qui est parfois contraignant. Je reprends mon exemple du plan séquence à l'heure bleue du tournage de la PPM de Simon Bonanni *Les Medouny* : ce fameux plan-séquence commençait en extérieur pour finir en intérieur. Nous avons donc une température extérieure très froide, en constante évolution, et une température d'intérieur, plus chaude, que j'avais fixé à 4500K. Malheureusement, n'ayant pas le temps au cours du tournage de modifier la qualité de ma lumière d'intérieur en fonction de l'évolution de celle en extérieur, j'ai du faire toutes mes prises à une température unique : 5600K, car ça me paraissait être un équilibre relativement juste entre les deux. En étant en Raw, cela m'aurait par exemple permis d'effectuer une bascule de balance des blancs lors du passage de l'extérieur à l'intérieur, au même moment que la bascule de diaphragme que nous avons effectuée par exemple, sans nécessiter un réel travail d'étalonnage, nécessairement un peu destructeur...

Il paraît en tout les cas judicieux de conserver une trace des températures de couleur des sources lors du tournage, et donc, dans le cas de l'heure bleue dorée, qui est en constante évolution, de relever au début de chaque plan celle du Soleil et celle du ciel. Cela nous permettra, en ayant connaissance du comportement de nos caméra dans les canaux rouge et bleu et en fonction de nos intentions esthétiques, d'attribuer une balance correcte et judicieuse en post-production, avant de commencer l'étalonnage.

### 3. LE FILTRAGE COLORIMÉTRIQUE

Grâce à la sensibilité spectrale, nous savons comment réagit notre caméra en fonction des différentes longueurs d'onde. Concrètement, nous savons maintenant comment « voit » notre caméra. Cette donnée est primordiale, notamment pour la mettre en relation avec les spectres des lumières avec lesquelles nous tournons. Dans le cas des projecteurs, nous pouvons grâce à un thermocolorimètre connaître les spectres de ces sources, effectuer notre choix, et/ou éventuellement les corriger à l'aide de gélatines en fonction de cette fameuse sensibilité spectrale. Nous renvoyons ici au mémoire de Raphaël Auger : « Stratégie d'éclairage en cinéma numérique<sup>50</sup> », qui traite précisément des spectres des sources d'éclairage, et de leur relation avec la sensibilité spectrale de la caméra, afin de tenter de créer un IRC caméra. En effet, chaque caméra ayant une sensibilité spectrale différente, nous ne pouvons corriger nos spectres de source uniquement en sachant comment notre caméra réagit. Si cela paraît une évidence, cela ne commence que doucement à se comprendre et à en tenir compte dans le monde du cinéma numérique.

Dans notre cas, où nous ne considérons pas les projecteurs, nous sommes dépendants de la lumière naturelle, qui change de spectre tout au long de l'heure bleue dorée. Nous ne pouvons la modifier ou influencer véritablement dessus. Cependant, nous pouvons apposer des filtres colorés devant le capteur (ou devant l'optique) qui vont arrêter certaines longueurs d'onde. C'est déjà le cas dans une certaine mesure avec des filtres anti UV et anti IR, qui empêchent généralement les longueurs d'onde autre que celle du visible (entre 400 et 700 nanomètres environ) d'atteindre notre capteur. Ainsi, notre caméra ne va pas chercher des informations autre que celle d'un œil humain est censé percevoir. De manière plus drastique, en fonction de notre intention, il existe une quantité de filtres<sup>51</sup> qui permette de couper plus ou moins certaines longueurs d'onde. Nous pouvons donc influencer sur la part du spectre que va analyser notre capteur. Cependant, il faut bien noter que nous ne pouvons agir ici que par soustraction du spectre : nous réduisons les informations spectrales atteignant notre capteur, afin d'influer sur son analyse spectrale, et modifier le rendu colorimétrique de l'image.

---

50 AUGER, Raphaël, *Stratégie d'éclairage en cinéma numérique*, Mémoire dirigé par Alain Sarlat, Section cinéma, ENS Louis Lumière, Promotion 2015.

51 Kodak : *Photographic Filters Handbook*, publié par Kodak.



#### 4. L'ÉTALONNAGE

D'autant plus en numérique qu'en argentique, la post-production et l'étalonnage ont pris une place croissante dans la confection de l'image finale. Comme nous l'avons vu avec les courbes de réponse, le travail du chef-opérateur sur l'aptitude au contraste qui existait en pellicule (avec le pied et l'épaule de la courbe), a disparu en numérique avec la réponse linéaire du capteur. Ainsi, c'est à l'étalonnage que nous cherchons à obtenir une gradation plus douce dans les hautes et les basses lumières, qui correspond à un rendu d'image plus satisfaisant pour le spectateur. Évidemment, nous jouons à l'étalonnage sur la quantité de lumière en gérant notre contraste image final, mais nous avons également à ce moment-là un puissant levier pour traiter la couleur de nos images. Il faut cependant bien différencier des étapes de post-production, comme l'application ou le changement dans le choix de certaines métadonnées (debayerisation, sensibilité, balance des blancs...), de l'étalonnage pur, qui permet d'aller très en profondeur dans la gestion de la couleur et du contraste de notre image.

Cependant, sans remettre en question l'importance de cette étape finale, nous nous intéressons dans ce mémoire aux caractéristiques de la surface photosensible et aux stratégies différentes applicables au tournage pour gérer la quantité et la qualité de lumière de l'heure bleue dorée. C'est pourquoi nous ne développerons pas notre recherche sur l'étalonnage, et que nous nous contenterons d'ailleurs d'effectuer sur nos images de tests uniquement les choix de post production évoqués plus haut, en plus d'un tirage droit.

Seulement, afin de pouvoir comparer nos images issues de deux capteurs différents, avec donc des primaires caméras et des gammuts d'enregistrement distincts, nous devons conserver une cohérence colorimétrique, ce qui est un problème aujourd'hui en numérique, avec la multiplication des formats de fichier propriétaire en Raw. L'ACES (Academy Color Encoding System) a été justement créé afin de standardiser et de clarifier la gestion de la couleur au cinéma, en englobant tout les gammuts existants, de la manière la plus efficace possible. C'est donc dans cet espace que nous tacherons d'amener nos images issues du tournage de notre dernière partie pratique de mémoire, afin d'avoir un workflow logique et cohérent pour pouvoir comparer nos images.

# **CHAPITRE 3 : LE CHEF-OPÉRATEUR FACE A LA CAPTATION NUMÉRIQUE DE L'HEURE BLEUE DORÉE**

Après avoir étudié en détail les singularités de la lumière de l'heure bleue dorée et les particularités des capteurs numériques, nous allons nous confronter à la captation de ce basculement physique de lumière par ces surfaces photosensibles. À la base, nous souhaitons tourner un court-métrage entier se déroulant dans un univers post-apocalyptique, comportant plusieurs séquences au lever et au coucher du soleil. Faute de temps, nous allons ici nous contenter d'extirper la dernière scène de ce court-métrage, se déroulant au coucher du soleil, et la mettre en scène de manière simplifiée. L'idée est de tourner en Raw une séquence de 5 plans, avec nos deux caméras d'étude (Alexa Studio et Blackmagic 4K), en effectuant les même cadre (optique fixe 50mm sur les deux caméras). Connaissant leurs caractéristiques propres, nous aurons alors à adapter notre stratégie de gestion quantitative et qualitative de la lumière pour chacune, en conservant une intention esthétique commune et précise. Nous n'effectuerons pas de travail d'étalonnage, mais uniquement un tirage droit et la balance des blancs. Afin de rester cohérent dans notre workflow, nous utiliserons l'ACES pour projeter nos images en salle de cinéma lors de la soutenance orale. Cependant, dans le cadre des illustrations de la partie théorique du mémoire, nous avons eu recours à des Lut REC709 sur Da Vinci Resolve 11, et non à l'ACES pour des raisons techniques.

## **LA SÉQUENCE :**

Dans un monde post-apocalyptique, le héros du film, mortellement blessé pour permettre à sa petite sœur d'échapper à leur poursuivant, marche seul vers le soleil couchant, attendant sa mort prochaine. Ici, nous utilisons la symbolique classique de la mort crépusculaire. Cette scène devait initialement se dérouler face à l'océan, par lequel la sœur du héros avait pu s'enfuir. Pour des raisons de temps et de budget, nous avons transposé la scène dans un champ de terre en campagne, qui a posé d'autres questions intéressantes, comme nous allons le voir par la suite.

## LES STRATÉGIES :

Équipé d'un spotmètre et d'un colorimètre, nous étions en mesure de connaître l'évolution de la lumière de l'heure bleue dorée, et donc de pouvoir faire nos choix quantitatifs (diaphragme, temps d'exposition, filtres de densité neutre, sensibilité...) et qualitatifs (balance des blancs, filtrage colorimétrique...) avant chaque plan. D'ailleurs, en ce qui concerne ce dernier, nous avons fait le choix d'appliquer un seul filtre coloré, sur la Blackmagic 4K pour tout les plans : un filtre 2E, qui empêche toutes les longueurs d'onde inférieures à 415 nanomètres d'atteindre le capteur. Ce choix a été motivé par l'observation de la sensibilité spectrale de la Blackmagic, qui va chercher certaines informations colorées dans les ultraviolets. Or, nous tournons sous la lumière du soleil, riche en UV, et pour améliorer le rendu colorimétrique de la caméra, nous empêchons ces longueurs d'onde d'atteindre le capteur.

Voici en détail les images, les choix effectués, et l'analyse de ces 5 plans :

Plan	Horaire	Élévation	Température de couleur	Synopsis
PLAN 1	20H18	6,05°	4400K	Le héros marche difficilement au loin, vers le soleil. Il tombe à genoux.



Figure 59 : PLAN 1 ALEXA – 4800K



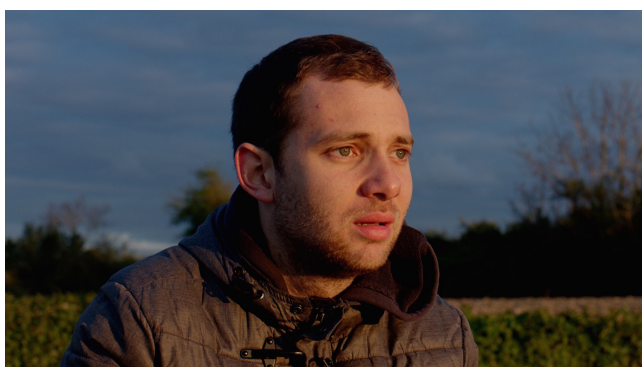
Figure 60: PLAN 1 BLACKMAGIC - 4500K

Nous pouvons tout de suite remarquer que les deux caméras présentent un rendu assez distincts d'un point de vue colorimétrique, bien que nous ayons suivi un workflow identique. L'Alexa présente un côté un peu magenta, tandis que la Blackmagic a un côté un peu verdâtre, ce qui sera le cas dans tous les autres plans. Nous savions que le rendu des couleurs de la Blackmagic était assez approximatif, notamment dû à sa sensibilité spectrale et ses primaires caméra assez singulières, mais nous espérions que le filtrage

colorimétrique puisse arranger en partie ce problème, ce qui n'a manifestement pas été le cas (voire peut-être desservi, mais nous n'avons pas eu le temps d'effectuer des tests complémentaires). Cette caméra nécessite donc un étalonnage poussé et précis pour obtenir des couleurs plus réaliste, ce qui signifie donc du temps à modifier et triturer l'image.

D'autre part, ce plan, avec le champ doré en bas et le ciel nuageux bleu en haut illustre bien le problème de balance des blancs à choisir avec soin lors d'une heure bleue dorée qui mélange deux qualités de lumière : à 4200K, le ciel ressort trop bleu, à 5600K, le champ ressort trop doré. C'est finalement à 4800K sur l'Alexa que nous trouvons le meilleur équilibre entre les deux. C'est un peu plus bas sur la Blackmagic car sa température d'équilibre est un peu plus chaude (cette logique sera respectée sur tous les autres plans). En ce qui concerne le contraste sujet, assez faible, nous avons pu sans problème nous placer en haut de courbe sur nos deux caméras, afin d'utiliser le bon échantillonnage du capteur à cet endroit, avant de baisser le niveau lors du tirage droit. Nous avons utilisé nos outils de mesure afin d'appliquer des diaphragme et donc des luminations différentes à nos deux caméras, en accord avec nos deux courbes de réponse et nos deux points de saturation.

PLAN 2	20H37	3,07°	4300K	Le héros, à bout, observe le soleil se coucher.
--------	-------	-------	-------	---



*Figure 61 : PLAN 2 ALEXA – 4800K*

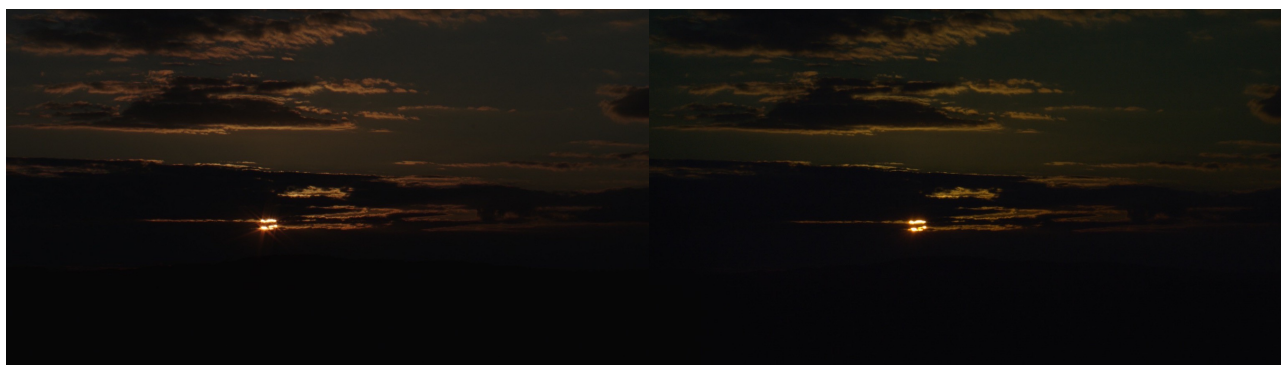


*Figure 62: PLAN 2 BLACKMAGIC – 4200K*

Ce plan rapproché illustre bien la lumière à la fois directe et douce de l'heure dorée, qui vient frapper de pleine face le personnage mourant, observant avec crainte le coucher du soleil. Le contraste sujet, moyen, a été légèrement diminué grâce à un poly blanc placé à l'arrière du personnage. Il nous a fallu ici faire attention à quelques brillances

(spéculaires) sur le visage du personnage. Nous avons donc été prudent et avons pris un peu de marge, en posant un peu plus bas sur la courbe de réponse, plus proche d'une exposition « classique ». De plus, nous retrouvons ici le mélange subtil des courtes longueurs d'onde, avec le ciel bleu derrière, et des grandes, présentes en grande quantité au niveau de la lumière atteignant le personnage. Nous nous sommes à nouveau placés à 4800K en balance des blancs sur l'Alexa, pour conserver l'équilibre subtil de l'heure bleue dorée ; et toujours un peu plus chaud en température sur la Blackmagic, à 4200K. Nous pouvons cependant observer que si l'image de l'Alexa ressort rougeâtre, collant parfaitement avec notre intention esthétique de représenter la mort 'vespérale' du personnage, le doré de la Blackmagic paraît toujours très artificiel. Finalement, l'heure dorée semble bien plus satisfaisante et réaliste en « heure rougeâtre ».

PLAN 3	20H46	1,68°	XXXX	Le soleil va basculer derrière les épais nuages.
--------	-------	-------	------	--



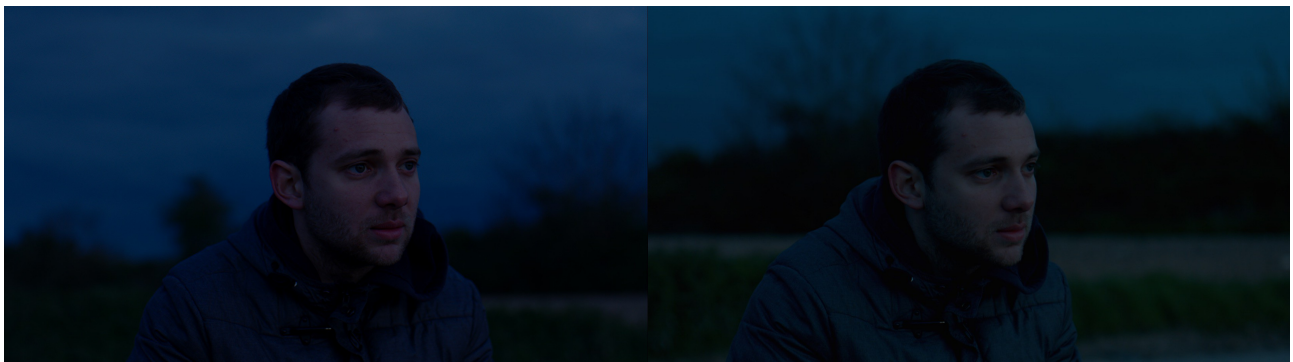
*Figure 63 : PLAN 3 ALEXA – 5000K*

*Figure 64 : PLAN 3 BLACKMAGIC – 4500 K*

Idéalement, nous aurions souhaité filmer ce plan à  $-0,0833^\circ$  d'élévation, au moment précis du passage du soleil sous l'horizon, par temps dégagé. Malheureusement, la présence de nuages le soir du tournage (le temps était assez mauvais sur toute la semaine de réservation de la caméra) nous a obligé à le tourner plus tôt pour avoir encore le soleil dans le champ. En conséquence, le soleil, qui n'avait pas encore traversé une importante couche d'atmosphère, présentait une luminance encore élevée et une répartition spectrale contenant encore une bonne part de moyennes longueurs d'onde, nous apparaissant alors plus jaune/orange que orange/rouge. Nous avons placé notre balance plus haute que sur les plans précédents pour tenter d'accentuer justement l'aspect vespéral du soleil, en gardant tout de même un ciel bleu. De plus, la luminance très importante du soleil nous a

obligé à fermer le diaphragme (f22), et à diminuer le temps d'exposition (1/800 soit 11,25°) sur les deux caméras. La précipitation du moment nous a empêché de prendre le temps de rajouter un ND6 sur la Blackmagic 4K, son point de saturation arrivant 2 EV 1/3 plus tôt que l'Alexa. Si le soleil n'est pas clippé sur l'Alexa, il l'est légèrement en son centre dans le canal rouge sur la Blackmagic. Nous pouvons de plus remarquer la diffusion parasite autour du soleil, due à la vieille optique Zeiss placée sur l'Alexa, semblant créer des rayons autour du soleil, qui est un effet esthétique assez plaisant.

PLAN 4	21H10	-1,94°	7000 K	Le héros, résigné, se prépare à mourir.
--------	-------	--------	--------	---



*Figure 65 : PLAN 4 ALEXA - 4200K*

*Figure 66 : PLAN 4 BLACKMAGIC - 3800 K*

Ce plan rapproché renvoi au plan 2, identique mais tourné à l'heure dorée. Ici, la lumière diffuse et englobante de l'heure bleue va plus signifier la résignation du personnage, qui sait qu'il va mourir, et qui l'a accepté. Le contraste sujet est faible, mais le niveau l'est également, ce qui nous a obligé à nous placer à pleine ouverture sur les deux caméras (f2). Nous nous trouvons alors situé un peu bas sur la courbe de la Blackmagic 4K, ce qui est proche du rendu voulu, et nous sommes un peu plus haut sur celle de l'Alexa. Nous nous trouvons alors avec deux stratégies différentes, dues aux caractéristiques des capteurs : la première est une logique vidéo pour la Blackmagic, avec un rendu direct, avec le placement bas sur la courbe (par défaut ici), et la deuxième est une logique cinéma, qui pense son image en fonction de la post-production : nous aurions pu fermer le diaphragme de l'Alexa à f4 pour avoir une image plus proche de l'image finale, mais ce serait se priver d'informations dans les basses lumières. D'autre part, en plaçant notre balance à 4200K et 3800K, nous cherchons à conserver la lumière bleutée de l'heure bleue, qui serait ressorti bien plus neutre en se plaçant au classique 5600K.

PLAN 5	21H30	-4,86°	13 000 K	Dans le paysage crépusculaire, une silhouette inanimée est allongée au sol.
--------	-------	--------	----------	---



*Figure 67 : PLAN 5 ALEXA - 5200K*

*Figure 68 : PLAN 5 BLACKMAGIC - 4800K*

Ce dernier plan multiplie les difficultés de l'image de l'heure bleue dorée : un contraste assez fort (7-8 EV environ), mais un niveau faible, et un mélange de couleurs subtils. Nous nous sommes à nouveau placés à pleine ouverture, et avons augmenté la sensibilité à ISO 400 pour ré-arranger la gradation dans nos deux caméras pour obtenir une image plus 'claire'. Malgré tout, notre blanc -le ciel- n'a pas pu aller se placer en haut de nos deux courbes de réponse, ce qui nous aurait permis de faire tenir tout le reste du contraste dans une zone de bonne réponse de la caméra, même pour la Blackmagic. La grande étendue utile de l'Alexa nous permet d'avoir tout le contraste correctement enregistré, même si bas sur la courbe, tandis que la Blackmagic commence à bruyier dans les basses luminations. Nous avons effectué ensuite le tirage droit pour que la silhouette dans le champ soit à peine visible. Ici, le bleu, le jaune, le rose se mélangent subtilement, à cause des résidus de la lumière solaire parvenant par-dessous l'horizon. La lumière atteignant le personnage, réfléchié uniquement par le ciel, est très bleuté (13000K). Nous nous sommes donc placés un peu plus haut en balance des blancs que sur les autres plans pour compenser légèrement, tout en gardant un rose pas trop saturé et artificiel à l'horizon.

L'ensemble de ces plans nous aura permis d'établir l'incidence de chacune des caractéristiques sensitométriques de notre capteur numérique, pour gérer correctement la quantité et la qualité de lumière de l'heure bleue dorée. Nous avons ainsi mis en évidence l'importance d'attribuer une stratégie différente en fonction de notre caméra. Évidemment, l'Alexa Studio, qui offre logiquement une meilleure gestion quantitative et qualitative que la Blackmagic, nous délivre une image brute de meilleure qualité et nous permet plus de choix. Dans un sens, elle permet donc également plus de marge d'erreur, ce qui est un aspect non négligeable lorsque nous sommes confrontés à la réalité d'un tournage à l'heure bleue dorée, sur lequel nous ne pouvons avoir de main mise sur la lumière et météo, qui évoluent tout deux toujours bien trop rapidement au goût du chef-opérateur. De plus, nous avons aussi mis en évidence l'importance d'être équipé des bons outils de mesure pour connaître précisément la lumière à laquelle nous faisons face. Au lieu du classique 5600K qui est une sorte de norme lors des tournages en lumière naturelle, connaître un peu mieux la répartition spectrale, en particulier lors des couchers et levers de soleil, nous aide à obtenir des balances des blancs bien plus juste. En l'occurrence, coïncidence troublante, je trouve que l'Alexa Studio possède une température d'équilibre (4880K à +/- 5 mireds) très appropriée à la captation de l'heure bleue dorée...



# **CONCLUSION**

L'étude croisée de la lumière de l'heure bleue dorée et des surfaces photosensibles numériques nous a permis de comprendre comment capter ce basculement physique de lumière, en mettant en évidence plusieurs éléments.

La lumière a été le point de départ de ce mémoire, avec celle toute particulière des levers et couchers de soleil. En l'analysant en détail, nous avons été en mesure de comprendre et de déterminer son origine, ses causes, ses phases, sa durée, son influence physiologique et psychologique, sa portée symbolique, ses caractéristiques mouvantes et subtiles, que ce soit en termes de géométrie, de quantité et de qualité. Nous avons ainsi pu prendre conscience à la fois de ce qui faisait sa beauté mais également des difficultés qui s'annonçaient pour sa captation : le haut niveau lumineux du soleil, le contraste fort, la distribution spectrale jouant sur les courtes et grandes longueurs d'onde... Nous avons ainsi voulu remettre le chef-opérateur face à l'étude et la compréhension d'un élément clé pour la création d'une image : les caractéristiques de sa lumière, en particulier quand celle-ci est en constante évolution et pleine de subtilités.

Les caractéristiques natives des capteurs, qu'il nous est primordial de connaître certes, mais surtout de déterminer par nous-même -les fabricants ne les fournissant généralement pas, ou sans préciser les protocoles, de manière volontaire. Nous avons ainsi pu voir que la réalité est bien différente de ce qu'annonce généralement les fabricants, piégés dans leur concurrence marketing. Ces diverses caractéristiques : courbe de réponse (avec et sans flare), sensibilité spectrale, température d'équilibre... sont autant d'éléments à notre disposition pour pouvoir utiliser pleinement les capacités de celui-ci, ou a contrario, connaître ses limites. Étant donnée la faible étendue utile de la Blackmagic 4K et sa capacité à mal réagir à de faibles luminations, nous ne recommanderons pas de tourner des séquences de fin d'heure bleue -ou n'importe quelle scène avec un faible niveau- avec cette caméra. De même pour sa sensibilité spectrale, qui n'est pas la mieux adaptée pour capter les subtiles nuances colorimétriques de l'heure bleue dorée. Mais il ne s'agit pas ici d'encenser l'Alexa face à la Blackmagic, mais plutôt de bien comprendre que chaque capteur réagit différemment, car chaque capteur a ses propres caractéristiques, et qu'il est du devoir du chef-opérateur, comme c'était le cas en

argentique, de connaître son moyen de captation pour l'exploiter.

Nous avons ainsi prouvé que l'étude de la lumière et de la surface photosensible devait se croiser et se rejoindre, car nous ne pouvions établir une stratégie cohérente et efficace qu'en corrélant nos informations. Nous avons vu qu'il existait de multiples possibilités pour le chef-opérateur pour gérer la quantité et la qualité de lumière de l'heure bleue dorée. Nous avons aussi voulu remettre en évidence l'importance des outils de mesure sur le tournage, que ce soit pour mesurer la quantité (spotmètre, cellule incidente), et la qualité (thermolorimètre, colorimètre). Connaître le contraste d'une scène n'a de sens que si nous savons comment la poser sur une courbe de réponse. De même, connaître la température de couleur d'une lumière n'a de sens que si nous savons comment réagit notre caméra à une telle lumière en termes de balance des blancs. Il faut se libérer des dogmes et des conventions encore imposés par l'argentique, ou même la vidéo, pour créer nous-même notre image numérique, en toute connaissance des caractéristiques de notre capteur.

Il faut également souligner l'importance du workflow dans la création de notre image. Comme nous l'avons précédemment évoqué, avec l'arrivée du numérique, le travail du chef opérateur s'est en partie décalé à la post production (debayerisation, balance des blancs, sensibilité...) et à l'étalonnage. Il reste donc primordial de connaître la destination de nos images pour conserver une stratégie cohérente lors du tournage.

De plus, il faut toujours garder en tête que nous faisons des images pour servir un propos, et qu'il nous faut avoir une intention esthétique à laquelle devra se plier notre stratégie. La connaissance profonde et la maîtrise de la lumière et du support de captation sont alors des outils formidables pour avoir la liberté de créer l'image, qui est le rôle du chef-opérateur lors d'un tournage. Et malgré les possibilités qu'offrent l'étalonnage, cette étape du tournage demeure à mon sens la plus importante dans la création d'une image, car c'est à ce moment-là que la lumière et la surface photosensible se rencontrent, guidées par les choix réfléchis et les intentions esthétiques du chef-opérateur.

# BIBLIOGRAPHIE

## OUVRAGES :

- SÈVE, Robert, *Science de la couleur, Aspects physiques et perceptifs*, Chalagam Edition, 2009.
- W. RODIECK, Robert, *La vision*, de l'ouvrage original : *The First Steps in Seeing*, 1998, Editions de Boeck, 2003.
- ALEKAN, Henri, *Des lumières et des ombres*, Editions du collectionneur, 2001.
- BELLAICHE, Philippe, *Les Secrets de l'image vidéo*, Paris, Eyrolles, 2009.
- FOURNIER, Jean-Louis, *La sensitométrie, Les science de l'image appliquées à la prise de vues cinématographiques*, Paris, Éditions Dujarric, 2006.
- ROUSSELOT, Philippe, *La Sagesse du Chef-Opérateur*, Paris, J. C. Béhar, 2013.

## DOCUMENTS TECHNIQUES :

- ARRI, *Alexa Pocket Guide Sup 11.0*, référence manuel, 2015
- BLACKMAGIC DESIGN, *Blackmagic\_Cameras\_Manual*, référence manuel, 2016
- NF ISO 9358, *Optique et instruments d'optique, Lumière parasite diffuse des systèmes d'imagerie*, mars 1998.

## SITES :

- Site d'Arri : <https://www.arri.com/>
- Site de Blackmagic Design : <https://www.blackmagicdesign.com/fr>

## MÉMOIRES :

- DURIN, Camille, *La lumière entre Chiens et Loups : Révéler au cours de l'obscurcissement cinématographique*, Mémoire co-dirigé par Pierre Lhomme et Jean-Louis Fournier, Section cinéma, ENS Louis Lumière, Promotion 2008.
- BRIET, Arthur, *Noir & blanc et couleur. Histoires d'opposition et d'appariements*, Mémoire co-dirigé par Giusy Pisano et Alain Sarlat, Section Cinéma, ENS Louis Lumière, Promotion 2013.
- MORIN, Paul, *Quelles stratégies d'exposition en prise de vues numérique ?*, Mémoire co-dirigé par Alain SARLAT et Jean COUDSI, Section cinéma, ENS Louis Lumière, Promotion 2014.
- PERREUX, Loeiz, *Pénombre, une histoire de couleurs et de contraste*, Mémoire dirigé par Alain Sarlat, Section Cinéma, ENS Louis Lumière, Promotion 2015.
- AUGER, Raphaël, *Stratégie d'éclairage en cinéma numérique*, Mémoire dirigé par Alain Sarlat, Section Cinéma, ENS Louis Lumière, Promotion 2015.

## FILMOGRAPHIE

Corpus de films :

- *Les Moissons du Ciel*, de Terrence Malick, 1978  
Chef-opérateur : Nestor Almendros et Haskell Wexler
  
- *The Milagro Beanfield War*, de Robert Redford, 1988  
Chef-opérateur : Robbie Greenberg
  
- *Cyrano de Bergerac*, de Jean-Paul Rappeneau, 1990  
Chef-opérateur : Pierre Lhomme
  
- *Le Nouveau Monde*, de Terrence Malick, 2005  
Chef-opérateur : Emmanuel Lubezki
  
- *Inglourious Basterds*, de Quentin Tarantino, 2009  
Chef-opérateur : Robert Richardson
  
- *True Grit*, de Joel et Ethan Coen, 2010  
Chef-opérateur : Roger Deakins
  
- *Gravity*, d'Alfonso Cuaron, 2013  
Chef-opérateur : Emmanuel Lubezki
  
- *Boyhood*, de Richard Linklater, 2014  
Chef-opérateur : Shane F. Kelly

## TABLE DES FIGURES

**Figure 1 :** Parcours de la lumière solaire au cours d'une journée.

**Figure 2 :** Photogramme d'une "heure dorée" tourné à Ezanville (95) en juillet 2015 avec une Blackmagic Camera Production 4K en RAW dng et étalonné sous Da Vinci Resolve 11.

**Figure 3 :** Spectre visible du rayonnement électromagnétique.

**Figure 4 :** Représentation de la Diffusion de Rayleigh

**Figure 5 :** Photogramme d'une "Heure Bleue" tourné à Ezanville (95) en juillet 2015 avec une Blackmagic Camera Production 4K en RAW dng et étalonné sous Da Vinci Resolve 11.

**Figure 6 :** Schéma représentant l'angularité des trois crépuscules.

**Figure 7 :** Schéma du mouvement de révolution de la Terre autour du soleil.

**Figure 8 :** Schéma représentant l'obliquité de la Terre.

**Figure 9 :** Graphique représentant la durée d'ensoleillement au cours de l'année à Paris.

**Figure 10 :** Schéma de l'élévation du soleil et des lieux de son lever et coucher en fonction de la période de l'année, sous nos latitudes.

**Figure 11 :** Graphique représentant la durée de l'heure dorée, de l'heure bleue et de l'heure bleue dorée en minutes par jour tout au long de l'année 2016 pour Paris.

**Figure 12 :** Courbe d'absorption spectrale relative des trois types de cônes que contient la rétine.

**Figure 13 :** Seuil de sensibilité relative des cônes et des bâtonnets en fonction de la longueur d'onde.

**Figure 14 :** Courbe d'efficacité spectrale relative en vision scotopique et photopique.

**Figure 15 :** Photogramme issu de *Milagro Beanfield War*, de Robert Redford, 1988.

**Figure 16 :** Photogramme issu de *Inglourious Basterds*, de Quentin Tarantino, 2009.

**Figure 17 :** Photogramme issu de *Boyhood*, de Richard Linklater, 2014.

**Figure 18 :** Photogramme issu de *Gravity*, d'Alfonso Cuaron, 2013.

**Figure 19 :** Photographie d'un coucher de soleil pris depuis la Station Spatiale Internationale (ISS).

**Figure 20 :** Photogramme issu de *Gravity*, d'Alfonso Cuaron, 2013.

**Figure 21 :** Photogramme issu de *Gravity*, d'Alfonso Cuaron, 2013.

**Figure 22 :** Photogramme issu de *Gravity*, d'Alfonso Cuaron, 2013.

**Figure 23 :** Photogramme issu de *True Grit*, de Joel et Ethan Coen, 2010.

**Figure 24 :** Photogramme issu de *Cyrano de Bergerac*, de Jean-Paul Rappeneau, 1990.

**Figure 25 :** Photogramme issu de *Les Moissons du Ciel*, de Terrence Malick, 1978.

**Figure 26 :** Photogramme issu de *Le Nouveau Monde*, de Terrence Malick, 2005.

**Figure 27 :** Série de 2\*5 photogrammes issus de deux Blackmagic 4K montrant l'évolution d'un

coucher de soleil.

**Figure 28** : Graphique indiquant l'évolution de l'éclairement lors d'un coucher de soleil.

**Figure 29** : Photographie d'un coucher de soleil à une élévation de 6° faites avec un Nikon D800-E (f22, 1/125, 100 isos), avec indiqué les EV pour quatre zones de l'image particulière.

**Figure 30** : Graphique indiquant la répartition spectrale de trois illuminants (A, C et D65).

**Figure 31** : Répartition spectrale du ciel à l'aube et à l'aurore.

**Figure 32** : Répartition spectrale du soleil à l'aube et à l'aurore.

**Figure 33** : Répartition spectrale du ciel au vespéral et au crépuscule.

**Figure 34** : Répartition spectrale du soleil au vespéral et au crépuscule.

**Figure 35** : Schéma récapitulatif du basculement physique à l'heure dorée et l'heure bleue.

**Figure 36** : Courbe de réponse de l'Alexa Studio N°6201, dans les canaux rouge, vert et bleu, à une TC de 3165K, avec une précision de ¼ d'EV.

**Figure 37** : Courbe de réponse de la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677 dans les canaux rouge, vert et bleu, à une TC de 3165K, avec une précision de ¼ d'EV.

**Figure 38** : Courbes gaussiennes des valeurs numériques de l'Alexa Studio N°6201 pour les 21 plages de la gamme carbone.

**Figure 39** : Courbes gaussiennes des valeurs numériques de la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677 pour les 21 plages de la gamme carbone.

**Figure 40** : Phénomène du Black Sun/Black Spot sur un photogramme issu d'une séquence RAW de la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677.

**Figure 41** : Photogramme illustrant le phénomène du flare.

**Figure 42** : Photogramme illustrant le phénomène du flare.

**Figure 43** : Courbe de réponse de l'Alexa Studio avec et sans flare.

**Figure 44** : Courbe de réponse de la Blackmagic 4K avec et sans flare.

**Figure 45** : Schéma d'illustration de la répartition des EV en fonction de la sensibilité selon Arri.

**Figure 46** : Photogramme issu du film "L'Heure où blanchit la campagne", exercice F2, tourné en Alexa Standard. Paramètres : Log-C, 5600K, f2, EI 800, 1/50, étalonné sur Rain.

**Figure 47** : Représentation du lieu du corps noir dans un diagramme de chromaticité CIE 1931, avec indiqué le delta uv et les températures de couleur corrélées.

**Figure 48** : Histogrammes du nombre de pixels par teinte d'une color checker filmée par la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677 à une élévation du soleil de 1,69°, de 0,06° et -1,66°.

**Figure 49** : Réponse des canaux rouge, vert et bleu de l'Alexa Studio n°6201 en fonction de la température de couleur corrélée.

**Figure 50** : Réponse des canaux rouge, vert et bleu de la Blackmagic Caméra Production 4K



N°2271677 en fonction de la température de couleur corrélée.

**Figure 51 :** Image de 10 illuminants de différentes températures de couleur vus par l'Alexa studio n°6201.

**Figure 52 :** Image de 10 illuminants de différentes températures de couleur vus par la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677.

**Figure 53 :** Graphique de la sensibilité spectrale de l'Alexa Studio N°6201 dans les canaux rouge, vert et bleu pour un niveau de valeur numérique log2 relatif de -4.

**Figure 54 :** Graphique de la sensibilité spectrale de la Blackmagic Caméra Production 4K N°2271677 dans les canaux rouge, vert et bleu pour un niveau de valeur numérique log2 relatif de -4.

**Figure 55 :** Images issues de l'Alexa Studio n°6201 pour 69 lumières voulues monochromatiques entre 400 et 700 nm (par pas de 5 nm), à 5 intensités différentes.

**Figure 56 :** Images issues de l'Alexa Studio n°6201 pour 69 lumières voulues monochromatiques entre 400 et 700 nm (par pas de 5 nm), à 5 intensités différentes.

**Figure 57 :** Photogramme d'un coucher de soleil filmé par l'Alexa Mini d'ImageWorks en LOG-C.

**Figure 58 :** Photogramme d'un coucher de soleil filmé par l'Alexa Standard en REC709.

**Figure 59 :** Photogramme du plan 1 avec l'Alexa Studio.

**Figure 60 :** Photogramme du plan 1 avec la Blackmagic 4K.

**Figure 61 :** Photogramme du plan 2 avec l'Alexa Studio.

**Figure 62 :** Photogramme du plan 2 avec la Blackmagic 4K.

**Figure 63 :** Photogramme du plan 3 avec l'Alexa Studio.

**Figure 64 :** Photogramme du plan 3 avec la Blackmagic 4K.

**Figure 65 :** Photogramme du plan 4 avec l'Alexa Studio.

**Figure 66 :** Photogramme du plan 4 avec la Blackmagic 4K.

**Figure 67 :** Photogramme du plan 5 avec l'Alexa Studio.

**Figure 68 :** Photogramme du plan 5 avec la Blackmagic 4K.

## ANNEXE 1

Tableau des horaires en fonction de l'élévation du soleil à  $-6^\circ$ ,  $-0,833^\circ$ , et  $6^\circ$ , ainsi que la durée de l'heure bleue, de l'heure dorée et de l'heure bleue dorée, tout au long de l'année 2016 à Paris ( $48^\circ 51' 12''$  Nord). Les horaires ont été obtenues grâce au site internet SunEarthTools et sont arrondies à la minute près.

		$-6^\circ$	$-0,833^\circ$	$6^\circ$	DURÉE HEURE BLEUE	DURÉE HEURE DORÉE	DURÉE HEURE BLEUE DORÉE
GREENWICH MEAN TIME (GMT) : +1							
01/01/16	MATIN	8H07	8H44	9H39	37MN	55MN	92MN
	SOIR	17H41	17H03	16H09	38MN	54MN	92MN
01/02/16	MATIN	7H48	8H22	9H10	34MN	48MN	82MN
	SOIR	18H21	17H47	16H59	34MN	48MN	82MN
01/03/16	MATIN	7H00	7H32	8H15	32MN	43MN	75MN
	SOIR	19H06	18H35	17H52	31MN	42MN	73MN
PASSAGE A L'HEURE D'ETE DANS LA NUIT DU 26 AU 27 MARS – GMT : +2							
01/04/16	MATIN	6H56	7H28	8H09	32MN	41MN	73MN
	SOIR	20H54	20H22	19H40	32MN	42MN	74MN
01/05/16	MATIN	5H54	6H30	7H14	36MN	44MN	80MN
	SOIR	21H42	21H07	20H22	35MN	45MN	80MN
01/06/16	MATIN	5H10	5H51	6H40	41MN	49MN	90MN
	SOIR	22H27	21H46	20H57	41MN	49MN	90MN
01/07/16	MATIN	5H09	5H51	6H41	42MN	50MN	92MN
	SOIR	22H40	21H57	21H08	43MN	49MN	92MN
01/08/16	MATIN	5H47	6H24	7H10	37MN	46MN	83MN
	SOIR	22H06	21H29	20H43	37MN	46MN	83MN
01/09/16	MATIN	6H35	7H08	7H50	33MN	42MN	75MN
	SOIR	21H05	20H32	19H50	33MN	42MN	75MN
01/10/16	MATIN	7H19	7H51	8H33	32MN	42MN	74MN
	SOIR	20H	19H29	18H47	31MN	42MN	73MN
PASSAGE A L'HEURE D'HIVER DANS LA NUIT DU 29 AU 30 OCTOBRE – GMT : +1							
01/11/16	MATIN	7H05	7H38	8H24	33MN	46MN	79MN
	SOIR	18H03	17H30	16H43	33MN	47MN	80MN
01/12/16	MATIN	7H47	8H23	9H16	36MN	53MN	89MN
	SOIR	17H32	16H56	16H03	36MN	53MN	89MN

## ANNEXE 2

### PPM – TEST 1

#### CAPTATION SIMULTANÉE DU SOLEIL ET DE SON EFFET SUR UN MODÈLE AVEC DEUX CAMÉRAS IDENTIQUES

##### OBJECTIF :

Ce test préliminaire effectué le 11 juillet 2015, inscrit dans ma partie pratique de mémoire, avait pour objectif de tenter de différencier différentes phases du coucher de soleil, en termes de quantité, de qualité et de géométrie.

##### PRÉSENTATION DE L'EXPÉRIENCE :

Le test consistait à filmer simultanément un coucher de soleil dans un paysage de campagne à Ezanville (95) au Nord de Paris et son effet sur un modèle et une Color Checker. J'ai choisi deux caméras identiques : la Blackmagic Caméra Production 4K, pour des raisons de commodité (j'en possédais déjà une et je pouvais facilement me faire prêter la deuxième). Pour les mêmes raisons, j'ai choisi comme optique deux Canon 24-105mm f4 Série L.

##### LISTE MATÉRIEL :

- 2 Blackmagic Caméra Production 4K
- 2 Optiques Canon 24-105mm f4 Série L
- 2 Pieds Vidéos
- 2 Color Checker

##### PROTOCOLE :

###### Paramètres fixes du test :

- Codec d'enregistrement : RAW (suite d'images dng)
- Résolution : 4K (3860x2080)
- Sensibilité : ISO 400 (sensibilité annoncée native par le constructeur)
- Balance des blancs choisie à l'enregistrement : 5600K

Paramètres mouvants du test, afin de compenser la perte de lumière progressive :

- Le diaphragme
- Le temps d'exposition

Après avoir placé sur pied fixe la caméra 1 face au soleil, et le caméra 2 face au modèle (qui se trouvait lui-même de  $\frac{3}{4}$  face au soleil), j'ai effectué 9 prises de vue à intervalle plus ou moins régulier, correspondant à des élévations différentes du soleil :

	HORAIRE	ÉLÉVATION	PARAMÈTRES CAMÉRA SOLEIL	PARAMÈTRES CAMÉRA SUJET
PLAN 1	21H15	4,51°	F22 / 22,5°	F22 / 180°
PLAN 2	21H25	3,09°	F22 / 22,5°	F16 / 180°
PLAN 3	21H30	2,39°	F22 / 45°	F11 $\frac{1}{2}$ / 180°
PLAN 4	21H35	1,69°	F22 / 45°	F11 / 180°
PLAN 5	21H40	1,01°	F22 / 90°	F8 $\frac{1}{2}$ / 180°
PLAN 6	21H45	0,33°	F22 / 120°	F8 / 180°
PLAN 7	21H47	0,06°	F22 / 180°	F8 / 180°
PLAN 8	21H50	-0,34°	F22 / 180°	F5.6 / 180°
PLAN 9	21H55	-1,01°	F22 / 180°	F4 $\frac{1}{2}$ / 180°
PLAN 10	22H00	-1,66°	F16 / 180°	F4 / 180°

## RÉSULTATS :

Les résultats ont été montrés et traités dans la partie 2 du mémoire.

Cependant, il faut noter que ce test préliminaire est arrivé tôt dans le déroulé de ce mémoire, alors je n'étais pas encore très clair sur mes intentions et mes objectifs. C'est notamment pour cela que je n'ai effectué des prises de vue que d'élévations de 4,51° à -1,66°, n'ayant pas encore à l'époque clairement défini l'heure dorée et l'heure bleue comme allant de 6° à -6°.

## ANNEXE 3

### PPM – TEST 2

#### MESURE DE L'ÉVOLUTION QUANTITATIVE (ÉCLAIREMENT ET CONTRASTE) D'UN COUCHER DE SOLEIL

##### OBJECTIF :

Ces deux tests quantitatifs, inscrits dans ma partie pratique de mémoire, consistait à mesurer l'évolution du contraste et de l'éclairement du soleil couchant, d'une élévation de  $-6^\circ$  à  $-6^\circ$ , afin de comprendre et quantifier cette évolution.

##### PRÉSENTATION DE L'EXPÉRIENCE :

Nous avons effectué nos mesures du coucher de soleil à Maray (41 320), département Loir-Et-Cher, en région Centre-Val de Loire, le 19 mars 2016, car c'était le seul endroit où il faisait un temps dégagé en France le jour où nous avons effectué nos mesures. À intervalle de temps régulier, entre 18H15 et 19H40, nous avons effectué plusieurs mesures de l'éclairement et pris plusieurs photographies du soleil couchant pendant l'heure dorée et l'heure bleue.

##### ÉCLAIREMENT :

Nous avons utilisé le luxmètre Illuminance Meter T10 N°00060 du laboratoire de sensitométrie de l'école Louis Lumière afin de mesurer l'évolution de l'éclairement créé par le soleil (source principale) et sa réflexion sur le ciel (source secondaire mais non négligeable). En amont, nous avons pris soin de vérifier le bon calibrage de cet instrument en comparant ces résultats au CS2000, dont nous avons également vérifier le bon calibrage en le comparant à la source étalon présente en laboratoire de sensitométrie.

##### CONTRASTE :

Nous avons utilisé un boîtier Nikon D800E, généreusement prêté par le magasin photo, afin de prendre des photographies du soleil couchant. En utilisant un boîtier photographique, et non une cellule de mesure de la lumière réfléchi (spotmètre), nous évitions en partie le défaut de flare qui aurait légèrement faussé les mesures. Ici, le flare est toujours présent mais uniformément sur toute l'image (nous reviendrons sur le flare et

son importance dans la partie 3). Connaissant en amont la courbe de réponse du capteur, nous pouvions alors déduire des valeurs numériques de la photographie la lamination subie par le capteur. Cette lamination, associée au temps de pose et au diaphragme affiché sur l'optique, permettait de déduire la luminance envoyée à l'appareil photo par chaque zone du paysage, grâce aux formules de l'éclairement image et de la lamination :

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

Grâce la formule de calibrage des spotmètre, nous pouvions alors déduire un EV correspondant pour chaque zone de l'image en fonction de la sensibilité :

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

L = Luminance

S : Sensibilité de la surface photosensible, que nous avons fixé à 100

k : constante fixé à 12,5 (mais varie selon les époques et les lieux)

Nous pouvons ainsi en conclure que :

$$2^{EV} = \frac{H \times A^2 \times S}{0,64 \times t \times k}$$

et donc que :

$$EV = \log_2 \left( \frac{H \times A^2 \times S}{0,64 \times t \times k} \right)$$

Nous avons alors choisi 4 zones de l'image pour traduire les valeurs numériques en EV en fonction des paramètres évoqués juste au-dessus : le soleil, le ciel assez haut sur l'horizon, le ciel bas sur l'horizon, et le champ au premier plan à contre-jour.

LISTE DE MATÉRIEL :

- Luxmètre Illuminance Meter T-10 numéro 00060
- Boitier photo Nikon D800E
- Deux pieds vidéos

## PROTOCOLE :

- Le luxmètre est placé sur un pied stable avec une orientation de  $90^\circ$  par rapport au soleil (pour un éclairage maximal) pendant sa descente d'une élévation de  $6^\circ$  à  $0^\circ$ . Lorsque le soleil passe sous l'horizon, le luxmètre reste sur un angle de  $90^\circ$  par rapport à l'horizon.
- Le boîtier Photo Nikon D800E est placé sur un pied stable face au soleil, avec une focale assez large de manière à avoir une partie de la Terre, et une grande partie de ciel dans son cadre, afin d'observer le dégradé de luminance dans le ciel. A intervalle régulier, une photographie en Raw est effectuée, qui permettra de déduire, grâce aux valeurs numériques de la photographie et les réglages d'expositions, l'évolution de la luminance des différentes parties de l'image. Compte tenu du grand contraste causé par la présence du soleil dans le champ, deux photographies seront prises à des expositions différentes quand celui-ci sera présent dans le champ, afin de couvrir l'intégralité du contraste de l'image.

## RÉSULTATS :

Les résultats ont été montrés et traités dans la partie 2 du mémoire.

Il faut cependant noter qu'une légère brume présente à l'horizon cette journée-là nous force à indiquer que ces résultats ne valent que pour un temps clair mais légèrement brumeux. Si elles ne sont pas absolues, ces mesures permettent cependant de se rendre compte du basculement d'éclairage et de contraste à l'heure bleue dorée. Par la suite, d'autres mesures effectuées au spotmètre nous permettent de confirmer l'évolution du contraste de l'heure bleue dorée, mais de relativiser les valeurs EV, qui sont très dépendantes de la météo du jour.

## ANNEXE 4

### PPM – TEST 3

#### MESURE DE L'ÉVOLUTION QUALITATIVE D'UN LEVER ET COUCHER DE SOLEIL

##### OBJECTIF :

Ce test qualitatif, inscrit dans ma partie pratique de mémoire, consistait à mesurer l'évolution de la distribution spectrale du ciel et du soleil levant et couchant, d'une élévation de  $-6^\circ$  à  $-6^\circ$ , afin de comprendre et quantifier cette évolution.

##### PRÉSENTATION DE L'EXPÉRIENCE :

Nous avons effectué nos mesures du coucher de soleil à Maray (41 320), département Loir-Et-Cher, en région Centre-Val de Loire, le 19 mars 2016, car c'était le seul endroit où il faisait un temps dégagé en France le jour où nous avons effectué nos mesures. Grâce à une sphère d'intégration à triple entrée, nous étions en mesure de recevoir alternativement la lumière issue uniquement du ciel et la lumière issue uniquement du soleil. Par la troisième entrée, nous pouvions placer notre spectroradiomètre afin de mesurer à intervalle de temps régulier la distribution spectrale du ciel et du soleil de manière séparée. Tout comme les autres instruments de mesure utilisés au cours des recherches menées dans le cadre de ce mémoire, nous avons pris soin en amont de vérifier son calibrage, que ce soit en termes de quantité ou de qualité.

##### LISTE DE MATÉRIEL :

- Spectroradiomètre CS2000
- Ordinateur de contrôle (avec dongle pour le contrôle du logiciel CS-W10)
- Pied vidéo
- Sphère d'intégration
- Groupe électrogène 1KW

##### PROTOCOLE :

La sphère d'intégration à triple entrée est placée sur un bras articulé de manière à avoir une ouverture orientée vers le soleil et une ouverture orientée vers le haut, vers le ciel. Le



spectroradiomètre est quant à lui placé face à la troisième ouverture. Chaque ouverture est équipée de tubes noirs afin de limiter les réflexions parasites. De manière alternée mais successivement dans le temps, nous allons prendre une mesure de la lumière du ciel en bouchant l'ouverture de lumière orientée vers le soleil, puis une mesure de la lumière du soleil en bouchant l'ouverture de lumière orientée vers le ciel. Les mesures sont enregistrées sur l'ordinateur portable qui contrôle le CS2000, grâce au logiciel CS-S10w. Voici une photographie montrant le dispositif mis en place le 19 mars 2016, pour effectuer les mesures de l'évolution de l'éclairement, du contraste et de la répartition spectrale d'un soleil couchant :



Luxmètre

Boîtier Nikon D800-E

Spectroradiomètre

Sphère d'intégration

Comme nos mesures sont en extérieur en pleine campagne, nous avons dû nous équiper d'un groupe électrogène afin de brancher les deux ordinateurs et le spectroradiomètre CS2000 dessus.

## RÉSULTATS :

Les résultats ont été montrés et traités dans la partie 2 du mémoire.

Il faut cependant noter qu'une légère brume présente à l'horizon cette journée-là nous force à indiquer que ces résultats ne valent que pour un temps clair mais légèrement brumeux. S'ils ne sont pas absolus, ces mesures permettent cependant de se rendre compte du basculement de la répartition spectrale à l'heure bleue dorée.

## ANNEXE 5

### PPM – TEST 4

#### CARACTÉRISATION DES CAPTEURS DE L'ARRI ALEXA STUDIO ET DE LA BLACKMAGIC CAMÉRA PRODUCTION 4K

##### OBJECTIF :

Caractériser les capteurs de nos deux caméras d'étude par le biais de 4 tests :

- Courbe de réponse
- Courbe de réponse avec et sans flare
- Température d'équilibre
- Sensibilité spectrale

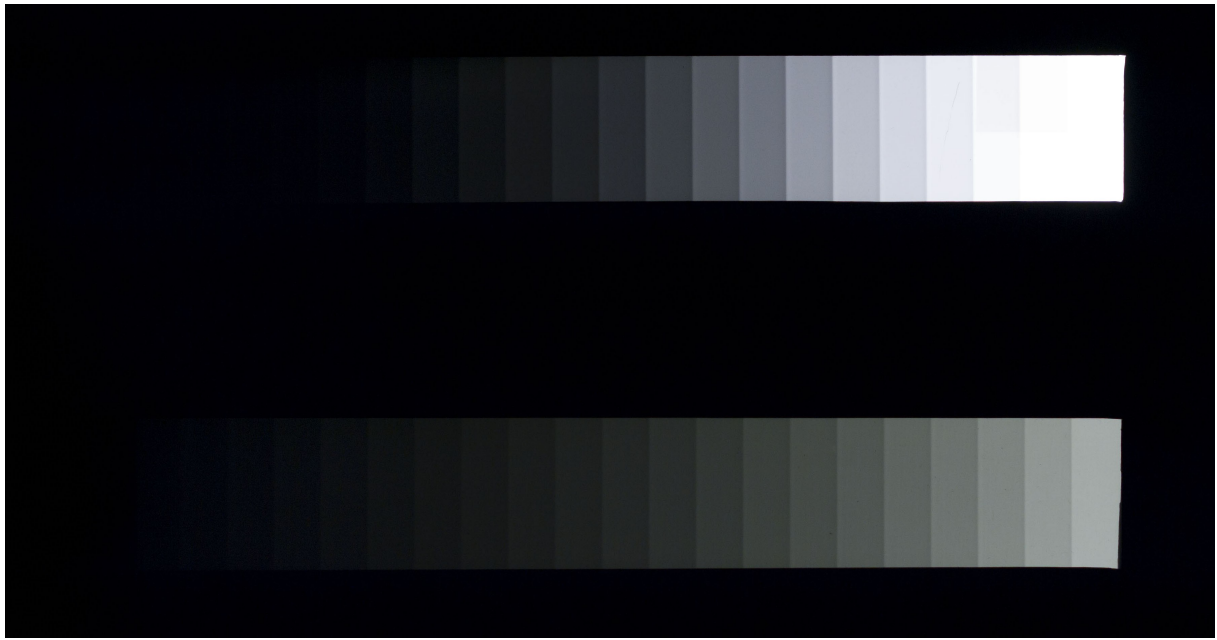
En obtenant ces 4 caractéristiques, nous pourrons alors comprendre comment fonctionnent nos deux capteurs, et quelles stratégies nous pourrons alors mettre en place pour correctement les exploiter, en fonction d'une intention esthétique.

##### PROTOCOLE DES 4 EXPÉRIENCES ET LISTE MATÉRIEL :

Nous précisons ici que nous avons évidemment eu besoin de nos caméras Blackmagic 4K et Alexa Studio (équipé d'un codex prêté par ImageWorks) tout au long de ces tests.

#### 1. COURBE DE RÉPONSE

Nous filmions en Raw pendant 10 secondes une gamme de 21 plages de densité croissante et d'incrément connu :  $2/3$  d'EV (soit un contraste total de 14 EV), au travers d'une sphère d'intégration envoyant une lumière diffuse et homogène, afin de faire subir différentes luminations à notre capteur. Nous avons relevé la luminance de la sphère avec le spectroradiomètre CS2000, par le biais d'un trou situé en dessous de notre gamme. À l'aide d'un densitomètre, nous savons également précisément quelle est la densité de chacune de nos plages de la gamme. Ces deux renseignements, associés au diaphragme et au temps d'exposition, nous permettent de savoir quelle a été la lamination de chacune de nos plages. D'autre part, à l'aide du logiciel Matlab, nous linéarisons nos images et nous relevons les valeurs numériques relatives correspondant à chaque plage de la gamme, pour en faire une moyenne. Nous pouvons alors tracer, pour les 21 plages de notre gamme, la courbe de réponse des valeurs numériques en fonction de la lamination.



*Image de gamme issue de la Blackmagic Caméra Production K N°2271677. En haut, la gamme de 14 EV avec incrément de 2/3 d'EV ; en bas gamme de 10 EV avec incrément de 1/2 d'EV.*

Cette courbe de réponse nous permet de connaître la valeur du point de saturation de notre capteur (1,77 lux.s pour l'Alexa Studio et 0,30 lux.s pour la Blackmagic), et nous donne une certaine idée de l'étendue utile.

Liste matériel :

- Sphère d'intégration
- Gamme carbone
- Spectroradiomètre CS2000
- Densitomètre

## 2. TEST DE FLARE

Notre premier test de flare était basé sur les recommandations de la norme ISO, qui explique qu'un facteur de flare se quantifie à l'aide d'un carré noir posé sur fond blanc avec un contraste allant de 1 à 1000 minimum. Le facteur de flare correspond alors à la différence d'éclairement de la zone noire de la mire lorsqu'elle occupe l'ensemble du cadre et lorsqu'elle n'occupe que 10% du cadre. En partant de cette méthode, nous avons décidé de le pousser plus loin en prenant non pas une référence de noir mais trois. Nous avons donc placé trois disques de densité neutre d'une valeur respective de ND1 (3 EV + 1/3), ND2 (6 EV + 2/3) et ND3 (10 EV) sur une plaque de verre face à la sphère d'intégration. À l'aide d'un cache approprié, nous pouvions filmer les 3 densités avec et

sans lumière parasite. Comme nous savions que le flare ne s'applique pas de manière uniforme à toute l'image, nous pouvions ainsi obtenir un facteur de flare pour trois points de notre courbe de réponse.

Par la suite, nous avons extrapolé ce test à non plus 3 points, mais 21, en ré-utilisant notre gamme carbone servant à obtenir la courbe de réponse. En filmant une fois avec de la lumière parasite, et une fois sans grâce à un cache approprié, nous obtenons alors une courbe de réponse avec et sans flare. Le protocole est donc le même que pour la courbe de réponse, mais avec et sans un cache pour la lumière parasite.

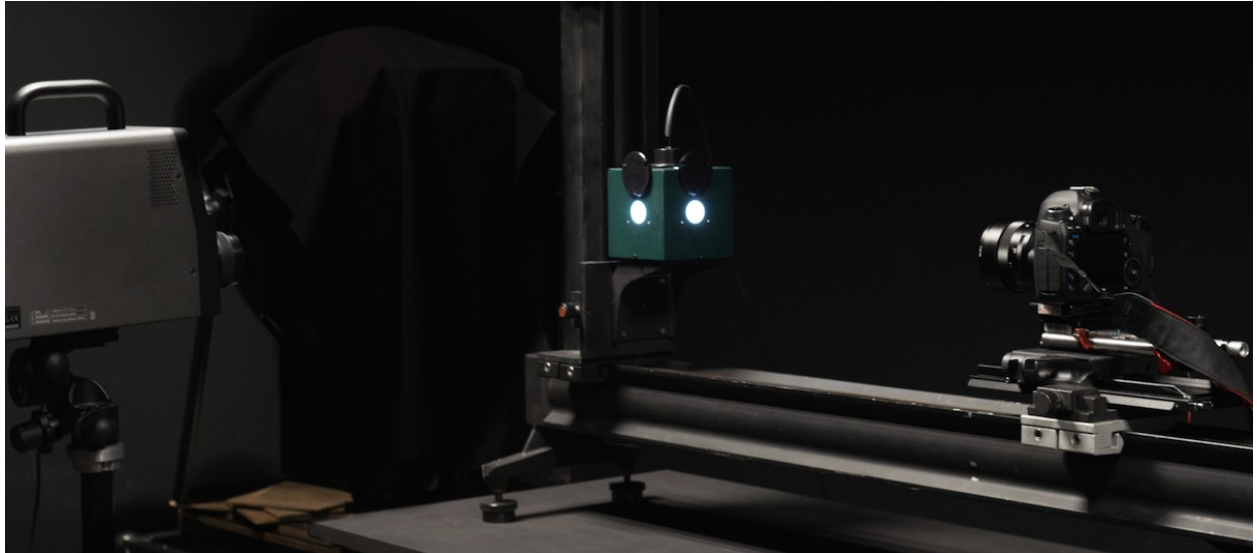
Liste matériel :

- Sphère d'intégration
- Gamme carbone (+ un cache correspondant)
- Spectroradiomètre CS2000
- Densitomètre

### 3. TEMPÉRATURE D'ÉQUILIBRE

Nous avons créé avec un script Matlab 10 illuminants différents, correspondant à 10 température d'équilibre différentes, que nous envoyons dans la source spectrale programmable OL490 du laboratoire de sensitométrie. Voici leurs caractéristiques :

Température théorique voulue (en Mired)	Température réelle obtenue, mesurée par le spectroradiomètre CS2000 (En Mired)	Delta UV	Indice de Rendu des Couleurs (IRC)
110	119	+ 0,006	98,4
140	148	+ 0,006	98,2
170	175	+ 0,005	96,8
200	200	+ 0,003	98,9
230	232	+ 0,000	96,5
260	267	+ 0,001	97,96
290	299	- 0,000	96,8
320	325	- 0,001	95,7
350	345	- 0,001	95,3
380	360	- 0,001	94,4



*Banc d'essai du laboratoire de sensitométrie en cours de préparation pour effectuer le test de température d'équilibre de plusieurs caméras (Blackmagic 4K, Alexa Studio, Sony Alpha 7S, Canon 5D...) : à gauche, le spectroradiomètre CS2000, à droite, un boîtier canon 5D mark III, et au milieu la source spectrale programmable, envoyant ici une lumière blanche à 6500K.*

Nous filmons en Raw pendant 10 secondes ces 10 illuminants. Grâce au logiciel de traitement Matlab, nous avons pu effectuer des moyennes sur plusieurs images pour obtenir la réponse dans les canaux rouge, vert et bleu, pour chaque illuminant. Grâce à ces 10 points de mesure en rouge et en bleu, nous avons pu obtenir un polynôme du second degré, permettant de tracer la courbe passant au mieux par l'ensemble de ces 10 points. Ces polynômes peuvent donc être assimilés à la réponse de la caméra en rouge et en bleu. Leur croisement indique donc la température de couleur pour laquelle la caméra voit autant de rouge que de bleu. Il s'agira donc de la température d'équilibre de la caméra.

Liste matériel :

- Spectroradiomètre CS2000
- Source Spectrale Programmable OL490

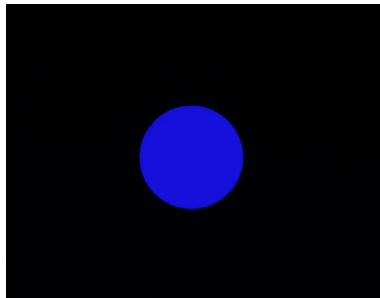
#### 4. SENSIBILITÉ SPECTRALE

Nous avons créé avec un script Matlab une suite de 69 lumière voulue monochromatique, par pas de 5 nanomètres entre 380 et 720 nm, à 5 intensités différentes (100%, 75%, 50%, 25%, 10%), que nous envoyons dans la source spectrale programmable OL490 du laboratoire de sensitométrie. Nous avons ainsi obtenu, pour chaque canal rouge, vert et bleu, 69 courbes de réponse en fonction des 69 longueurs d'onde traitées. Par la suite, nous avons décidé d'un niveau arbitraire de réponse :

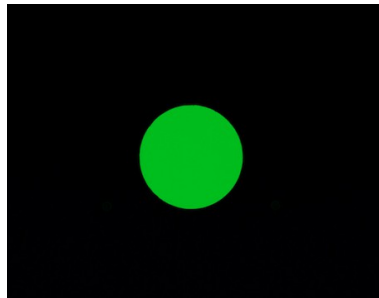
$$\log_2(VN_{\text{relatif}}) = -4$$

Il s'agissait alors de connaître, à l'aide de polynômes passant par nos 5 points de mesure, la lumination nécessaire pour l'obtention d'un tel niveau aux 69 longueurs d'onde traitées, pour chaque canal. De plus, nous savons que la sensibilité est inversement proportionnelle à la lumination. Nous pouvons alors obtenir la sensibilité spectrale de notre caméra, dans les trois canaux rouge, vert et bleu, pour un niveau de réponse donné.

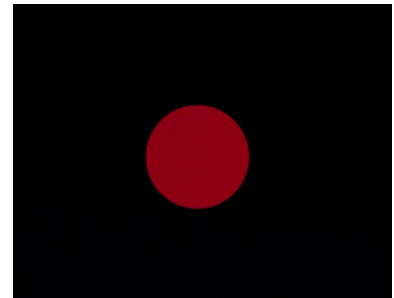
Voici à titre d'exemple 3 photogrammes issus de la Blackmagic 4K, montrant 3 longueurs d'onde monochromatiques différentes envoyées dans la sphère d'intégration :



445nm



540nm



620nm

Liste matériel :

- Spectroradiomètre CS2000
- Source Spectrale Programmable OL490

RÉSULTATS DES 4 TESTS :

Les résultats ont été montrés et traités en détail dans la partie 3 du mémoire.

# **ENS LOUIS-LUMIÈRE**

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

Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01

[www.ens-louis-lumiere.fr](http://www.ens-louis-lumiere.fr)

## **PARTIE PRATIQUE DE MÉMOIRE DE MASTER**

Spécialité cinéma, promotion 2013-2016

Soutenance de Juin 2016

### **La lumière et l'image numérique de l'heure bleue dorée**

Alexandre DELOL

Cette PPM fait parti du mémoire intitulé :

**HEURE BLEUE DORÉE :**

Étude croisée d'un basculement physique de lumière porteur d'une forte symbolique et de la surface photosensible numérique

Directeur de mémoire : Alain SARLAT

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy Pisano

# TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	168
CV	169
Note d'intention	170
Liste du matériel	173
Plan de travail de tournage et de post-production	174
Étude technique et économique	175
Synthèse des résultats	176



# CV

<p><b>Alexandre DELOL</b> 16 Rue Pierre Brossolette 92390 Villeneuve-La-Garenne</p> <p>Né le 05/04/1993</p> <p>06 11 12 86 74 <a href="mailto:alexandre.delol.pro@gmail.com">alexandre.delol.pro@gmail.com</a></p> <p>Permis B (+ véhicule personnel)</p>	<p><b>ETUDIANT EN ECOLE DE CINEMA A LOUIS LUMIERE</b> CHEF-OPERATEUR / ASSISTANT-OPERATEUR Site internet : <a href="http://alexandrelool.flavors.me/">http://alexandrelool.flavors.me/</a></p>
<p><b><u>FORMATION</u></b></p> <p>Ecole Nationale Supérieure Louis Lumière (ENSL) – Section Cinéma – 2013/2016</p> <p>Conservatoire Libre du Cinéma Français (CLCF) 2010/2013</p> <p>Baccalauréat Scientifique (mention bien)</p>	<p><b>CHEF OPERATEUR</b></p> <p>2016 • <i>Les Medouny</i>, de Simon Bonanni (CM, <u>ENSL</u>, Alexa Mini)</p> <p>2015 • <i>Red White</i>, de Fabien Gazanhes (CM, <u>Infini Films</u>, Sony F55)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>A l'heure où blanchit la campagne</i>, de Alexandre Buyukodabas (CM, <u>ENSL</u>, Alexa Standard)</li><li>• <i>Le Blockbuster</i>, de Joris Augustin (CM, <u>Val D'Oise Images</u>, Blackmagic 4K)</li><li>• <i>Tetras</i>, de Axel Zeltser (CM, <u>Coon Washers</u>, Blackmagic 4K)</li><li>• <i>Dime Novel</i>, de Alexandre Delol (CM, <u>ENSL</u>, Phantom HD Gold)</li></ul> <p>2014 • <i>Nous</i>, de Loucas Letren (CM, <u>autoproduit</u>, Red Scarlett)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Living Room</i>, de Simon Bonanni (CM, <u>ENSL</u>, Sony PMW-F3)</li></ul>
<p><b><u>LANGUES</u></b></p> <p>Français (langue maternelle) Anglais (courant)</p>	<p><b>1<sup>er</sup> ASSISTANT OPERATEUR</b></p> <p>2015 • <i>Le Clown</i>, de Aurelia Raoull (CM, <u>ENSL</u>, Arri Alexa Studio – en raw)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Palissades</i>, de Hugues Perrot (CM, <u>Ciné Z</u>, Sony F55)</li><li>• <i>Action Painting</i>, de Elena Erhel (CM, 35mm, <u>ENSL</u>, Moviecam Super)</li><li>• <i>Un peu de moi par ci</i>, de Sandro Lima (CM, <u>autoproduit</u>, Ikonoskop)</li></ul> <p>2014 • <i>Chambre 204</i>, de Simon Bonanni (CM, <u>ENSL</u>, Arri Alexa Studio)</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>ESI 6</i>, de Pierrick Roland (CM, <u>ENSL</u>, Arri Alexa Studio)</li><li>• <i>L'éclat</i>, de Jonathan Schupak (CM, <u>autoproduit</u>, Canon 5D – en raw)</li><li>• <i>La femme dans le miroir</i>, de Mehdi Sellami (CM, <u>ENSL</u>, Sony F3)</li></ul>
<p><b><u>LOGICIELS MAITRISES</u></b></p> <p>Premiere Pro CC Da Vinci Resolve 12 Lightroom 5</p>	<p><b>2<sup>nd</sup> ASSISTANT OPERATEUR</b></p> <p>2014 • <i>Hôtel des Salins</i>, de Camille Jaulent (CM, <u>ENSL</u>, Arri Alexa Standard)</p>
<p><b><u>MATÉRIEL PERSONNEL</u></b></p> <p>Blackmagic Camera Production 4K Canon EOS 5D Mark III Go Pro Hero 3+ Black Edition</p> <p>Optique Canon 24-105mm f4 Optique Zeiss MakroPlanar 50mm f2 Optique Samyang 24mm f1.4</p> <p>Pied Sachtler Ace L GS-CF/1012 Crosse épaule Gimirig Matte Box 4x4/Cage/Follow focus</p>	<p>Également prestataires pour diverses boites de productions</p> <p><b>ARTISANS DU FILM</b></p> <p>2014 • <i>Les filles au Moyen-âge</i>, de Hubert Viel (LM, aaton super 16) – électro</p>
<p><b><u>LOISIRS/DIVERS</u></b></p> <p>Sport (foot, tennis, parachutisme..)</p> <p>Photographie (argentique et numérique)</p> <p>Voyages (Etats-Unis, Russie, Canada, Israel, Pays-Bas...)</p>	<p><b>REALIZE PRODUCTION</b></p> <p>2015-2016 • Mini Racing Days (Corporate, Sony FS7) - Opérateur prise de vues</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Mud Day (Corporate, Sony FS700 et FS7) – Opérateur prise de vues</li></ul> <p><b>ELEPHANT AT WORK</b></p> <p>2015-2016 • Pastille Renault (Corporate, Canon 5D et FS7) - Opérateur prise de vues</p>

## NOTE D'INTENTION

La partie pratique accompagnant ce mémoire sera composé de tests de différentes natures qui seront menés tout au long de mes recherches. Le but ici est de faire avancer ensemble théorie et pratique, l'un renvoyant à l'autre de manière constante. En effet, passé la première partie du mémoire qui renvoie plus à des recherches scientifiques et bibliographiques pour poser des définitions et des termes, expliquer des phénomènes et des comportement (météorologiques et humains principalement), et établir un état de l'art au cinéma, nous allons dans la deuxième et troisième partie du mémoire nous baser très souvent sur des tests pour progresser dans notre étude de la lumière de l'heure bleue dorée et de sa captation par les surfaces photosensibles numériques.

D'ailleurs, le début de mes recherches commencera avec un premier test, effectué très tôt dans la démarche du mémoire, en juillet 2015, afin de faire une première approche du basculement de lumière au lever et au coucher du soleil, de son effet et de sa captation par une caméra numérique. Ce test, qui consistera à filmer simultanément un coucher de soleil et son effet sur un modèle et une mire de couleur, avec deux caméras identiques, aura pour but de tenter de comprendre l'évolution quantitative, qualitative et géométrique de la lumière de l'heure bleue dorée et de distinguer différentes phases.

Ce test ouvrira alors la voie à une étude plus précise de la lumière si particulière des levers/couchers de soleil, qu'il nous faudra appréhender et quantifier à l'aide d'instruments spécialisés. Nous irons alors effectuer des mesures quantitatives du basculement de lumière ayant lieu au coucher du soleil. Nous distinguerons des mesures des variations d'éclairement, mesuré par un luxmètre, et celles de l'évolution du contraste, mesuré par un appareil-photo et un spotmètre.

Sur le même principe, nous effectuerons également un test afin d'aller mesurer nous-même l'évolution de la qualité de lumière au coucher du soleil, en faisant bien attention de séparer le soleil et le ciel, dont l'association nous offre de multiples nuances colorés. Afin de mesurer la distribution spectrale de ces deux sources, nous utiliserons le spectroradiomètre CS2000 du laboratoire de sensitométrie, dont nous aurons pris soin en

amont, tout comme tous les autres instruments de mesure pré-cités, de vérifier le bon calibrage. Cependant, il faudra bien avoir conscience que le temps du mémoire ne nous permettra pas de faire des mesures répétées de l'évolution quantitative et qualitative de la lumière, qui nous aurait permis de faire une moyenne sur l'année et donc de tirer des conclusions précises sur l'évolution de l'heure bleue dorée. Malgré tout, ces deux tests basés sur des mesures nous donneront une idée intéressante sur le basculement physique de lumière, et nous permettra de comprendre quels éléments sont mis en jeu.

Le quatrième test s'intéressera quant à lui à déterminer les caractéristiques natives du capteur numérique, afin de comprendre le fonctionnement interne des caméras, et pouvoir analyser les éléments importants à connaître et maîtriser pour la captation de la lumière de l'heure bleue dorée. Nous chercherons à déterminer 4 caractéristiques précises :

- La courbe de réponse
- L'influence du flare sur la courbe de réponse
- La température d'équilibre, et donc la réponse des canaux rouge et bleu aux différentes températures de couleur
- La sensibilité spectrale des trois canaux

Pour bien appréhender les différences de fonctionnement des caméras, nous ne baserons pas notre étude sur une mais deux caméras numériques. Nous choisirons l'Arri Alexa Studio, caméra professionnelle disponible au sein de l'école Louis Lumière, et la Blackmagic Caméra Production 4K, caméra semi-professionnelle, que je possède en propre. En analysant deux caméras de standing et de catégorie différentes, nous espérons pouvoir obtenir des résultats variés et bien distincts. Dans le cadre de ce test, nous aurons nécessairement besoin de nous placer dans un flux Raw, afin d'analyser la réponse la plus brute possible du capteur. Si la Blackmagic 4K, caméra plus récente que l'Alexa Studio, permet d'en faire en interne, nous aurons besoin d'un enregistreur Codex pour la caméra d'Arri, que nous prêtera Image Works par l'intermédiaire de Next Shot.

Le cinquième test sera une sorte de conclusion des tests précédents et des recherches de ce mémoire, en croisant nos études de la lumière de l'heure bleue dorée et des capteurs numériques. Cela nous amènera alors à réaliser des images de prise de vue, dans des

conditions d'un tournage professionnel, mais avec une démarche de test. Nous mettrons donc en scène une séquence de 5 plans au coucher du soleil avec un comédien, que nous tournerons en simultané avec nos deux caméras d'étude : l'Alexa Studio et la Blackmagic 4K. Ce tournage/test sera l'occasion de se frotter à la captation de l'heure bleue dorée, et surtout de mettre en application différentes stratégies pour nos deux caméras, découlant de notre étude du quatrième test.

De plus, bien que celle-ci arrivera tôt dans les recherches de ce mémoire (mars 2016), nous pourrons utiliser l'expérience du tournage de la PPM de Simon Bonanni *Les Medouny*, tournée en Alexa Mini, sur laquelle je serais chef-opérateur, et qui contiendra une séquence à l'heure bleue. Ce sera l'occasion de se confronter en situation réelle de tournage professionnel à la captation d'une phase du lever de soleil, tant techniquement qu'humainement.

En résumé, notre partie pratique de mémoire sera composée :

- d'images de coucher de soleil et de l'effet de sa lumière sur un modèle et une charte de couleur au même moment,
- de courbes de l'évolution de l'éclairement de l'heure bleue dorée,
- de courbes de l'évolution de la répartition spectrale de l'heure bleue dorée,
- d'images et de tableau de mesure montrant l'évolution du contraste de l'heure bleue dorée,
- de courbes de réponse, avec et sans flare, de température d'équilibre et de sensibilité spectrale de nos deux caméras d'étude,
- d'images issues de notre tournage/test fait avec nos deux caméras,
- et éventuellement d'images issues de la séquence à l'heure bleue de la PPM de Simon Bonanni *Les Medouny*.

À l'exception du dernier, l'ensemble de ces éléments fait partie prenante du mémoire théorique et est intégré à celui-ci, sous forme de courbes et de capture d'images tournées. Nous pourrons également les projeter au cours de la soutenance orale afin d'alimenter notre propos.

# LISTE DU MATÉRIEL

## TEST 1 :

CAMÉRA : 2 Blackmagic Caméra Production 4K, 2 Optiques Canon 24-105mm f4, 2 Pieds Vidéos.

MESURE : 2 Color Checker, un thermocolorimètre.

## TEST 2 :

CAMÉRA : Boitier photo Nikon D800E, Deux pieds vidéos.

MESURE : Luxmètre Illuminance Meter T-10 numéro 00060.

## TEST 3 :

MESURE : Spectroradiomètre CS2000, Ordinateur de contrôle (avec dongle pour le contrôle du logiciel CS-W10), Sphère d'intégration.

AUTRES : Pied vidéo, Groupe électrogène 1KW.

## TEST 4 :

CAMÉRA : Blackmagic Caméra Production 4K, Alexa Studio avec Codex.

SOURCE : Sphère d'intégration, Source Spectrale Programmable OL490

MESURE : Spectroradiomètre CS2000, Densitomètre, Gamme carbone.

## TEST 5 :

CAMÉRA : Blackmagic Caméra Production 4K, Alexa Studio avec Codex, 2 pieds vidéos.

MESURE : Colorimètre, Cellule, Spotmètre, Mire avec blanc, gris neutre et blanc de référence.

LUMIÈRE : Poly, lastolite.-

## TEST 6 :

CAMÉRA : Alexa Mini (prêtée par ImageWorks), Zoom Angénieux 15-40mm f2.6.

LUMIÈRE : 3 Kinoflo 4 tubes 120cm, 1 fresnel 1KW, Poly blanc.

MESURE : Colorimètre, Cellule, Spotmètre, Gris neutre.

# **PLAN DE TRAVAIL DE TOURNAGE ET DE POST-PRODUCTION**

## TEST 1 :

Tournage : le 15 juillet 2015.

Post-production : courant février.

## TEST 2 :

Tournage : le 19 mars 2016.

Post-production : courant mars/avril.

## TEST 3 :

Tournage : le 19 mars 2016.

Post-production : courant mars/avril.

## TEST 4 :

Tournage : 25 et 26 mars 2016. Ré-effectué le 6, 7 et 9 mai.

Post-production : courant mars/avril pour les premiers tests. Entre le 9 et le 14 mai pour les seconds tests.

## TEST 5 :

Tournage : 28 avril 2016.

Post-production : Début mai.

## TEST 6 :

Tournage : 7 au 13 mars 2016.

Post-production : montage courant avril. Étalonnage fin mai/début juin.

# ÉTUDE TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE

## TEST 1 :

Pas de dépense. Le matériel m'appartenait personnellement ou m'était prêté.

## TEST 2 :

Frais d'essence et de péage : 50 euros

Location d'un groupe électrogène : 100 euros.

## TEST 3 :

Frais compris dans ceux du test 2 car effectué à la même occasion.

## TEST 4 :

Pas de dépense. Test effectué au sein de l'école, avec le matériel de l'école, ma caméra Blackmagic 4K personnelle et le codex généreusement prêté par ImageWorks et Nextshot.

## TEST 5 :

Pas de dépenses. Matériel de l'école et matériel personnel.

## TEST 6 :

Location de matériel supplémentaire de celui de l'école pour la réalisation du court métrage *Les Médouny (PPM partagée avec le réalisateur Simon Bonanni)* :

LOUEUR	MATÉRIEL	DURÉE	TARIF
CAMAGRIP	Matboom 4 barres bouladou	Une semaine	126 euros
NEXTSHOT	Commande HF Chrosziel Magnum 2 voies Kit HF Vidéo Teradek Bolt HD	Une semaine	451 euros
RVZ	Kit Flex Lite Bi color	2 jours	64 euros
TSF	Camion 14 mètres cube	Une semaine	651 euros
TOTAL			1292 euros

## SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

Les résultats de ces 6 parties pratiques de mémoire ont été exprimés et analysés au cours de la partie théorique du mémoire. De plus, les protocoles détaillés des parties pratiques 'tests' sont disponible en annexe.

*« Le bonheur ne se trouve pas au sommet de la montagne, mais dans la façon de la gravir »*,  
Confucius (551-479 av. J-C), Rongou (Analectes).