

EMERGENCE DES PRODUCTIONS VIRTUELLES EN FRANCE :

QUELS NOUVEAUX ENJEUX POUR LES DIRECTEURS-TRICES DE LA PHOTOGRAPHIE ?

JUSTINE COULMY

Mémoire de master

Spécialité cinéma, promotion 2019-2022 | Soutenance de juillet 2022

Directeur interne de mémoire : Laurent STEHLIN, Directeur technique.

Directeur externe de mémoire : Pierre COTTEREAU, Directeur de la photographie.

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy PISANO, Professeure des Universités et Directrice de la recherche.



ENS Louis-Lumière
La Cité du Cinéma –20, rue Ampère BP 12 –93213 La Plaine Saint-Denis
Tel. 33 (0) 1 84 67 00 01
www.ens-louis-lumiere.fr

Mémoire de master

Spécialité cinéma, promotion 2019-2022

Soutenance de juillet 2022

Emergence des productions virtuelles en France : quels
nouveaux enjeux pour les directeurs·trices de la
photographie ?

Justine COULMY

Directeur interne de mémoire : Laurent STEHLIN, Directeur technique.

Directeur externe de mémoire : Pierre COTTEREAU, Directeur de la photographie.

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy PISANO, Professeure des Universités et Directrice de la recherche.

Remerciements

Laurent Stehlin pour m'avoir autant accompagnée ces deux dernières années.

Pierre Cottureau et Nathalie Durand pour le temps et les propos qu'ils m'ont confiés.

Pierre-Marie Boyé et Christian Guillon pour m'avoir accueillie en stage chez *Les Tontons Truqueurs*. Nicolas Hayat pour avoir pris le temps de me former, ainsi que Doriane Lopez, Lucas Sousseing, Stéphane Lesmond, Elie Fischer et Alexandre Grene.

Giusy Pisano, David Faroult, et l'équipe des enseignants de Louis-Lumière qui m'ont permis de faire ce stage et facilité les recherches.

Les studios de la Montjoie et l'équipe de production d'*Une belle Course* pour m'avoir reçue à plusieurs reprises lors de leurs essais, et en particulier David Weingaertner.

Réjane Hamus-Vallée pour ses précisions historiques sur l'évolution des effets spéciaux.

Mon père, pour m'avoir montré le making-of du tournage de *The Mandalorian* pendant le premier confinement ; tout est parti de là. Ma mère pour ses précieuses relectures.

Balthazar, pour tout le reste et plus encore.

Résumé et mots-clés

Résumé :

Depuis la fin du premier confinement, des plateaux virtuels voient le jour en France et proposent de tourner devant des murs LED affichant le décor sur leurs écrans. Des technologies issues de l'événementiel et du jeu vidéo viennent se mettre au service du cinéma pour proposer de nouvelles solutions de tournage. L'association d'outils qui n'ont pas été pensés pour fonctionner ensemble entraîne l'apparition de nouveaux enjeux techniques. Il est donc essentiel pour le chef opérateur de comprendre ces spécificités techniques afin de mieux appréhender le travail du cadre et de la lumière dans des environnements virtuels.

En réalisant au moment du tournage des opérations traditionnellement opérées en post-production, le directeur de la photographie reprend le contrôle de l'image finale, mais se retrouve à collaborer avec de nouveaux corps de métier. Il devient alors essentiel de créer un langage commun pour pouvoir faire émerger de nouvelles idées de mise en scène.

Mots-clés :

Murs LED, fond vert, *Previz On-Set*, production virtuelle, temps réel, tracking, *3D lighting*, Unreal Engine.

Abstract and keywords

Abstract :

Since the end of the first lockdown, new virtual stages raised in France and offer filmmakers to shoot in front of LED volumes displaying a virtual set. Technologies from events and video games come to serve the cinema and offer new filming solutions. The association of tools that were not designed to work together bring new technical issues. It is therefore essential for cinematographers to understand these technical issues in order to better think framing and lighting in virtual environments.

By bringing operations traditionally carried out in post-production during filming, the director of photography gets control of the final image back but finds himself collaborating with new trades. It then becomes essential to create a common language in order to bring out new staging ideas.

Keywords :

LED Volume, green screen, Previz On-Set, real time, virtual production, tracking, 3D lighting, Unreal Engine.

Table des matières

INTRODUCTION	6
I – EMERGENCE DES PRODUCTIONS VIRTUELLES : UN CROISEMENT TECHNOLOGIQUE AU SERVICE DU CINEMA . 8	
CHAPITRE 1. DES INNOVATIONS DANS LA CONTINUITÉ LOGIQUE DE L’HISTOIRE DES TECHNIQUES AU CINEMA	9
a. Associer une action réelle à un décor, une histoire d’inventions	9
b. Les différents niveaux de productions virtuelles	12
CHAPITRE 2. LES DIFFÉRENTS TYPES DE PELURES A INTEGRER	19
a. Pelure réelle ou plate 2D	19
b. Pelure virtuelle ou plate 3D	23
c. Scan 3D et photogrammétrie.....	26
CHAPITRE 3. DISPOSITIF TECHNIQUE DES PRODUCTIONS VIRTUELLES : COMPRENDRE LE FONCTIONNEMENT POUR DEPASSER LES CONTRAINTES	28
a. Filmer des écrans : pitch, fréquence et moirage.....	28
b. Méthodes de tracking	31
c. Temps réel : éviter les latences et optimiser la qualité des rendus	33
d. Gestion complexe de la color pipeline	36
II - PENSER LE CADRE ET LA LUMIERE D'UNE NOUVELLE MANIERE.....	41
CHAPITRE 1. UTILISER LA LUMIERE DU DECOR VIRTUEL COMME UNE LUMIERE NATURELLE ?	42
a. Du bon usage des murs et des bandeaux	42
b. Niveau des écrans et choix de diaph.....	45
c. Ecran LED et indice de rendu des couleurs : vers des projecteurs hybrides ?.....	47
d. Recréer des directions de lumière et créer un éclairage dynamique.....	51
CHAPITRE 2. NOUVEAUX ENJEUX DE DECOUPAGE.....	57
a. Recréer le réel pour préserver l’illusion	57
b. Créer l’illusion en déconstruisant le réel.....	58
III - S'INTEGRER DANS UNE NOUVELLE CHAINE DE CREATION	60
CHAPITRE 1. COLLABORATION AVEC LE LIGHTING ARTIST : ECLAIRER POUR LE TEMPS REEL	61
a. Les outils pour construire la lumière en 3D	62
b. Méthodes de rendu et lumière indirecte (Global Illumination, Rasterization/Raytracing).....	65
c. Comprendre les spécificités du lighting en temps réel	68
CHAPITRE 2. COLLABORATION AVEC L'EQUIPE DECORATION : APPREHENDER L'INTERACTION ENTRE DECOR REEL ET VIRTUEL.....	71
a. Dans le virtuel : penser conjointement décor 3D, lighting et direction artistique	71
b. Dans le réel : créer des volumes et des surfaces pour sculpter la lumière	72
CHAPITRE 3. QUELLE SOLUTION ADAPTEE POUR QUELLE ECONOMIE DE TOURNAGE ?	77
a. Décor naturel, fond vert ou écran LED : comment choisir ?	77
b. Augmenter la préparation pour réduire la post-production : un choix rentable ?	80
CONCLUSION	81
BIBLIOGRAPHIE.....	83
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	85
ANNEXES	87
<i>Annexe 1 : Entretien avec Pierre Cottureau</i>	<i>88</i>
<i>Annexe 2 : Entretien avec Nathalie Durand.....</i>	<i>102</i>
PARTIE PRATIQUE DE MEMOIRE.....	107
SOMMAIRE	108
NOTE D’INTENTION.....	109
MOYENS TECHNIQUES EMPLOYES	112
SYNTHESE DE LA PARTIE PRATIQUE	113

Introduction

Il y a un peu plus de deux ans, lors du premier confinement, je suis tombée sur les images de la fabrication de la série *The Mandalorian* créée par Jon Favreau. Dans l'un des immenses plateaux de Manhattan Beach Studios, le producteur américain présentait un espace appelé *The Volume*, soit un écran LED¹ semi-circulaire à 270° de plus de 6 mètres de haut et presque 23 mètres de large. *The Volume* permettait ainsi d'afficher en temps réel n'importe quel paysage virtuel, tout en contrôlant sa lumière, sa météo et l'emplacement des objets directement sur le plateau. En plus de cela, le moteur graphique générant le décor recevait en temps réel les informations de position de la caméra et adaptait l'affichage pour respecter l'effet de parallaxe. J'étais émerveillée par le champ des possibles qu'ouvrait cette technologie *Stagecraft*, développée par *Industrial Light & Magic* (ILM). Jon Favreau le disait lui-même à la fin de la vidéo, ces avancées technologiques et le développement des décors virtuels « auront un impact durable sur la manière de tourner des films et des séries dans un futur très proche »².

Ces propos tenus fin 2019 trouvent très vite une résonance dans l'évolution des productions à l'échelle mondiale. Début 2020, toute la presse spécialisée publie de nombreux articles pour présenter la technologie d'ILM. La crise sanitaire commence très peu de temps après et les mesures de confinement poussent les productions à complètement repenser leurs méthodes : plusieurs opérateurs, producteurs et superviseurs VFX voient dans le décor virtuel un moyen de continuer à tourner. Dès l'été 2020, on observe alors l'ouverture des premiers studios de tournage en décor virtuel en France, comme le *Plateau Virtuel*, dirigé par le directeur de la photographie Julien Lascar dans les locaux de Novelty, ou encore *Neoset*, ouvert par l'ancien chef machiniste Jérémie Tondowski et le réalisateur Alexandre Saudinos.

Pourtant toutes les technologies en jeu ne sont pas nouvelles : les plateaux de télévision utilisaient déjà des murs d'écrans LED dans leur décor et les jeux vidéo employaient des moteurs de calculs 3D en temps réel depuis des années. Il serait donc plus à propos de parler d'un croisement nouveau des outils de production à travers différents mondes plutôt que de l'apparition soudaine d'une technologie révolutionnaire. Néanmoins, par ce croisement, une nouvelle manière de produire des images commence à se manifester. L'objectif de ce mémoire est d'en étudier les outils et les impacts dans les pratiques du chef opérateur

La première partie du mémoire s'intéressera donc à l'origine de ce croisement : dans quel contexte les frontières entre jeux vidéo, broadcast et cinéma sont-elles devenues plus poreuses ? A quels besoins des opérateurs et des productions cinématographiques les plateaux virtuels viennent-ils répondre ? Quels principes technologiques sont à l'œuvre et comment

¹ Une diode électroluminescente (de l'anglais *light-emitting diode*) est un dispositif opto-électronique qui émet de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.

² Propos tenus par Jon Favreau dans le reportage *The Virtual Production of The Mandalorian* réalisé par les studios ILM.

s'inscrivent-ils dans le workflow des films ? Naturellement, en croisant des outils conçus pour le jeu vidéo et le broadcast, de nouvelles problématiques dans la fabrication de l'image émergent. Le rafraîchissement des écrans et des capteurs, la correspondance colorimétrique des deux, les effets de moirages liés aux pixels de l'écran représentent de nouveaux problèmes auxquels l'opérateur doit trouver des solutions.

Heureusement, le travail du chef opérateur ne se limite pas à la connaissance des outils techniques à sa disposition. Nous étudierons donc dans une seconde partie les spécificités du travail de la lumière et du cadre sur des plateaux virtuels. Travaille-t-on la lumière issu d'un décor virtuel comme une lumière naturelle ? Comment venir retravailler les directions ? Les murs LED peuvent-ils se substituer aux projecteurs traditionnels de cinéma ? Quelles nouvelles possibilités de découpage offrent ces technologies ?

Enfin, le travail du chef opérateur ne doit pas être coupé de celui des autres départements ni des moyens impliqués dans la fabrication de l'image. Pour comprendre totalement les changements qui s'opèrent dans son travail, il est essentiel de comprendre les bouleversements engendrés sur le reste de la chaîne : le choix d'un tournage en décor virtuel doit être fait en mesurant son impact à tous les niveaux. Comment se réorganisent les différents postes au sein de ce nouveau workflow ? Comment établir un dialogue avec les graphistes qui travaillaient traditionnellement en post-production ? Comment collaborer avec l'équipe décoration pour mieux penser l'interaction entre le décor réel et le décor virtuel ? Les productions ont-elles réellement à gagner d'un point de vue économique ?

Ce mémoire s'appuie sur une série de conférences, d'articles et d'ouvrages consacrés à l'émergence en France des productions virtuelles, mais également de deux entretiens avec des chefs opérateurs français ayant recouru à ces technologies récemment. Dans le cadre de mes recherches, j'ai été amenée à effectuer un stage de deux mois dans la société de production virtuelle montpelliéraine « Les Tontons Truqueurs » ; un retour d'expérience de ces semaines passées à travailler avec eux viendra compléter ces ressources.



I – Emergence des productions
virtuelles : un croisement
technologique au service du cinéma

Chapitre 1. Des innovations dans la continuité logique de l'histoire des techniques au cinéma

En octobre 2021³, la réalisatrice canadienne Deborah Chow est intervenue sur son rapport aux productions virtuelles et à la création d'univers imaginaires pour l'Académie des Oscars. Elle y expliquait que de son point de vue, l'émergence des productions virtuelles s'inscrit dans la suite logique de l'évolution technique à travers laquelle les cinéastes ont toujours cherché à élargir leurs possibilités de création tout en répondant à des problématiques pratiques de production : comment assurer la sécurité et le confort des comédiens et de l'équipe technique dans des décors dangereux ou peu praticables ? Comment faire croire à des décors toujours plus grandioses en réduisant des frais de construction de plus en plus coûteux ?

Il serait impossible de détailler dans ce texte l'histoire de toutes les technologies mises en œuvre sur les plateaux virtuels. Pour essayer malgré tout d'avoir quelques repères, une approche intéressante pourrait être de se demander, à chaque étape de l'histoire du cinéma, à quel(s) besoin(s) ces technologies sont-elles venues répondre ? De quoi parlons-nous exactement lorsque l'on évoque la production virtuelle ? De 3D ? D'effets spéciaux ? De murs LED ? Quelles images cherche-t-on à mêler au réel et comment fabriquer ces images ? Comment fonctionnent les technologies présentes dans les studios virtuels et comment celles-ci peuvent-elles impacter le travail de l'image ?

a. Associer une action réelle à un décor, une histoire d'inventions

Dès le début du cinéma, différentes techniques coexistent pour augmenter la palette possible de décors, certaines étant héritées du théâtre ou des trucages photographiques. L'enjeu est le même à chaque fois : créer l'illusion que l'image de l'acteur et que l'image du décor forment un seul plan dans l'esprit du spectateur. Mélanger des images de différentes natures en effaçant les traces de cette composition revient à chercher le « 1+1 =1 ». Qu'il soit science fictionnesque, fantastique ou tout à fait réaliste, le décor truqué permet alors de dépasser les limites techniques de la caméra, d'obtenir des lieux éloignés ou interdits d'accès, de réduire les coûts de déplacement d'équipe ou de location d'espaces.

Dès 1901, les caches et contre caches fixes permettent d'intégrer dans les fenêtres des wagons de train des images de paysage défilant, dans les productions Pathé (*Une idylle sous un tunnel*, Ferdinand Zecca en 1901 ou *Flirt en chemin de fer* l'année suivante) ou Edison (*Le vol du grand Rapide*, Edwin Porter, 1903). Ce paysage qui défile peut apparaître comme un détail, il est pourtant essentiel pour l'effet de réel recherché ici, donnant au spectateur la sensation que la scène a vraiment été filmée dans un train en marche, ce qui reste techniquement impossible à cette époque (éclairage, angle de prise de vue et coût...).

³*Virtual Production: Are You Game?* Conférence en ligne disponible sur le site de l'Académie des Oscars : <https://www.oscars.org/events/virtual-production-are-you-game>

Dès 1907, l'utilisation du *glass shot* puis du *matte painting* qui explose dans les années 1920 mélange des parties de décor peintes sur une plaque de verre avec un décor live, que ce soit en direct avec la glace intercalée entre la caméra et le plateau (*glass shot*) ou en postproduction (*matte painting*)⁴.

Dans les années 1920, les procédés se multiplient. Celui créé par Eugen Schüfftan⁵ combine par un miroir semi réfléchissant incliné décors de taille réelle et maquettes en une même prise de vue. À la même époque, la transparence / back projection permet d'intégrer des scènes pré-enregistrées au moment de la prise de vue⁶. Les scènes de voiture se tournent en studio, le décor défilant derrière les comédiens étant projeté par l'arrière sur un écran semi transparent. Cette projection arrière présente des inconvénients techniques qui pousseront les opérateurs à se tourner davantage vers la projection frontale dès la fin des années 1950.

Procédé Schüfftan, *glass shot*, transparence et projection frontale ont tous un point commun : celui de donner un résultat immédiat, sur le plateau, visible de tous les protagonistes, techniciens et acteurs. Au même moment, les techniques de composition par cache mobile (*travelling matte*) sur fond noir puis bleu se développent, tels le procédé Williams en 1918 ou le Dunning-Pommeroy en 1925. Mais tel le fond vert contemporain, ces incrustations exigent une finalisation en laboratoire, en postproduction, qui ne permet pas de visualiser sur place le plan final. Si elles permettent de remettre à plus tard certains choix, comme celui du fond par exemple, elles sont souvent critiquées pour leur difficulté d'exécution et le caractère abstrait de l'espace proposé pour les comédiens, seuls sur un plateau vide.

À l'inverse, le Procédé Schüfftan, le *glass shot*, la transparence et la projection frontale offrent déjà de nombreux avantages dans le fait de pouvoir associer en direct, sur le plateau, des images pré-enregistrées aux prises de vue de l'action principale : les comédiens et l'équipe de tournage sont plus impliqués dans l'action car ils sont plongés dans le lieu « réel » de l'histoire, le chef opérateur peut ajuster l'éclairage du plateau en fonction de la lumière des images projetées, et les rushes sont directement prêts à être envoyés au montage à la fin du tournage. Ces méthodes présentent également de nombreux désavantages. Tout d'abord, le fait de devoir filmer un décor en amont du tournage limite les marges de manœuvre au moment de la prise de vue. Il n'est plus possible de changer l'angle ou la direction de la caméra. Les choix de prise de vue de l'action principale deviennent asservis à ceux de l'arrière-plan. De plus, le regard des spectateurs évoluant au fil des années et devenant de plus en plus exigeant en termes de réalisme, les limites de ces effets se font de plus en plus visibles.

Face à des besoins croissants de liberté au moment de la prise de vue et de réalisme des images finales, les cinéastes se tournent peu à peu vers l'utilisation des fonds verts ou bleus au tournage et des incrustations en post-production, portées par l'arrivée des ordinateurs et des images numériques au sein de l'industrie cinématographique dans les années 1970. Dans un premier temps, l'intégration du numérique sur les plateaux reste très compliquée : les

⁴ Voir Réjane Hamus-Vallée, *Peindre pour le cinéma. Une histoire du Matte Painting*, Presses du Septentrion, 2015.

⁵ Voir Katharina Loew, « Magic Mirrors, The Shüfftan Process », in *Special Effects New Histories, Theories, Contexts*, dirigé par Dan North, Bob Rehak et Michael S. Duffy, Londres, Bloomsbury, 2018, p. 62-77.

⁶ Voir Caroline Renouard, « Naissance, mort et renaissance(s) de la transparence », in *Cahier Louis Lumière « Archéologie de l'audiovisuel »*, n 10, décembre 2016, p. 175-192, <https://www.ens-louis-lumiere.fr/cahier-louis-lumiere-ndeg10>

temps de conception graphique et de calculs de rendus sont incompatibles avec le rythme de tournage d'un plateau et nécessitent donc par nature un travail exclusivement réservé à la postproduction. Le recours croissant au fond vert au tournant des années 2000, favorisé par un perfectionnement de l'incrustation, succédant aux multiples fonds bleus des années 1980, structure le temps du film de manière claire : la préparation du film, le tournage puis la fabrication des effets visuels exclusivement en cours de postproduction.

Mais depuis l'essor de la chaîne numérique en 2010, se déploie une porosité croissante entre préparation, tournage et post-production. De nombreux superviseurs d'effets visuels tendent à abandonner cette distinction en trois périodes successives au profit d'une séparation entre production physique et production numérique. Lorsque Deborah Chow interroge le superviseur VFX américain Ben Grossman sur cette nouvelle distinction⁷, ce dernier explique que physique et numérique s'opposent par leur temporalité. Les productions physiques (les films en prise de vue réelle) se concentrent sur un plan à la fois, avec des équipes limitées, qui tournent des plans de quelques secondes ou minutes pendant plusieurs jours ou plusieurs semaines. À l'inverse, les productions virtuelles (films en animation 3D) rassemblent des équipes beaucoup plus nombreuses qui travaillent sur plusieurs plans de manière simultanée pendant plusieurs mois, voire années.

Même si le cinéma, les jeux vidéo et l'innovation informatique sont des industries distinctes et hermétiques entre elles, leurs avancées respectives à la fin des années 1990 ont permis d'amorcer la déconstruction de la frontière entre production physique et production virtuelle. En effet, plus que le cinéma, le monde des jeux vidéo a besoin d'une forte amélioration des moteurs de calcul de ses consoles. Pour vendre plus, il faut proposer une expérience en trois dimensions aux joueurs, et il est totalement impensable que ces derniers attendent plusieurs heures le rafraîchissement de leur écran entre chaque image. Directement inspirée de la station développée par Silicon Graphics Inc. (SGI), la console Nintendo 64, sortie en juin 1996, accélère la fabrication mondiale et le développement de moteur de calcul 3D en temps réel tout en popularisant son utilisation auprès du grand public. Par temps réel, nous entendons la capacité d'un moteur graphique à calculer le rendu d'une image de synthèse à la même vitesse d'enregistrement ou d'affichage que l'image de la prise de vue réelle à laquelle elle sera associée. Également invité par l'académie des Oscars à intervenir lors de la conférence sur les productions virtuelles, le superviseur VFX et directeur technique d'Epic Games, Kim Libreri, explique avoir passé jusqu'à 144 heures pour le rendu d'un seul photogramme.... Délai totalement impensable en jeux vidéo !

Kim Libreri a ainsi utilisé pour la première fois la visualisation en temps réel en 1997, lorsqu'il préparait la fameuse séquence à effet *bullet time* du premier opus de la série *Matrix*. La première visualisation directement sur le plateau (*previs on set*) s'opère en 2000 lors du tournage d'*Artificial Intelligence: A.I.* de Steven Spielberg. ILM utilise la toute première version du moteur graphique développé par Epic Games, Unreal Engine, afin d'incruster le décor de la « ville rouge » dans le fond bleu de l'image alors même que le réalisateur est en train de relire la prise. La combinaison d'Unreal Engine avec le système de tracking de la caméra développée

⁷ *Virtual Production: Are You Game?* Conférence en ligne disponible sur le site de l'Académie des Oscars : <https://www.oscars.org/events/virtual-production-are-you-game>

par la BBC et de la dernière station de SGI, *Brainstorm* permet d'afficher en temps réel le décor en fonction de la position et l'axe de la caméra. Même si l'image sortant du moteur 3D n'a pas une qualité suffisante pour être enregistrée telle quelle avec l'image de la prise de vue réelle, le réalisateur, le cadreur et le directeur de la photographie peuvent travailler la composition des plans et leur éclairage avec beaucoup plus de précision sur le plateau.

La caméra retrouve donc sa liberté au moment du tournage : elle n'a plus à s'adapter à un arrière-plan préenregistré, ni à naviguer à vue dans l'immensité d'un fond bleu ou vert. L'équipe sur le plateau retrouve ainsi un meilleur contrôle de l'image produite et les équipes de création graphique trouvent enfin leur place en préparation et au moment du tournage. La distinction entre production physique et production numérique devient désuète, on parle alors de production virtuelle. Nous appellerons donc par la suite « production virtuelle » toutes les chaînes de fabrication cinématographiques et audio-visuelles impliquant l'association simultanée d'outils de prises de vue réelle et d'espace virtuels.

b. Les différents niveaux de productions virtuelles

La définition ci-dessus est volontairement assez large, car la notion de production virtuelle englobe un ensemble de solutions plurielles. Ces solutions répondent à des problématiques et pratiques de tournage différentes que Kim Libreri propose de regrouper en trois niveaux d'implication distincts :

- ***Les productions entièrement virtuelles***

Il s'agit des productions où les images sont entièrement générées par ordinateurs, mais dont les interfaces incluent des outils de prise de vue physique. Elles font leur apparition au début des années 2000, avec le développement de logiciels d'infographie dédiés à l'animation et l'intégration directe de technologies de capture de mouvements, tel que *Filmbox* de Kaydara qui deviendra en 2002 *Autodesk MotionBuilder*.

Le long-métrage de Robert Zemeckis *The Polar Express* (2004) est le tout premier film d'animation à être réalisé entièrement en *motion capture*. Les positions et mouvements réels des comédiens sont enregistrés à l'aide de capteurs placés sur leurs corps afin d'être reproduits pour animer des personnages virtuels.

De 2006 à 2009, la production du film *Avatar* de James Cameron pousse encore plus loin l'interaction entre l'équipe de tournage et l'univers virtuel dans lequel évoluent les personnages comme l'explique Glenn Derry dans une interview⁸ :

« Lorsque l'on utilise la *motion capture*, le réalisateur s'appuie sur des prévisualisations déjà enregistrées, filme les acteurs sur le plateau de *motion capture* et envoie ces images en post-production. Les effets visuels viennent ensuite animer les personnages virtuels à partir des informations de la *motion capture* et reproduire les mouvements de caméra, avant de renvoyer ces images au réalisateur. Cette approche ne pouvait tout simplement pas fonctionner pour

⁸ HOLBEN J. (Janvier 2020). "Conquering New Worlds". *American Cinematographer*, n°91.

James. Il voulait être en mesure d’interagir en temps réel avec les personnages virtuels sur le plateau, comme s’ils étaient des êtres vivants. Il voulait pouvoir tenir la caméra à l’épaule, comme il aime le faire, pour pouvoir filmer au mieux ce monde virtuel. » [Traduit depuis l’anglais]⁹

Pour répondre aux attentes de James Cameron, Glenn Derry utilise simultanément deux nouveaux outils. Tout d’abord, le *Director Centric System*, mis en place par le superviseur VFX Rob Legato, permet au réalisateur de visualiser en temps réel le remplacement des comédiens vêtus de leur combinaison de *motion capture* par leurs personnages virtuels. En parallèle de cette technologie, la *SimulCam* permet à James Cameron de cadrer à la main, directement dans le décor virtuel. Le réalisateur tient ainsi au bout de ses bras un boîtier dont la position et les mouvements sont traqués par des capteurs, et reproduits par une caméra virtuelle, dans l’univers lui aussi virtuel. L’image de cette caméra virtuelle est affichée sur un moniteur surplombant le boîtier, ce qui permet au réalisateur de visualiser ses déplacements dans l’espace virtuel en temps réel. Si l’image issue de l’association du *Director Centric System* et de la *SimulCam* a une qualité trop basse pour constituer l’image finale du film, elle fournit néanmoins au réalisateur une expérience beaucoup plus immersive, une manière de cadrer plus organique, et un meilleur contrôle des images en limitant les allers-retours entre le plateau de tournage et les bureaux des équipes graphiques.



Illustration 1 : Un des cadreur de *The Lion King* est équipé d’un rig qui lui permet de visualiser l’environnement 3D et de cadrer à l’épaule la scène de l’attaque des hyènes, comme s’il y était réellement. Le cadre de l’image de synthèse est ainsi plus organique. (Capture d’écran du making-of de *The Lion King*)

⁹ Citation originale : “With motion-capture work, the director usually completes elaborate previs shots and sequences, shoots the actors on the motion-capture stage, and then sends the footage off to post. Then, visual-effects artists composite the CG characters into the motion-capture information, execute virtual camera moves and send the footage back to the director. But that approach just wasn’t going to work for Jim. He wanted to be able to interact in real time with the CG characters on the set, as though they were living beings. He wanted to be able to handhold the camera in his style and get real coverage in this CG world.”

La recherche de mouvements de cadre virtuel toujours plus proches de prises de vue réelles est poussée encore plus loin par Jon Favreau, lors de la réalisation de *The Jungle Book* (2016) puis *The Lion King* (2019). Des outils appartenant traditionnellement au tournage physique tels que la dolly, la grue sur rails, le steadycam et même la tête manivelle, étaient équipés de systèmes reprenant le principe de la *SimulCam*. Ainsi, des opérateurs de prise de vue spécialisés venaient cadrer avec ces outils physiques dans l'univers virtuel. Des indications leur étaient données par le réalisateur, équipé d'un casque de réalité virtuelle, qui leur écrivait des notes et des marques d'emplacement directement dans le décor virtuel à l'aide d'une manette. Les méthodes de visualisation sur ce tournage étaient d'autant plus fluides que, pour la première fois dans une production cinématographique, les effets visuels recouraient à un moteur graphique directement venu de l'univers des jeux vidéo, développé par Unity.

En résumé, les productions entièrement virtuelles se réfèrent principalement à des projets de film d'animation, où la direction artistique et la lumière sont complètement virtuelles, mais des interfaces physiques inspirées d'outils de la prise de vue réelle permettent une meilleure immersion à l'ensemble de l'équipe. Le travail de la lumière restant exclusivement virtuel dans ce type de production, il ne sera que très peu question de production entièrement virtuelle dans la suite de ce mémoire. Sans vouloir exclure les films d'animation du reste de la production cinématographique, ce texte a plus pour but de s'intéresser aux possibilités qu'offrent les interfaces virtuelles dans les prises de vue réelle que de dresser une liste exhaustive de toutes les productions virtuelles existantes. Ainsi, nous nous limitons aux deux catégories suivantes.

- ***Les techniques de production virtuelle appliquées à des tournages en prise de vue réelle***

Certains tournages en prise de vue réelle nécessitent l'intégration d'éléments graphiques supplémentaires. Le compositing, c'est-à-dire la superposition des différentes couches d'images (réelles et virtuelles) se fait généralement à l'issue du tournage. Mais dans certains cas, la nécessité de visualiser cette superposition devient essentielle au moment même du tournage. C'est par exemple le cas des tournages recourant au fond vert ou bleu, où la prévisualisation *on set* est importante dans la construction des plans. L'association du *tracking* en temps réel de la caméra, du calcul en temps réel des éléments graphiques à intégrer à l'image, et du *compositing* en temps réel permet au réalisateur de visualiser une image composite beaucoup plus proche de l'image finale. Cela permet également à l'équipe technique de mieux se rendre compte des éventuels problèmes de raccord de cadre et de lumière entre la partie filmée réellement et les parties à incruster, et de pouvoir agir plus rapidement et facilement au moment du tournage pour résoudre ces problèmes.

Comme évoqué plus haut, l'utilisation de la prévisualisation *on set* remonte au début des années 2000, avec le tournage d'*Artificial Intelligence: A.I.* de Steven Spielberg. La prévisualisation était alors un outil pour se repérer au moment du tournage, mais la qualité insuffisante des images générées par ordinateur ne permettait pas à l'image composite vue sur le plateau d'être l'image finale diffusée. Les choses ont évolué depuis, et l'entrée des moteurs graphiques de jeux vidéo dans les productions cinématographiques a là aussi permis d'améliorer considérablement la qualité de rendu des images.

C'est par exemple le cas des solutions proposées par la société française créée en 2016 par Christian Guillon, *Les Tontons Truqueurs*, qui accompagne les tournages de la série télé *Un si grand soleil* depuis 2018. Les cadences de production imposées par la chaîne forcent l'équipe à reconstruire les décors en studio, mais les créateurs redoutent un effet « carton-pâte », rappelant l'esthétique artificielle des sitcoms. Pour contrer ce problème, la production décide de remplacer les traditionnelles découvertes peintes ou imprimées par un immense fond vert entourant toutes les constructions. En incrustant dans les fenêtres un décor plus modulable et dynamique, les décors gagnent en profondeur et en réalisme. Mais pour pouvoir assurer la fabrication des images dans les délais très serrés imposés, la production doit réduire au maximum les temps de post-production. En améliorant la qualité de rendu des images composites au moment du tournage, les temps nécessaires pour leur fabrication en post-production diminuent. D'après Pierre-Marie Boyé, le directeur de production de la société, dans le cas d'un tiers des prises, la qualité des rendus graphiques et du *compositing* est suffisante pour que l'image composite soit enregistrée telle quelle, et constitue le rush définitif, prêt à être monté¹⁰. Les principaux problèmes rencontrés arrivent au moment du *keying* en temps réel, c'est-à-dire la reconnaissance du fond vert par l'ordinateur dans le but de fabriquer un cache au travers duquel appliquer l'incrustation. Dès qu'un élément de costume ou de décor s'approche trop de cette teinte, ou que la lumière réfléchi par le fond vert se reflète sur une surface, l'ordinateur applique alors automatiquement son processus de détournement et d'incrustation de l'image virtuelle là où l'on souhaiterait garder la partie réelle.

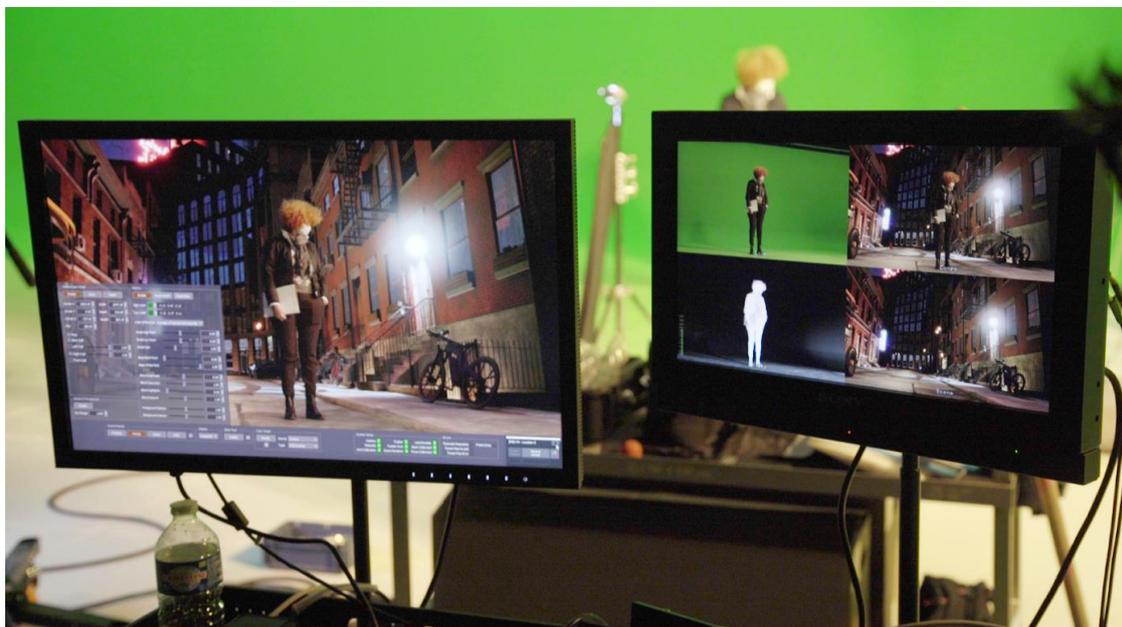


Illustration 2 : Roulante des opérateurs Previz On Set chez Les Tontons Truqueurs. Sur l'écran de gauche, on peut voir l'image composite dont l'intégration est calculée en temps réel. Sur le deuxième écran, de gauche à droite et de haut en bas on observe : l'image sortant de la caméra, l'image composite, la couche alpha après keying et enfin l'image du décor virtuel issue du moteur graphique Unreal Engine. (Photo prise par Yann Bricout)

¹⁰ Propos tenus lors de la table ronde « Etat des lieux des productions virtuelles » organisée par la CST le 21 octobre 2021 à Saint-Ouen.

Les techniques de production virtuelle appliquées à des tournages en prise de vue réelle regroupent donc l'ensemble des solutions pour réaliser le *compositing* des différentes couches d'images en temps réel, directement sur le plateau. La visualisation de l'image composite peut servir de repère à l'équipe de tournage ou bien même être enregistrée directement pour réduire les temps de post-production.

- ***Les productions en plateaux virtuels***

L'emploi du terme « plateau virtuel » par la presse spécialisée se rapporte de nos jours le plus souvent aux studios de cinéma équipés de murs LED. Les murs LED sont utilisés depuis des décennies dans la création scénographique de concerts, l'affichage publicitaire dans les espaces publics, ou même encore dans le décor des plateaux télé. Leur invention n'est donc pas récente, mais leur utilisation au cinéma l'est.

Les murs ne sont pas construits d'un seul bloc. Ils résultent de l'assemblage de plusieurs dalles carrées, le plus souvent mesurant cinquante centimètres de côté. Ces dalles sont reliées à un ou plusieurs processeurs qui permettent de répartir une seule et même image entre plusieurs dalles. Cela donne l'illusion d'avoir un unique grand écran. Il n'y a donc pas de taille ou de disposition standardisée des plateaux LED, car l'agencement des dalles est modulable. On peut donc l'adapter à la taille du studio et aux besoins et moyens des productions. Il est en effet possible de construire un seul ou plusieurs murs plans, ou bien des installations plus complexes comprenant des parties incurvées. Au-delà des murs, il est possible d'utiliser les dalles de LED pour construire des sols, des plafonds, des bandeaux amovibles, etc. Une fois assemblé, le mur LED permet d'afficher directement le décor derrière les comédiens et les éléments réels du plateau ; l'image affichée est enregistrée directement par la caméra.

Un des facteurs ayant conduit à une si longue attente avant l'utilisation des murs LED au cinéma est la capacité à fabriquer des dalles avec des petits pitches. Le pitch désigne la distance séparant le centre de deux pixels côte à côte. Plus le pitch est petit, moins il y a d'espace vide entre les deux pixels. L'intensité lumineuse est également plus faible. A l'inverse, des pitches plus gros permettent une meilleure visibilité de loin, car ils sont plus lumineux. A distance égale d'observation, la résolution d'une dalle sera d'autant plus grande que le pitch est petit.

La fabrication de dalle avec des petits pitches est exponentiellement plus coûteuse que celle avec de gros pitches. Si les pixels sont trop éloignés (grand pitch), alors on ne peut pas filmer directement l'écran sans s'apercevoir des trames de pixels. La démocratisation de la fabrication de dalles avec des petits pitches permet d'envisager l'utilisation des murs LED au cinéma comme d'une « découverte ». Les studios peuvent en effet investir dans cet achat en espérant rentabiliser l'équipement en quelques années. D'autres avancées technologiques ont permis cette émergence et seront détaillées plus loin dans ce mémoire. Le développement de l'utilisation des murs LED ne peut se réduire qu'à des progrès techniques opérés par des industriels : il répond avant tout à des envies de mise en scène en apportant des solutions à des contraintes de production. En 2019, la production de la série de Jon Favreau *The Mandalorian* marque un tournant dans l'utilisation des murs LED.



Illustration 3 : Photographie du tournage de la série *The Mandalorian*, au sein du Volume conçu par ILM. (Photographie officielle communiquée par ILM)

George Lucas souhaite faire une série *Star Wars*, mais il se confronte très vite à des contraintes financières. Il est en effet compliqué de construire un projet de série dans la même logique économique que des longs-métrages à gros budget¹¹. Son chef opérateur et lui avaient conscience de l'importance de l'interaction entre la lumière du décor et les comédiens. Le personnage principal portant tout le temps un casque, il était essentiel de préserver la qualité des reflets sur les surfaces, et donc d'éviter au maximum de tourner devant un fond vert. Lors du tournage de *Rogue One* (2014), le superviseur VFX John Knoll avait déjà proposé à Greg Fraser d'utiliser des murs LED pour améliorer la qualité des reflets sur les armures des personnages. Mais la qualité des écrans à cette époque ne permettait pas de les filmer directement. En 2016, Kathleen Kennedy, la présidente de Lucasfilm, confie la réalisation de *The Mandalorian* à Jon Favreau. Ce dernier a déjà prouvé sa capacité à pousser le développement d'effets visuels lourds au service de sa mise en scène sur *The Jungle Book* (2016). Richard Bluff et Rob Bedrow, respectivement superviseur VFX et directeur d'ILM, présentent à Jon Favreau les essais de tournage avec murs LED réalisés pendant la préparation de *Rogue One*. En quelques années, les écrans LED se sont suffisamment développés pour permettre de les filmer directement sans voir les trames de pixels. Favreau est séduit. ILM, Magnopus, Epic Games, Profile Studios et Lux Machina développent la technologie *Stagecraft* et construisent au sein de leurs studios un immense mur LED circulaire de 23 mètres de diamètre. L'équipe surnomme cette installation « *The Volume* », car avec ses 1326 écrans répartis sur 6 mètres de hauteur et 55 mètres de circonférence, cet écran incurvé couvre un champ de 270°. En plus de cet immense mur LED, un plafond et deux écrans supplémentaires

¹¹ HOLBEN, J. (2020). *The Mandalorian*. *The American Cinematographer*, Volume 101, Issue 2.

de 6 mètres de long et 5 mètres de large sont motorisés dans le studio pour pouvoir être facilement déplaçables et venir renforcer la lumière du décor si besoin.

« L'intérêt premier est de ne pas tourner dans un environnement de fond vert et d'essayer de recréer une lumière qui sera ajoutée plus tard en post-prod – on est réellement en train de tourner le rush final. Cela redonne le contrôle de la photographie au chef opérateur. » Richard Bluff [Traduit depuis l'anglais]¹²

Les premiers épisodes de *The Mandalorian* sortent fin 2019. La diffusion de la série s'accompagne d'une forte promotion de la technologie *Stagecraft*, et les images du *making of* ne tardent pas à faire le tour de la planète. Les premières images de ce type de plateau virtuel sont alors reçues en plein contexte de crise sanitaire. Le confinement crée la parfaite conjoncture pour le développement des plateaux virtuels. D'une part, l'interdiction des déplacements inter et intra-territoriaux pousse les productions à trouver de nouvelles solutions pour pouvoir voyager vers de nouveaux décors tout en restant à l'intérieur de leurs studios. D'autre part, la majorité des tournages sont suspendus et de nombreux techniciens et producteurs ne peuvent plus exercer leurs métiers sur les plateaux. Par conséquent, ils peuvent pleinement se consacrer à des activités de recherche et développement pour expérimenter et proposer de nouvelles solutions de productions virtuelles. Dès l'été 2020, on observe alors l'ouverture des premiers studios de tournage en décor virtuel en France, comme le *Plateau Virtuel*, dirigé par le directeur de la photographie Julien Lascar dans les locaux de Novelty, ou encore le *Neoset*, ouvert par l'ancien chef machiniste Jérémie Tondowski et le réalisateur Alexandre Saudinos.

Ces trois catégories proposées par Kim Libreri ne sont pas strictement hermétiques, bien au contraire. Il est rare qu'une production utilise de la prévisualisation sur l'entièreté de ses plans, ou tourne absolument toutes ces séquences devant un mur LED. On peut trouver différentes techniques employées sur un même film, voire même croisées sur dans même plan. Sur la première saison de *The Mandalorian* par exemple, certains plans avaient un champ trop large pour que les ordinateurs puissent calculer une image assez vaste pour recouvrir la totalité de l'écran. Comme l'image de l'écran ne pouvait plus être calculée en temps réel, le mur LED affichait simplement un grand écran bleu pour permettre l'incrustation du décor en post-production. Toutefois, des bandeaux, c'est-à-dire des écrans plus petits et mobiles, étaient utilisés pour les reflets sur les casques des personnages : ils affichaient donc le décor sans être filmés directement par la caméra. Il est donc essentiel de connaître les avantages et inconvénients de chaque technique afin de pouvoir proposer la solution la plus adaptée pour répondre aux besoins d'un metteur en scène.

¹² Citation originale : "The strong initial value is that you're not shooting in a green-screen world and trying to emulate the light that will be comped in later — you're actually shooting finished product shots. It gives the control of cinematography back to the cinematographer."

Chapitre 2. Les différents types de pelures à intégrer

Avant de se poser les questions du recours à un fond vert ou à un mur LED, il convient de se demander : quelle est la nature de l'image que je veux intégrer ? Deux solutions sont possibles : les pelures peuvent être filmées en prise de vue réelle dans un décor naturel, ou bien être calculées à partir de moteur 3D dans un environnement virtuel. Le rendu final, mais aussi les méthodes de travail et l'économie de tournage varient entre ces deux options : il convient donc de correctement appréhender ces enjeux afin de choisir la solution la plus appropriée à tel ou tel projet. Nous nous intéresserons particulièrement ici aux scènes de voiture, car actuellement, les plateaux virtuels sont particulièrement sollicités pour le tournage de *rouling*¹³.

a. Pelure réelle ou plate 2D

Les pelures en prise de vue réelle reposent sur le même principe que les pelures tournées pour être projetées en *front projection*. Le décor à intégrer en studio est filmé en respectant la position et l'angulation de la caméra telle qu'elle sera placée pour filmer la scène principale. Dans le cas où l'on souhaite se laisser la liberté de choisir les angles de prises de vue en studio, il est possible de réaliser des pelures à 360°. Cela permet au moment du tournage de pouvoir filmer dans n'importe quelle direction du décor à partir d'une position donnée. En effet, lorsque l'on travaille avec des *plates 2D*, un des inconvénients majeurs est le fait de ne pas pouvoir adapter la pelure aux effets de parallaxe.

La parallaxe correspond à la modification de la perception d'un objet lorsque le point d'observation se déplace. Lorsque l'on filme un décor à 360°, la prise de vue se fait à un point précis de l'espace : là où la caméra filmerait la scène si le tournage avait lieu dans le décor naturel. Une fois la pelure affichée sur l'écran LED ou prévisualisée, il est parfois compliqué de déplacer la caméra latéralement sans que l'absence de parallaxe ne trahisse le dispositif. Toutefois, dans de nombreux cas, le problème de parallaxe ne se pose pas vraiment. Lors d'une scène de *rouling* par exemple, le point d'observation est généralement celui depuis l'intérieur de la voiture. Lors de la réalisation des pelures, une voiture *travelling* est équipée de caméras qui filment le paysage défilant autour d'elle. Au moment du tournage en studio, on pourra donc facilement filmer dans n'importe quelle direction depuis l'intérieur de la voiture, car le paysage qui défile autour a également été filmé depuis ce point de vue. De plus, les effets de parallaxe diminuent lorsque la distance de l'objet observé augmente. Il y a donc moins de problèmes à filmer et intégrer des paysages lointains plutôt que des espaces clos en utilisant de plates 2D. Ceci est d'autant plus vrai que le découpage inclut des déplacements de la caméra pendant les prises, en particulier des mouvements latéraux.

¹³ Scène se passant à l'intérieur d'une voiture en mouvement.

- **Dispositifs**

Pour réaliser des pelures à 360°, il est possible d'utiliser une caméra spécialisée dans ce type de prise de vue ou bien de recourir à un rig¹⁴ supportant plusieurs caméras standards filmant chacune simultanément dans une direction. L'avantage de la première solution est sa simplicité d'installation et la rapidité de traitement des images obtenues. Cependant, les caméras 360° ont d'abord été développées pour les services de navigation virtuelle, la sécurité ou encore les casques de réalité virtuelle et non pas pour les productions cinématographiques. Leur dynamique, leur rendu des couleurs et leur définition restent en dessous des capacités des caméras destinées à la prise de vue pour le cinéma. Associer des images issues de caméras 360° et de caméras pour le cinéma peut trahir le dispositif. Face au récent essor des productions virtuelles, les principaux fabricants de caméras 360° tentent de développer leurs solutions pour mieux répondre aux exigences des productions cinématographiques. C'est le cas par exemple de la société Insta360 avec la sortie de leur caméra *Titan* fin 2019. Equipée de huit capteurs micro 4/3 et huit objectifs grands angles, la *Titan* offre une meilleure dynamique, plus de profondeur de couleurs, un système de stabilisation et une plus grande résolution que les autres caméras 360° actuellement disponibles¹⁵.

Pour améliorer la qualité vidéo des plates à 360°, l'autre solution est donc d'utiliser plusieurs caméras de cinéma assemblées sur un même rig. Les images sont tournées avec des objectifs grands angles, voire des *fisheye*, puis assemblées informatiquement afin de ne former plus qu'une seule image couvrant un champ de 360°. Comme les caméras sont de meilleure qualité que les caméras 360°, l'image finale présente moins de défauts et s'intègre mieux avec la scène réelle. En revanche, le dispositif est plus lourd à mettre en œuvre, demande plus de précision au moment de la prise de vue et de temps de traitement informatique avant de pouvoir utiliser la plate en plateau. En effet, après le tournage, deux étapes sont nécessaires pour pouvoir utiliser ces images. Tout d'abord « le dépliage » consiste à corriger les défauts optiques de distorsion en barillet liés à l'utilisation de très courtes focales. Vient ensuite l'assemblage des images les unes avec les autres, aussi appelé *stitching*. Ces deux étapes nécessitent l'intervention de techniciens spécialisés maîtrisant les logiciels dédiés.

La société NeoSet, fondée en 2020 par Jérémie Tondowski et Alexandre Saudinos, est une entreprise française spécialisée dans la production virtuelle. Contrairement à un studio, NeoSet ne possède pas de plateau ni de matériel de tournage : la société se positionne comme un intermédiaire entre les différents prestataires de service pouvant répondre aux besoins des productions virtuelles. Elle conseille et accompagne les équipes de tournage dans leurs projets et propose notamment comme service la réalisation de plates 2D. Pour cela, la société utilisait à ses débuts un rig supportant 6 caméras RED Komodos, chacune équipée d'un objectif grand angle. Le fait d'avoir six flux vidéo à assembler pour chaque caméra rendait l'étape du *stitching*

¹⁴ Support de caméra modulab

¹⁵ Selon l'étude comparative menée par la rédaction de *360° natives, le média de la réalité virtuelle*.

lourde et complexe¹⁶. Cette configuration a donc été rapidement remplacée par un rig à deux caméras. Concrètement, deux caméras RED Heliums sont placées dos à dos et filment à travers des objectifs fisheye de la marque Entaniya, couvrant chacun 220°. Comme chaque caméra peut enregistrer une image d'une résolution de 8K, les déformations liées à l'utilisation d'un grand angle peuvent être corrigées et/ou rognées lors du dépliage et du stitching en gardant une résolution finale suffisante pour l'affichage et l'intégration. La société est notamment équipée d'une station *Mistika* qui lui permet de déplier, stitcher et retoucher les vidéos pour livrer des plates directement utilisables en plateau.



Illustration 4 : Equipement de la voiture ayant permis de tourner les pelures d'Une belle Course par la société de location TSF.
(Photo publiée sur le site de TSF)

- **Contraintes techniques et souplesse au tournage**

Que l'on utilise une caméra 360° ou un rig, la fabrication de pelures 2D à 360° nécessite un équipement spécifique pour la prise de vue et des traitements post-tournage. La souplesse que l'on gagne dans le choix des angles à la prise de vue est donc contrebalancée par la lourdeur de la fabrication de la plate. Cette lourdeur pousse certaines productions à externaliser le tournage des plates auprès d'autres sociétés spécialisées plutôt que d'envoyer une équipe B les filmer en parallèle du tournage, comme cela se fait traditionnellement. Il est donc d'autant plus dur de s'assurer de la cohérence artistique des images produites et de faire marche arrière si l'on se rend compte que les images tournées s'intègrent mal avec la scène filmée en studio. C'est d'ailleurs un des seuls regrets que la cheffe opératrice Nathalie Durand garde de son expérience en production virtuelle. Le premier film de Noémie Lefort, *Mon Héroïne*, comprend

¹⁶ D'après le retour d'expérience d'Alexandre Saudinos publié sur le site de l'AFC. REUMONT, F. (2021). Produire en Virtuel. *Contre-Champ AFC*, n°320.

trois scènes à l'intérieur d'un taxi New-Yorkais. Entre la fermeture des frontières liées à la pandémie et le budget limité de la production, il est impossible d'aller tourner ces séquences en décor naturel. La réalisatrice et la cheffe opératrice décident donc de tourner ces scènes de rouling devant des murs LED et s'orientent vers NeoSet pour les accompagner. La société fait donc appel à des prestataires New-Yorkais pour réaliser les plates.

Je pense qu'ils ont tourné avec des appareils photo, ou des RED Komodo, mais ils ne l'ont pas très bien fait. Comme les caméras sont à l'avant et l'arrière du véhicule, ce système marche quand la voiture est à une certaine distance des autres voitures. Il ne faut pas que la caméra qui tourne les plates soit trop proche du véhicule devant ou du véhicule derrière. Il faudrait presque mettre une remorque, parce que sinon, ça ne marche plus du tout pour les perspectives. Ça déforme trop les voitures, elles deviennent énormes. Il y a quelques contraintes à avoir en tête, je pense. L'idéal aurait été de pouvoir faire les plates.¹⁷

Les plates qui avaient été commandées trois semaines avant le tournage sont arrivées trois jours avant. Il n'était donc plus possible de les modifier. Pour s'éviter ce genre de déconvenue et garder une certaine souplesse au tournage, le directeur de la photographie Pierre Cottereau a renoncé à l'usage d'une pelure à 360° au profit de pelures classiques sur le tournage du long-métrage de Christian Carion, *Une belle Course*.

Par un souci d'économie, moi je n'ai pas voulu avoir un écran de 360°, j'ai juste voulu avoir un "L" [deux écrans plats perpendiculaires]. Je n'ai pas voulu avoir, mais je le regrette un peu, des pelures à 360°. J'ai voulu avoir des pelures comme on fait classiquement : pelures de face, pelures de côté, pelures de dos. Si tu ne fais pas ça, tu te retrouves à faire une opération d'effet spéciale avant la préparation du film. C'est-à-dire établir un planning, engager des coûts de fabrication, des incompréhensions, des allers-retours avec des sociétés de prestataires de service qui font très bien leur service, mais qui ne sont pas dans les mêmes questionnements que toi. Si à un moment, quelques jours avant le tournage, tu te rends compte que la pelure ne te plaît pas et tu veux en refaire une à l'arrache, ce n'est pas possible. Parce qu'il faut que tu envoies tes images aux effets spéciaux pour qu'ils la stitchent, que ça revienne, que tu vérifies : ça devient aussi lourd que des effets spéciaux en post-production. [...] C'est un process dans lequel je suis hyper eseuilé. Ce sont des problèmes que je ne peux ni partager avec la production, ni avec les réalisateurs. C'est juste une contrainte technique que je ne trouve pas intéressante dans le cinéma français parce que les réalisateurs et les producteurs français ne s'intéressent pas à cette technique.¹⁸

- **Esthétique du chaos**

Le fait de filmer le réel rend dépendant des conditions météorologiques et des aléas pouvant survenir à n'importe quel moment des prises. Ce manque de maîtrise peut être vu comme une contrainte, mais les défauts qui surgissent forment une sorte de chaos qui permet de croire au réel. Le recours à de plates 2D permet de s'affranchir de toutes les questions de photoréalisme que l'on retrouve avec la 3D, car ce sont par essence des photographies de la

¹⁷ Propos recueillis lors d'un entretien avec Nathalie Durand le 30 mars 2022. (Voir l'intégralité en annexe)

¹⁸ Propos recueillis lors d'un entretien avec Pierre Cottereau le 25 mars 2022. (Voir l'intégralité en annexe 1)

vie réelle. Comme l'explique le superviseur VFX Eran Dinur dans son livre dédié à la notion de photoréalisme¹⁹, la nature est chaotique et présente une infinité de variations. Il n'y a pas deux feuilles qui se ressemblent exactement, il n'y a pas deux rochers identiques, chaque arbre est unique et chaque nuage a une forme différente. Les surfaces sont tordues, cassées, boueuses, couvertes de mousse, de terre, tachées d'humidité ou de pourriture. Il insiste sur le fait que même les objets fabriqués par l'homme qui semblent plus ordonnés avec leurs angles parfaits, leurs surfaces polies et leurs couleurs uniformes ne sont pas parfaits : le temps, la poussière, la gravité, l'interaction humaine et toute une multitude de facteurs « permettent au moins au chaos de la nature d'envahir nos créations. »

Les images générées par ordinateurs naissent de calculs et donc de mathématiques pures ; elles sont donc intrinsèquement parfaites. « Le photoréalisme nécessite donc une bataille contre l'impeccabilité par défaut des images générées par ordinateur. » Même si le développement des moteurs graphiques et des techniques de modélisation a toujours tendu vers l'amélioration de la reproduction de ces défauts, filmer le réel reste le meilleur moyen de s'en saisir. Cette nécessité de faire entrer le chaos dans l'environnement des personnages fait partie des raisons qui ont poussé l'équipe de Christian Carion à se tourner vers des pelures 2D.

L'interaction qu'on a choisi sur *Une belle Course*, c'est une interaction de bordel. C'est une interaction d'anarchie. Ce sont des gens qui sont dans leur salon - la voiture - et qui sont protégés d'un monde autour d'eux qui est chaotique. Moi j'avais besoin pour que ce soit chaotique de filmer une pelure qui soit chaotique, de la vraie vie. Et profiter de ce chaos. La 3D, c'est un outil génial pour faire de la composition, pas pour faire du chaos. Parce que le chaos, c'est la vie.²⁰

b. Pelure virtuelle ou plate 3D

Comme nous l'avons vu dans la partie retraçant l'historique des productions virtuelles, l'intégration d'images de synthèse dans des prises de vue réelle a pris énormément d'ampleur dans les années 90. L'intégration se faisait à l'époque en post-production car les capacités des moteurs graphiques n'étaient pas suffisantes pour afficher les images en temps réel. Les jeux vidéo et leurs besoins croissants en photoréalisme ont permis le développement de ces moteurs et ainsi contribué à l'utilisation d'images 3D en temps réel sur des plateaux de tournage. Concrètement, une caméra virtuelle est placée dans un décor 3D. Sa position, mais aussi son angulation, sa focale et sa distance de mise au point sont calculées grâce aux informations récupérées de la caméra réelle du plateau. En même temps que le cadreur opère un mouvement, l'image du décor est recalculée et affichée en temps réel pour respecter les effets de parallaxe.

¹⁹ DINUR, E. (2021) *The Complete Guide to Photorealism for Visual Effects, Visualization and Games*. Routledge.

²⁰ Extrait de l'entretien avec Pierre Cottureau. (Voir annexe)

- **Dispositif**

De la même manière qu'il existe des banques de photos et de vidéos dont il est possible de racheter les droits d'utilisation, de nombreux sites permettent de télécharger des décors 3D déjà construits. Que l'acquisition de ces décors « stock-shot » soit gratuite ou payante, elle représente dans tous les cas un gain de temps et d'argent considérable en comparaison à un décor construit sur mesure par une équipe de graphistes. Il faut néanmoins se méfier : beaucoup de ces décors sont destinés à de la post-production, de l'animation ou encore de la prévisualisation architecturale... Ils n'ont donc pas été conçus pour être calculés en temps réel et nécessitent d'être optimisés par des graphistes pour pouvoir être utilisés en production virtuelle.

Comme on ferait construire un décor en studio par une équipe de décoration, il est possible de créer l'environnement 3D sur mesure. Une équipe de graphistes, comme sur un film d'animation ou un film à effets spéciaux, se charge alors de sa conception. Selon l'ampleur du projet, des délais de fabrication ou de la société à laquelle on fait appel, les tâches suivantes sont plus ou moins réparties entre des graphistes spécialisés : *modeling* (création des volumes), *UV mapping* (application des textures sur les volumes), *shading* (définition de la réaction de chaque surface à la lumière), *texture painting* (ajout de détails sur les textures), animation des personnages, des voitures et des tous les éléments en mouvement, gestion des phénomènes atmosphériques et de fluides²¹... Une fois le décor créé, une phase d'optimisation est nécessaire pour simplifier la scène, afin de limiter les temps de calcul du moteur et de pouvoir afficher le décor en temps réel. Il est essentiel de tester son décor en amont du tournage pour ne pas avoir de déconvenue au moment des premières prises.

Sur le plateau, une interface permet de faire le lien entre les informations de position de la caméra réelle qui est trackée (voir la partie 1.3.b. *Méthodes de tracking*) et de reproduire son emplacement et ses mouvements à travers une caméra virtuelle qui filme l'environnement 3D. La focale et la distance de mise au point sont également transmises afin d'avoir une parfaite correspondance entre réel et virtuel. Dans le cadre d'un système de prévisualisation devant un fond vert, l'interface réalise également le keying et le compositing.

- **Contraintes techniques et souplesse au tournage**

Il est possible d'incruster l'univers virtuel au-delà de la surface d'écran LED ou du fond vert. Par exemple, si l'on souhaite faire un tilt du bas vers le haut et que notre cadre de fin va au-delà du mur, le décor virtuel sera quand même calculé et affiché au-delà du mur dans l'image composite.

²¹ LELIÈVRE, P. (2012). *Définition du rôle de TD, Technical Director au sein des studios de fabrications d'images numériques* [mémoire de master, Ecole Nationale Supérieure Louis-Lumière, Saint-Denis, France].



Illustration 5 : Ici, le plan à tourner était un tilt up qui partait de la comédienne qui récupérait son vélo pour finir en haut du plus haut gratte-ciel de la rue. A la fin du plan, le champ de la caméra dépassait les limites du fond vert et cadrait le plafond du studio. Pourtant, en délimitant les zones de keying à l'avance, le moteur graphique parvient à assurer la continuité du prolongement de décor en temps réel. (Images prises aux studios Des Tontons Truqueurs)

L'environnement 3D est entièrement contrôlable. En bougeant un simple curseur, on contrôle la course du soleil, la quantité de nuages, de brouillard, la taille des étoiles, l'intensité de la lune... On retrouve donc un plein contrôle des conditions météorologiques, au même titre que tous les éléments qui composent notre univers 3D. Cela offre la possibilité de travailler dans le détail la composition des cadres en modifiant la forme, la couleur ou la taille de n'importe quel objet de mon décor virtuel en quelques clics. D'un plan large à un plan plus serré, on peut facilement rapprocher des éléments de l'arrière-plan, élargir la taille d'un meuble pour lui redonner de la présence et harmoniser la composition des cadres. Si l'on se rend compte que la teinte des murs ne forme pas une belle palette avec les couleurs qui composent les costumes du comédien, on peut essayer d'autres nuances et les repeindre instantanément. Ainsi, Pierre Cottureau explique que, si le réel reste l'outil idéal pour recréer du chaos, le virtuel est un puissant outil de composition :

Il suffit d'avoir regardé un peu de peinture pour voir que pour dynamiser un plan moyen, il faut créer des lignes de composition. Un tableau là, un autre luminaire ici, créer une diagonale,

réfléchir comment poser un drap... Tu vas créer un avant-plan pour recréer une profondeur. Déplacer un élément pour créer du hors champ. Derrière, je mets les éléments signifiants du décor. Et d'un coup les interactions se créent. Au final, ce qui compte, c'est le rapport de l'inscription d'un personnage dans un volume en 3D pour que le second plan fonctionne et dialogue de manière organique et dynamique avec les autres plans. Parce que le cinéma, c'est du mouvement et ça ne peut que se nourrir d'autres dynamiques. Le fond vert, c'est comme ça qu'il faut l'organiser. Il faut les penser comme un espace de composition du plan. [...] Quand Fincher va enlever un volume, c'est pour mettre un triangle à la place du carré, pour faire que ce triangle t'amène à l'information qu'il ait envie que tu regardes.²²

Toutefois, cette liberté totale de composition et d'ajustement au moment du tournage est à prendre avec du recul. Plus les environnements 3D sont préparés et validés dans leur version définitive à l'avance, plus les calculs de rendus pourront être poussés à leur maximum et le rendu photoréaliste. Nous détaillerons particulièrement cet aspect dans la partie consacrée à la collaboration avec le *lighting artist* (voir chapitre III.a.).

c. Scan 3D et photogrammétrie

Il existe une solution hybride qui reprend certains avantages des deux premières solutions présentées ci-dessus. En effet, il est possible de réaliser une série de photographies d'un espace et d'en recréer, à partir de ces images, une modélisation 3D. La photogrammétrie regroupe les techniques permettant de déterminer les dimensions et les volumes des objets grâce aux mesures effectuées sur des photographies montrant les perspectives de ces objets. A partir de ces mesures, il est possible de reconstituer automatiquement une modélisation 3D de l'espace photographié.

Le scan 3D repose sur le même principe, il mesure la distance de milliers de points tout autour de lui et à différentes positions afin de déduire chaque mesure de l'espace scanné. Dans les deux cas, le décor modélisé en 3D nécessite des opérations de simplification et de retouches par les équipes de graphistes avant de pouvoir fournir un rendu satisfaisant en temps réel. Une fois modélisé, il est possible de modifier le décor obtenu par scan ou photogrammétrie et d'y ajouter des éléments virtuels comme n'importe quelle pelure 3D. On profite ainsi de l'aspect photoréaliste des prises de vue réelle, mais également de la souplesse du travail en 3D et des possibilités de mouvement sans problème de parallaxe.

Lors de la préparation de *The Mandalorian*, les décors ont été modélisés dans un premier temps par une équipe de graphistes sur le logiciel Maya. Dès que cela a été possible, une équipe a été envoyée en Tunisie, en Bolivie et en Islande afin de réaliser un scan 3D des décors. Comme l'explique leur superviseur FX Richard Bluff, la production « a très vite réalisé

²²Extrait de l'entretien avec Pierre Cottureau. (Intégralité en annexe 1.)

que la meilleure manière d'obtenir un décor photoréaliste à l'écran était de le photographier ». ²³

Pour améliorer la qualité des scans 3D et photogrammétrie, il vaut mieux réaliser les prises de vue par temps gris. Un soleil écrasant risquerait de créer des ombres trop dures, ce qui compliquerait les opérations de rééclairage dans l'univers 3D. Des logiciels permettent néanmoins d'effacer les ombres marquées, comme *Agisoft De-Lighter*, mais cela rajoute des opérations supplémentaires dans le traitement des pelures. S'il s'agit d'un décor extérieur récurrent, il est important de réaliser les prises de vue à différents moments de la journée. Il est vraiment important de réaliser ces images en positionnant le support de la caméra au niveau du point nodal de l'objectif afin d'éliminer tout problème éventuel de parallaxe.

Le scan 3D et la photogrammétrie permettent rapidement d'obtenir une modélisation d'un espace, et donc de réduire les coûts et les temps de fabrication par les graphistes. C'est une solution particulièrement astucieuse si un scénario nécessite de tourner dans un décor précis, mais dont il est compliqué d'obtenir une autorisation de tournage (musée, prison, lieu historique) ou trop coûteux d'y faire déplacer toute l'équipe (paysages à l'autre bout du monde).

Le choix de tourner devant des pelures 2D ou 3D est indépendant du choix de tourner devant un fond vert ou un écran LED. Encore une fois, il convient de réfléchir à la solution la plus adaptée au projet en fonction des moyens de la production et des enjeux artistiques du projet.

²³ Traduit depuis l'anglais. Citation originale : "We realized pretty early on that the best way to get photo-real content on the screen was to photograph something." D'après l'article suivant : HOLBEN J. (Janvier 2010). "Conquering New Worlds". *American Cinematographer*, n°91.

Chapitre 3. Dispositif technique des productions virtuelles : comprendre le fonctionnement pour dépasser les contraintes

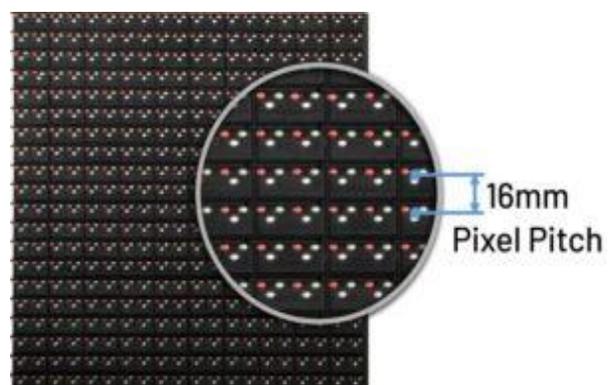
Comme nous l'avons évoqué plus haut, l'émergence des productions virtuelles a été possible grâce au croisement nouveau de technologies déjà existantes. L'utilisation simultanée d'écrans LED, de moteurs de jeux vidéo et de système de tracking entraîne de nouveaux enjeux techniques, car aucun de ces outils n'a été pensé à l'origine pour des prises de vue au cinéma. En tant que chef opérateur, il convient donc de comprendre les principes de fonctionnement de ces éléments afin de se libérer des contraintes qu'ils pourraient nous amener au moment du tournage.

Dans cette sous-partie peut-être plus que dans d'autres, il est important de garder à l'esprit que les technologies décrites sont actuellement en plein développement. Les problèmes et contraintes énumérés ci-dessous connaîtront certainement des améliorations dans les années suivant la publication de ce mémoire.

a. Filmer des écrans : pitch, fréquence et moirage

Bien avant l'apparition des murs LED et de leur utilisation au cinéma, filmer des écrans a toujours posé des contraintes à la prise de vue. Les problèmes de fréquence de rafraîchissement et de moirage des pixels sont fréquemment rencontrés par les équipes image dès qu'un réalisateur souhaite tourner un plan incluant une télévision, un portable ou encore un ordinateur. La différence est que dans le cadre d'une production sur un plateau virtuel, nous cherchons à effacer tout ce qui pourrait donner l'impression que nous filmons un écran : l'exigence quant à la résolution de ces problèmes est donc maximale pour ne pas trahir le dispositif.

Pour rappel, le pitch désigne la distance séparant le centre de deux pixels côte à côte. Pour une surface d'affichage donnée, la résolution de l'écran sera donc d'autant plus grande que le pitch sera petit. Les écrans d'évènementiel sont conçus pour être vus de loin, ils ont donc en moyenne des pitches assez grands. Leurs trames de pixels risquent donc d'être visibles en les filmant en studio, et leur pouvoir de résolution d'être insuffisant pour retranscrire des détails fins de l'image.



*Illustration 6 : Détail d'une dalle ayant un pitch de 16mm.
(Schéma issu de la documentation de la société IPOVIEW,
solutions digitales)*

Des gens travaillent pour tenter d'augmenter le photoréalisme, sachant que ce qu'on regarde sur un mur de Leds, à moins qu'on utilise de très grands angles, et qu'on utilise la totalité du mur, ce n'est pas très défini. Contrairement au fond vert, avec lequel on peut avoir des images très denses là où on en a besoin, le mur de Leds, lui, prend six mètres de base pour faire 4K, ça dépend du pitch des Leds. Si on fait un close up sur un paysage avec un élément de décor sur l'écran en arrière-plan avec un 50mm, à 30°, on aura à peine 1K de résolution sur nos éléments d'arrière-plan, ce qui est une vraie contrainte. [...] Concernant les personnages, sur le mur, on n'aura pas de resolving power pour voir les yeux de quelqu'un. Inconsciemment, la première chose qu'on fait, c'est qu'on regarde les yeux des personnages et s'ils ne sont pas nets, on se dit que l'image n'est pas nette.²⁴

Le problème est que plus le pitch est petit, plus la dalle coûte cher à fabriquer et plus elle sera fragile et difficilement réparable. Son intensité lumineuse maximale sera donc réduite. *« Il faut bien réfléchir au rapport qualité/prix, et la course au pitch le plus fin, à la dalle la plus moderne, n'est pas forcément justifiée. C'est un peu, selon moi, comme la course à la définition dans les caméras. On sait très bien que des images issues d'une Alexa en 3,2K sont largement suffisantes et constitue la majorité des images tournées au cinéma. »*²⁵

Pour donner un ordre de grandeur, les pitches des dalles fabriquées par les constructeurs de murs LED varient entre 20 et 1mm. Sur la série *The Mandalorian*, le pitch des dalles sur les murs était de 2,8mm. Le plafond, plus éloigné, moins cadré et qui devait fournir un plus d'intensité lumineuse était fait avec des dalles au pitch 3,9mm. Ce sont aujourd'hui les valeurs de pitch les plus communément utilisées sur les plateaux virtuels, car offrant le meilleur rapport prix/résolution.

Il est important de réfléchir en amont au rapport de taille entre l'écran qui affiche le décor et mon personnage. Si j'ai besoin d'un immense décor autour de lui, alors je peux me permettre d'avoir un plus gros pitch, car ma caméra sera plus loin de l'écran. De plus avoir un très grand mur avec un très petit pitch serait contreproductif, car la résolution de l'écran risquerait d'être supérieure à celle de l'image à afficher, et demanderait énormément de ressources aux processeurs. En revanche, si je souhaite faire des plans plutôt serrés et avoir du détail dans mes fonds, le recours à des dalles avec un plus petit pitch sera plus adapté. Toutefois, en faisant un plan serré, j'aurai moins de profondeur de champ, donc l'écran sera plus flouté et les problèmes de visibilité des trames disparaîtront. Il faut donc connaître son découpage pour pouvoir déterminer optiquement ses besoins en quantité et qualité de dalles LED.

Pour réduire ses coûts, la série télé Balthazar a opté pour un des écrans avec un pitch de 3,9mm : cela n'a pas posé de problèmes dans le rendu final des images. A l'inverse, des tests

²⁴ Propos de Danys Bruyère, directeur des technologies chez TSF. DE MARI, A. (2021). *L'essor des studios virtuels : un an après, bilan d'une industrie en plein boom*. Mediakwest, n°43, pp 64-74.

²⁵ Propos de Jérémie Tondowski dans l'article de François Reumont, op.cit.

réalisés sur des écrans avec des pitches plus petits (1,8 et 0,9mm) n'ont pas été concluants : trop cher, trop fragile et des effets de moirés apparaissent et viennent parasiter l'image.²⁶

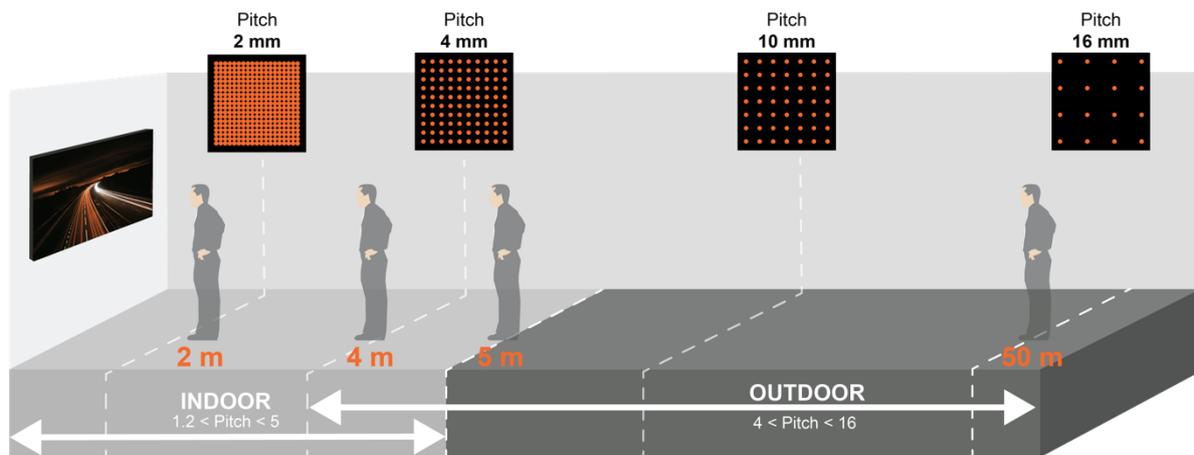


Illustration 7 : Représentation de la distance minimale d'observation en fonction du pitch de l'écran. (Schéma issu de la documentation de la société IPOVIEW, solutions digitales)

Le moiré est encore aujourd'hui un des enjeux techniques majeurs des tournages en plateau virtuel. Ce phénomène est lié à la superposition de deux trames : celle des pixels du mur LED et celle de la matrice des photosites du capteur de la caméra. Il en résulte des sortes d'artefacts qui ondulent dans certaines zones de l'image. De nombreux paramètres influent sur l'apparition du moiré : le pitch de l'écran, la résolution du capteur, le choix de la focale, la distance entre la caméra à l'écran, la rotation et l'angulation de la caméra et la disposition des écrans. Même s'il est théoriquement possible de calculer à l'avance la présence ou non de moiré, la multiplicité des facteurs que nous venons de lister rend le moirage difficilement prédictible.

En préparation, il est souhaitable de prendre le temps d'observer si du moiré apparaît en déplaçant la caméra dans l'espace et en passant par toutes les angulations possibles, même les plus extrêmes. Ainsi, on pourra définir des zones et/ou des axes à proscrire au moment de la prise de vue et éventuellement anticiper quelques modifications du découpage. Le plus simple reste de jouer avec la profondeur de champ en créant et en laissant toujours l'arrière-plan dans un léger flou. Là encore, le choix de caméras avec de grands capteurs, de focales longues et/ou anamorphiques et de diaphragmes ouverts peuvent aider à réduire la profondeur de champ et donc éliminer les problèmes de moiré.

Au-delà des trames de pixels, filmer un écran comporte un autre enjeu : celui de sa fréquence de rafraîchissement. Un écran affiche une suite d'images à une certaine fréquence,

²⁶ D'après le retour d'expérience d'Alexandre Saudinos partagé lors de la table ronde de la CST « Etat des lieux des productions virtuelles ».

et un capteur enregistre une suite d'images à une certaine fréquence. Au-delà du fait d'afficher et d'enregistrer ces images à la même fréquence et d'adapter son *shutter* en fonction, il est indispensable d'aligner ces fréquences. Si je tourne en 25 images par seconde, il ne suffit pas que mon écran affiche également 25 images par seconde : il faut que chaque image apparaisse sur l'écran au moment où le capteur commence à recevoir l'information lumineuse. Cette opération de synchronisation de tous les appareils vidéo est appelée *genlock*. Si les fréquences ne sont pas alignées, on risque de voir apparaître des images fantômes ou un effet de papillotement. *Brompton Technology*, une société fabricant des processeurs pour murs LED, a développé un système permettant d'ajuster avec une très grande précision la fréquence de rafraîchissement des murs et de la synchroniser avec celle du capteur de la caméra. Cet alignement se fait à travers l'interface de leur logiciel *Tessera*, qui reste aujourd'hui l'un des principaux outils pour paramétrer l'affichage des plateaux virtuels. Le réglage est généralement réalisé par le prestataire de service ou le responsable technique du plateau sur lequel on tourne, mais il est important en tant qu'assistant caméra de rester vigilant et de surveiller tout problème de papillotement.

b. Méthodes de tracking

Le tracking entre en jeu principalement dans les tournages avec des pelures 3D. Il consiste à détecter les mouvements de la caméra sur le plateau, à enregistrer ces informations et à les retransmettre à la caméra 3D du moteur graphique. Grâce à ces informations, les effets de parallaxes liés aux mouvements de la caméra réelle peuvent être reproduits dans l'environnement 3D. Dans le cadre d'un tournage devant un mur LED, ces informations sont utilisées en temps réel, mais devant un fond vert, il est possible de récupérer ces informations pour les utiliser ultérieurement, et faciliter le travail de la post-production. En moyenne, les informations de position et de rotation de la caméra sont envoyées entre 100 et 120 fois par secondes.²⁷

Il existe différentes technologies de tracking qui varient énormément en fiabilité et en prix. Le choix de telle ou telle technologie appartient aux studios qui les proposent et accueillent les tournages plutôt qu'aux producteurs ou aux opérateurs. Il est cependant intéressant de comprendre leur fonctionnement afin d'anticiper les contraintes que celles-ci peuvent apporter au moment de la prise de vue, aussi bien au niveau du découpage que de l'éclairage du plateau. On distingue trois types de système de tracking :

- **Tracking motorisé**

Le contrôle du mouvement, aussi appelé *motion control* regroupe les systèmes de prise de vue (grues motorisées, bras articulés, robots, etc.) qui permettent un contrôle informatisé des mouvements de la caméra. Les mouvements peuvent ainsi être répétés, modifiés et ajustés

²⁷ D'après le retour d'expérience d'Alexandre Saudinos partagé lors de la table ronde de la CST « Etat des lieux des productions virtuelles ».

avec une grande précision. Les informations de position et d'orientation de la caméra sont donc traitées directement par l'engin qui assure son mouvement, et elles peuvent être récupérées et transmises pour guider la caméra virtuelle de l'environnement 3D.

Cette solution est d'une grande fiabilité, car elle permet de réduire au maximum la latence du traitement des informations. Elle est assez lourde à mettre en œuvre, très coûteuse, et ne permet pas de réaliser des prises de vue à l'épaule ou au steadycam.

- **Tracking *Outside-In* (tracking optique)**

Des caméras sont positionnées en hauteur tout autour du plateau afin de tracker les mouvements d'une cible placée sur la caméra principale. En recoupant les informations obtenues, par triangulation, le système arrive à déduire la position de la caméra qui est ensuite transmise au moteur 3D. C'est le système le plus classique de tracking, on l'utilise notamment beaucoup en motion capture.

Cette solution est plus économique que les autres. Des systèmes comme *OptiTrack*, utilisé notamment sur *The Mandalorian*, restent assez majoritaires dans les choix d'équipement des plateaux virtuels. Elle est un peu moins précise et impose plus de latence que les deux autres solutions. Elle est idéale si le plateau est assez dégagé, mais peut vite perdre en performances si la cible de la caméra est cachée à cause de murs ou autres obstacles du décor.

- **Tracking *Inside-Out***

Au lieu de placer plusieurs trackers dans le studio pour viser une cible sur la caméra, un tracker est placé sur la caméra pour viser des cibles placées au plafond du studio. Le tracker est fixé sur la caméra et souvent doté d'un gyroscope qui permet d'estimer avec une plus grande précision ses mouvements d'inclinaison et de rotation. Si le décor comporte un plafond qui masque celui du studio, il faut faire installer les cibles sur le plafond du décor. Il convient donc de s'arranger avec l'équipe en charge de la décoration pour trouver une solution afin de pouvoir cadrer le plafond sans filmer les cibles. Dans les décors de la série *Un si grand Soleil*, l'installation de poutres au plafond permet par des jeux de perspective de masquer les cibles. Si l'on souhaite tourner une scène de rouding, le toit de l'habitable peut empêcher la détection des mires et donc perturber le tracking.

Les cibles peuvent parfois ressembler à des mires avec un QR codes. La tracker, après calibration, repère son emplacement grâce à une carte des mires dispersées sur le plateau. Ce système, plus économique, pose une contrainte de lumière. Les mires doivent être assez éclairées pour pouvoir être détectées par le tracker. Lors de séquences en basse lumière, il faut donc parfois rééclairer les mires pour que le tracking fonctionne, mais cela peut créer des lumières parasites à la scène. L'utilisation de pastilles réfléchissantes et d'un tracker à émission d'infrarouge permet de dépasser ce problème. Il est en revanche plus dur à calibrer.

Les informations issues du tracker fixées sur le dessus de la caméra sont transmises par des câbles à la station où se situent les moteurs graphiques. Des systèmes sans fil existent, mais

ils sont plus volumineux et lourds, et donc moins adaptés aux prises de vue à l'épaule ou au steadycam.



Illustration 8 : Système de dissimulation des mires de tracking dans le plafond du décor du commissariat de la série quotidienne Un si grand Soleil.

Enfin, il existe des systèmes dit « trackerless » dont les capteurs n'ont pas besoin de cibles pour se repérer dans l'espace. Les caméras trackerless prennent des repères dans l'environnement pour mesurer ses déplacements. Les systèmes trackerless sont très simples d'utilisation, car il n'y a qu'un seul élément à fixer sur la caméra pour que tout fonctionne. Cependant, ce système coûte très cher et reste peu adapté au tournage devant des murs LED. En effet, comme le décor affiché par le mur LED bouge sans arrêt pour respecter les effets de parallaxe, les repères que prend la caméra dans l'espace sont faussés et le tracking dysfonctionne.

c. Temps réel : éviter les latences et optimiser la qualité des rendus

Lorsque l'on filme un personnage devant un écran LED, le décor virtuel doit s'afficher simultanément à l'action réelle. Or, trois sources de délais peuvent augmenter les problèmes de latence : le tracking, le temps de calcul des images et le temps de transmission de ces images vers les écrans pour les afficher.

- **Latence du tracking**

Des solutions de prédiction des trajectoires sont en développement. Contrairement au *motion control* qui permet l'enregistrement d'un mouvement pour le reproduire à l'identique sur les prises suivantes, la prédiction des trajectoires repose sur l'analyse par un système informatique des différents mouvements réalisés d'une prise à l'autre. Le logiciel retient et fait la moyenne des trajectoires et vitesse de déplacement de la caméra sur un même plan afin de

précalculer l'image du décor pour la prise suivante. Cette solution, toujours en développement, permet de cadrer en réduisant les temps de latence d'environ une image par seconde. Le recours au motion control permet quant à lui d'éliminer entièrement les problèmes de latence. Comme la trajectoire de la caméra est connue avec précision, le rendu 3D est calculé à l'avance pour pouvoir être affiché en temps réel sur les écrans LED. L'usage des robots permettant le motion control reste cependant assez limité à la publicité, car les machines coûtent très cher et sont très bruyantes ; elles ne permettent pas la prise de son synchrone.

En tournant devant un fond vert, il est possible d'envoyer dans le viseur du cadreur un retour de l'incrustation en temps réel. Ce retour est très utile quand il n'y a pas ou peu d'éléments réels dans le décor et que par conséquent, le manque de repères spatiaux entrave la précision des mouvements du cadre. Cependant, le temps que l'image soit filmée par la caméra, trackée, traitée par la station de keying/compositing puis revienne à la caméra, un délai de 5 images s'écoule généralement. Il est donc nécessaire de s'entraîner à cadrer avec cette latence pour pouvoir effectuer des mouvements rapides et précis sans avoir le mal de mer.

- **Latence des moteurs graphiques**

Nous ne détaillerons pas ici les technologies employées par les moteurs graphiques pour calculer les rendus de la lumière : ce sujet sera traité ultérieurement dans la partie consacrée à la collaboration avec le *lighting artist* (III – 1. B. Méthodes de rendu et lumière indirecte : Global Illumination, Rasterization/Raytracing). Nous pouvons simplement résumer que, plus nous souhaitons une image photoréaliste, plus nous devons calculer en détail le comportement des rayons lumineux. Plus on laisse de temps au moteur graphique pour réaliser ces calculs, meilleur sera le rendu de l'image. Depuis quatre ans, la société Nvidia fabrique à grande échelle des cartes graphiques qui permettent de calculer des images de très grande qualité en temps réel, comme nous l'explique Quentin de Fougeroux, ancien directeur de l'innovation chez Mado XR²⁸ :

Le photoréalisme est un des aspects les plus importants de nos projets en production virtuelle. La première étape consiste à rendre un fond réaliste en temps réel en moins de 40 ms à partir d'une scène 3D. Chaque effet qui permet d'augmenter ce réalisme (Real Time reflections, Ray Traced Occlusion et Global Illumination) accroît le temps de rendu et les cartes RTX A6000 ont permis l'ajout de différents effets en restant en dessous de 40ms de rendu pour un flux 4K à vingt-cinq images par seconde.²⁹

Même si les outils dont nous disposons actuellement permettent un niveau de photoréalisme sans précédent, la complexité des éclairages, des réflexions et des transparences de la scène amène parfois à réduire la qualité de rendu pour pouvoir afficher les images en temps réel. La

²⁸ Start-up parisienne spécialisée dans la production virtuelle.

²⁹ Propos de Quentin de Fougeroux, extrait de l'article : MOLAS, C. (2021). NVIDIA RTX A600 : Performance amplifiée pour la production virtuelle. Mediakwest, n°44, pp 38-39.

préparation en amont de la scène 3D et de son éclairage peut aider à précalculer le rendu de la lumière afin d'avoir un meilleur rendu au moment du tournage.

Dans le cadre d'un tournage devant des murs LED, comme le système de tracking récupère à la fois les données de position et d'angulation de la caméra, mais aussi de sa focale, il est tout à fait possible de calculer les limites du champ de la caméra et ainsi déterminer la surface utile de l'écran. Ainsi, seule la surface filmée par la caméra est rafraîchie et le décor autour ne sera recalculé que lorsqu'il entrera dans le cadre. Cela permet d'économiser beaucoup de ressources de calculs graphiques et d'affichage.

- **Temps réel puis recalcul amélioré : la solution du *Near-Time***

Pour améliorer la qualité des rendus graphiques en augmentant les temps de calcul tout en gardant le contrôle de l'image au moment de la prise de vue, le créateur de la société *Les Tontons Truqueurs*, Christian Guillon, a mis en place un nouveau workflow : le Near Time. Concrètement, au moment du tournage, la previz on set permet au chef opérateur d'ajuster la lumière comme il le souhaite dans l'environnement 3D et d'avoir une idée très précise du rendu des plans. Les modifications de lumière effectuées sont enregistrées, tout comme les informations de tracking de la caméra.

Un recalcul du plan est lancé tout de suite après le tournage à partir des données de tracking et de lighting enregistrées. Comme la scène n'a plus besoin d'être rendue en temps réel, les capacités du moteur graphique peuvent être poussées au maximum pour obtenir la meilleure qualité possible. Il est possible de réaliser une sortie de l'image 3D avec le même LOG³⁰ que la caméra, prête à être étalonnée.

Ce ne sera pas tout-à-fait en temps réel, mais on recalculera les images dans la définition et l'échantillonnage souhaités, 4K, 12 bits, ou même plus si nécessaire. En outre ce recalcul se fera sur une version "gonflée" de la partie virtuelle 3D, plus riche en textures, avec des fonctionnalités comme le ray-tracing qui ne "passent" pas toujours en calcul temps réel pour cause de lourdeur. La postproduction devient alors une sorte de conformation, avec une sortie des plans "tournés-truqués" en léger différé de quelques heures. En termes de délai, c'est un peu comme quand on attendait le développement de la pellicule...³¹

Comme l'intégration est refaite à l'issue de la prise, le Near Time est possible lors d'un tournage en fond vert, mais pas devant un écran LED. Ce workflow hybride permet de profiter au maximum des avantages de la 3D tout en gardant le contrôle de l'image comme dans n'importe quelle production virtuelle.

³⁰ C'est-à-dire le même codage logarithmique des images permettant d'obtenir la même étendue dynamique et ainsi faciliter les opérations d'étalonnage.

³¹ Description du concept du *Near Time* par son inventeur, Christian Guillon. REUMONT, F. (2021). Produire en Virtuel. *Contre-Champ AFC*, n°320.

d. Gestion complexe de la color pipeline

Lors d'un tournage en prise de vue traditionnelle, la question du raccord des couleurs entre ce que voit l'opérateur dans la caméra, le rendu sur les différents moniteurs, leur travail à l'étalonnage et leur cohérence entre les différents supports de diffusion et de projection représente un véritable enjeu technique. Cela a d'ailleurs mené à l'émergence du poste de DIT³² en même temps que l'arrivée du numérique sur les tournages. Ces questionnements se trouvent naturellement multipliés lors de la réalisation d'un film en production virtuelle. Voici un schéma représentant les différentes étapes pour fabriquer une plate 2D, proposé actuellement le prestataire de service Neoset et validé par la charte de qualité établie par Netflix³³ :

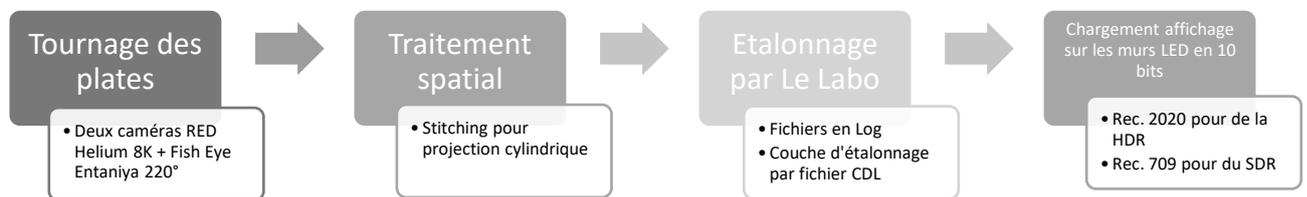


Illustration 9 : Schéma synthétisant la color pipeline proposée par Neoset.

Les étapes de traitement de l'image sont multipliées, et donc les différentes interprétations des couleurs à chaque étape s'additionnent. Prenons l'exemple d'une prairie que l'on souhaiterait filmer pour l'afficher sur un écran LED. Le vert de l'herbe serait une première fois interprété par la caméra. L'opération de stitching entraîne l'import et l'export de cette image dans un logiciel, ce qui peut entraîner (avec un mauvais paramétrage des espaces couleurs du logiciel) une nouvelle dérive du vert. Ce vert est ensuite retravaillé dans un logiciel d'étalonnage, avant d'être affiché sur un écran avec une profondeur d'encodage et un espace couleur qui peuvent là encore différer de sa prise de vue. L'écran est ensuite filmé de nouveau par une caméra, qui va imposer une seconde fois son traitement de la couleur. En tournant devant un écran virtuel, ce sont donc quatre nouvelles étapes qui ajoutent des sources possibles de variation de la couleur. Nous venons ici de prendre l'exemple d'une plate 2D, mais les mêmes questionnements se posent avec un décor 3D où le paramétrage des espaces de couleur de sortie reste complexe. Il n'existe pas de workflow idéal et imposé : les sources d'erreurs dépendent de trop de facteurs sur lesquels nous n'avons pas toujours la main (interprétation de la caméra, traitement des logiciels, qualité de restitution des couleurs des dalles...). La meilleure manière de s'assurer du rendu de l'image finale reste de tester empiriquement tout le workflow en préparation pour s'assurer de la bonne intégration entre

³² "Digital Imaging Technician", personne chargée sur un tournage du workflow des images numériques.

³³ D'après les propos de Jérémie Tondowski recueilli par François Reumont, *op. cit.*

réel et virtuel, comme Pierre Cottureau le décrit en résumant les différentes interrogations qui lui sont venues lors des essais d'*Une belle Course* :

La question que je me posais c'était : qu'est-ce qu'on projette ? Est-ce que je projette une image en Rec709 ? Une image en LogC ? Tu sais que quand tu filmes avec une caméra, c'est comme si tu mettais une paire de lunettes de soleil. Ta caméra enregistre le réel d'une certaine manière, avec un premier filtre. Mais ce que je vais projeter a déjà ce premier filtre, car il a déjà été filmé avec une caméra. Donc est-ce que ce n'est pas comme porter deux paires de lunettes de soleil. Est-ce que la couleur sur l'écran doit être proche de ce que je veux à la fin ? A quel moment je vais amplifier un défaut ? Si je filme quelque chose avec une caméra qui la rend trop orange, si je refilme cette image avec la même caméra, elle va avoir le double d'orange. J'ai fait plein d'essais, et projeter une image en Rec709 faite avec la caméra avec laquelle tu comptes filmer, c'est très transparent. Mais je suis passé par plein de chemins, par des versions en T-Log, des versions plus contrastes...³⁴

- **Choix de la caméra pour le tournage des *plates***

Lorsque l'on prépare un tournage en production virtuelle, une question peut légitimement se poser : « faut-il tourner ses plates avec la caméra que l'on compte utiliser au tournage ? » Comme nous l'avons vu dans la partie consacrée à la fabrication des plates 2D, les rigs destinés à la prise de vue 360° sont généralement équipés de caméras RED Helium afin d'enregistrer des images 8K. Même si ces images sont destinées à être affichées en 4k sur les murs LED, la haute résolution des caméras RED permet d'effectuer les opérations de stitching en conservant une résolution finale suffisante pour être affichée sur les murs. Le choix de la caméra pour les pelures s'impose donc parfois pour des questions de résolution alors que nous souhaitons tourner le film avec une autre caméra. Nathalie Durand explique que même si les images des rues new-yorkaises ont été filmées avec une RED, l'utilisation d'une ARRI Alexa Mini au moment du tournage n'a pas posé de problème de raccord colorimétrique entre la scène réelle et l'écran virtuel (moyennant tout de même un étalonnage des plates en amont)³⁵. Il faut garder à l'esprit que, actuellement, comme il n'est pas possible de faire le point sur des écrans LED, le décor affiché par le mur virtuel peut se permettre quelques imperfections qui ne seront pas visibles, car noyées dans la profondeur de champ.

Sur un projet tourné principalement en plateau virtuel comme *Une belle Course*, les enjeux de cohérence des couleurs étaient plus importants. En effet, chaque caméra a une interprétation différente du spectre lumineux et quelques différences sont particulièrement visibles pour certaines longueurs d'onde, comme celles émises par les lampes à sodium. Dans un film où beaucoup de scènes ont lieu dans les rues de Paris la nuit, la fidélité de retranscription de cette teinte était un défi qui a orienté le choix de la caméra.

Les sodiums en Alexa ne sont pas les mêmes sodiums qu'en Sony. Tu as une pointe de vert gigantesque, et si tu tournes dans Paris, tu vas vraiment sentir la différence la nuit. [...] Chez RED, il y a un pic de vert dans les sodiums qui est surinterprété. Au lieu d'avoir une image bronze

³⁴ Extrait de l'entretien avec Pierre Cottureau. (Voir Annexe 1)

³⁵ Voir annexe 2.

comme tu l'aurais en film, tu as une image hyper verte. Les Sony et les Alexa sont plus roses. Au début, j'ai essayé de voir si en travaillant en ACES³⁶, on continuait à voir ce pique de vert. Résultat : oui, on continue de la voir. Donc ça voudrait dire faire de l'étalonnage avant pour corriger ces défauts, donc imposer au réalisateur de choisir les pelures au moins trois jours avant pour pouvoir l'étalonner... Alors que là, on était en train de tourner et parfois on décidait de changer de pelure au dernier moment.³⁷

Le choix de la caméra Sony Venice s'est donc imposé pour le tournage du film. Si Sony est autant plébiscité par les directeurs de la photographie grâce au développement des possibilités offertes avec sa *color science*, le choix de tourner également les pelures en Sony Venice ne va pas de soi. Avec la sortie récente de la Venice 2, Sony promeut cette caméra comme l'outil idéal pour tourner des plates, car elle permet d'enregistrer des images 8K comme les caméras RED, mais en intégrant leur *color science*. Cette information est à prendre avec du recul, la Venice reste une des caméras les plus chères du marché. La constitution d'un rig 360° nécessite la location de plusieurs mêmes modèles de caméra, et opter pour une Venice représenterait une solution très coûteuse, peu cohérente dans l'économie d'un tournage de pelures. Le tournage d'*Une belle course* représentait une véritable avancée technologique dans les tournages français, et la production avait pu être aidée par des loueurs pour mettre en place leur dispositif technique. Ainsi, Pierre Cottureau avait tourné ses pelures avec plusieurs Venice, mais ce n'est pas un choix qu'il reconduirait sur ses prochains tournages :

Comme notre dispositif était assez prototypaire, le loueur nous a suivis. Mais effectivement, sur le papier, économiquement, c'est une absurdité. Aujourd'hui, je prends cinq FX9 ou cinq FX6, ça ne coûte rien et c'est la même *color science*. Ce seraient d'autant plus des caméras géniales pour ça que comme tu as le programme pour refaire de la stabilisation interne, c'est la solution idéale pour des plans en voiture. Sachant que Sony a la *color science* la plus large, c'est la caméra qui va te permettre le plus facilement après de te rapprocher de l'Alexa ou de la RED. C'est donc un choix pour ne pas m'embrouiller dans mes choix.³⁸

Pour répondre à notre question initiale, « faut-il tourner ses plates avec la caméra que l'on compte utiliser au tournage ? », nous pouvons donc avancer que cela importe moins que de choisir une famille de caméra offrant le plus de possibilités de traitement des couleurs.

- **Calibration des écrans**

Si les caméras représentent un premier « filtre » opérant un traitement de l'information de la couleur, l'écran sur lequel est affichée la pelure en représente un autre. Pour rappel, les studios virtuels ont récupéré à leur début les écrans utilisés dans l'événementiel. Ces écrans n'ont donc pas été conçus pour être filmés et leur rendu est souvent plus contrasté, saturé et

³⁶ « *Academy Color Encoding System* ». Ce système de gestion de couleurs a été développé par l'*Academy of Motion Picture Arts and Sciences*, afin de proposer aux différents acteurs de la chaîne de traitement de l'image une référence colorimétrique stable dans le temps et indépendante du matériel.

³⁷ Extrait de l'entretien avec Pierre Cottureau. (Voir Annexe 1)

³⁸ *Ibid.*

éclatant que les moniteurs destinés à l'affichage fidèle des couleurs. Leurs paramètres de calibration n'étaient pas non plus assez poussés pour permettre la finesse de réglage que nécessite une prise de vue cinématographique. Pour donner une idée, les opérateurs de la saison 1 de *The Mandalorian* réglait plus facilement l'affichage des couleurs en modifiant directement les textures des objets de l'univers virtuel qu'en jouant avec les paramètres de calibration des écrans. En seulement quelques années et devant l'essor des plateaux virtuels, les fabricants de dalles LED ont commencé à proposer des solutions, et la production de dalles spécifiques pour les plateaux virtuels commence à voir le jour comme les dalles Crystal LED de chez Sony).

Il existe deux manières de calibrer des écrans. La première est assez empirique, mais les résultats de cette méthode sont très probants et largement suffisants dans la plupart des cas. Elle consiste à filmer une charte de couleur devant un écran LED et à renvoyer en même temps l'image de la caméra dans l'écran. On crée ainsi une sorte larsen vidéo, puisque l'image de la mire se reproduit à l'infini. Les défauts de rendu des couleurs par l'écran sont donc amplifiés à chaque niveau, ce qui permet de mettre en évidence les éventuelles dérives chromatiques et simplifie leur correction. *« Je me mets face à un miroir et je mets un autre miroir derrière moi : si ce miroir renvoie du vert, je vais me voir une première fois, puis mon second reflet sera plus vert, le troisième encore plus et ainsi de suite. S'il y a des petites dérives de couleur dès la deuxième apparition de ma mire, alors celles au bout de N+12 affichages seront énormes. »*³⁹

L'autre méthode consiste à étalonner l'écran avec une sonde comme on le ferait pour un moniteur. Des solutions spécifiques aux écrans LED des plateaux virtuels commencent à voir le jour. Comme pour les solutions de synchronisation des écrans et caméras, le fabricant de processeurs Brompton est le premier à proposer un outil de calibration dynamique avec son *Hydra System*. Cette solution est bien plus onéreuse que la première citée.

- **Étalonner un environnement virtuel**

Dans la vraie vie, la couleur d'un objet dépend des propriétés physiques de cet objet et des longueurs d'onde constituant les rayons lumineux qui le frappent. La couleur d'un objet virtuel n'est qu'une association de nombres indiquant à des pixels quelle quantité de rouge, de vert et de bleu afficher. Associer des objets réels et virtuels n'est donc pas une si mince affaire d'un point de vue colorimétrique.

Les Tontons Truqueurs ont développé plusieurs outils pour améliorer cette intégration. La société utilise le moteur graphique Unreal Engine pour faire tourner en temps réel les décors. L'interface du logiciel est assez complexe, et son ergonomie n'est pas adaptée à la rapidité d'utilisation que nécessitent les outils d'un plateau de tournage. Pour simplifier l'interface du logiciel et ne laisser que le contrôle des quelques paramètres dont on a besoin au moment du tournage, Stéphane Lesmond a développé une interface simplifiée pour piloter la scène 3D, *U Change The World*. Cette interface inclut des outils d'étalonnage qui permette

³⁹ *Ibid.*

d'ajuster directement les couleurs de l'image 3D dans le moteur graphique pendant le tournage.

Le *color scientist* Olivier Patron a également développé un plug-in supplémentaire pour permettre l'étalonnage par zone de décor. Lorsque les graphistes préparent les décors 3D, ils peuvent définir des ensembles d'éléments et les regrouper. Ces éléments du décor pourront ensuite facilement être étalonnés au moment du tournage sans atteinte à la teinte globale de l'image 3D. Cet outil est particulièrement utile lorsque les images 3D servent de prolongement de décor. Si le début d'un couloir est construit en réel et prolongé en virtuel, alors le raccord entre le sol physique et le sol virtuel doit être transparent. Il est donc essentiel que le sol réel ait exactement la même teinte que le sol virtuel. Faire des allers-retours pour que les graphistes corrigent la teinte du sol de la scène 3D jusqu'à parfaitement correspondre à celle du plateau serait très laborieux. Mais anticipant le problème, ils peuvent tout à fait définir le sol comme une zone spécifique à étalonner et l'implémenter dans *U Change The World* : les opérateurs sur le plateau n'auront plus qu'à bouger quelques curseurs pour faire correspondre réel et virtuel.

Nous l'aurons donc compris, les productions virtuelles rassemblent diverses technologies qui n'ont pas été pensées ni optimisées pour le cinéma. En comprenant leur fonctionnement et leur bon usage, il est tout à fait possible de contourner leurs écueils et de produire une image tout à fait digne d'être projetée sur grand écran. Contrairement aux effets visuels réalisés en post-production, les écrans LED et la prévisualisation *on set* incluent la notion de temps réel. Ainsi, le décor virtuel et les éléments de prise de vue réelle sont enregistrés simultanément. Le chef opérateur et le réalisateur retrouvent donc le contrôle de leur image au moment du tournage, mais cela accroît l'importance de la préparation : les erreurs commises sur le plateau seront plus difficilement corrigibles en post-production.



II - Penser le cadre et la lumière
d'une nouvelle manière

Chapitre 1. Utiliser la lumière du décor virtuel comme une lumière naturelle ?

Dans cette partie, nous nous éloignerons un temps des tournages en fond vert pour nous intéresser spécifiquement au travail de la lumière avec des écrans LED. Dans toute la médiatisation de ces dernières années autour des murs LED, relève souvent l'enthousiasme « de se retrouver comme en milieu naturel ». Mais travaille-t-on vraiment de la même manière dans un studio que dans une situation de lumière naturelle ? Si le décor affiché sur mon mur représente un extérieur jour, est-ce que le soleil virtuel va éclairer ma scène comme le ferait le vrai soleil ? La qualité de lumière d'un écran LED est-elle la même que celle d'un projecteur de cinéma ? Y a-t-il des paramètres spécifiques à prendre en compte en travaillant avec des écrans ?

a. Du bon usage des murs et des bandeaux

Il suffit de regarder quelques images d'un plateau virtuel pour comprendre que les murs LED permettent de créer un environnement lumineux très réaliste. Sur la série *The Mandalorian*, le nombre de casques, armures et véhicules présents à l'écran faisait de la gestion des reflets un véritable défi technique qui aurait été fastidieux à résoudre en fond vert. La création d'un environnement lumineux affichant le décor a donc été d'une grande utilité sur ce projet. La gestion des reflets reste à ce jour un des points essentiels qui poussent les productions à se tourner vers les murs LED plutôt que le fond vert, ce qui explique pourquoi, actuellement, les plateaux virtuels sont surtout utilisés pour des séquences de rouling en France.

Il y a toutefois quelques idées à déconstruire quant à l'apparente facilité de l'éclairage dans un volume de LED. Si un comédien est placé à proximité d'un écran LED qui affiche un soleil, nous n'aurons pas l'impression que ce soleil éclaire le comédien. Nous ne retrouverons pas la direction d'un rayon, car les dalles LED étant des sources étendues, elles émettent une lumière diffuse. Le soleil et l'écran ont également des intensités lumineuses totalement différentes. Ce problème ne vaut pas que pour le soleil : toutes les sources ponctuelles et lumières dures qui sont affichées dans le décor virtuel ne verront pas leur faisceau se prolonger sur le décor réel. Il faut donc prolonger les lumières directionnelles sur le plateau en utilisant des outils traditionnels d'éclairage, comme des projecteurs Fresnel par exemple.

Comme nous le détaillerons plus loin, le réglage de la luminosité de l'écran se fait en fonction des paramètres d'exposition que l'on choisit (ISO, cadence) afin de se retrouver dans des conditions lumineuses proches du réel et de pouvoir choisir son diaph comme on le ferait en décor naturel. Il n'est donc pas question d'augmenter l'intensité lumineuse de l'écran filmé dans le but d'augmenter la quantité de lumière parvenant sur les comédiens. Cela n'aurait pas

beaucoup de sens : on se retrouverait dans une situation de contre-jour. En revanche, il est tout à fait possible d'utiliser des murs LED plus petits et plus mobiles hors champ, pour venir rééclairer avec nos pelures. Pour maîtriser la lumière dans un environnement LED, il est essentiel de dissocier les deux fonctions des dalles : afficher une image et éclairer une scène.

Sans toucher au mur qui affiche le décor filmé par la caméra, il est possible de venir rajouter « des bandeaux » ou « des plafonds » LED pour prolonger l'environnement lumineux. Comme ces bandeaux ne sont pas filmés par la caméra, ils peuvent être équipés de plus gros pitchs : ils seront donc moins chers et plus lumineux. Ces panneaux sont beaucoup plus facilement déplaçables et peuvent être placés en bordure de cadre en fonction de l'échelle de plan, un peu comme on viendrait placer un réflecteur.

Sur *Une Belle Course*, cette solution a été utilisée pour venir rééclairer la voiture et les comédiens à l'intérieur. Comme la carrosserie des voitures est courbée, les réflexions sont amplifiées par « effet loupe », et les pitchs des bandeaux étaient visibles. Pour résoudre ce problème, Pierre Cottureau a recouvert les bandeaux de diffusion. En cassant les reflets des trames, les bandeaux devenaient des sortes de Skypanels géants, capables de reproduire simultanément beaucoup plus de mouvements et de couleurs différentes que des projecteurs LED traditionnels. *« Beaucoup parlent des écrans au plafond, mais pas des bandeaux sur les côtés. Il y a un écran LED qui sert de décor, et d'autres qui servent de lumière. Tant que tu n'as pas compris qu'il faut les deux, alors tu n'as pas compris le système. Tout le monde croit que le décor éclaire la scène. Non, le décor n'éclaire pas la scène. C'est comme si tu filmes une fenêtre, elle est cramée. Donc tu rééclairas ta scène, tu mets des neutres sur ta fenêtre... Moi je ne faisais que ça : baisser la densité de l'écran, diminuer l'effet en haut, etc. »*⁴⁰



Illustration 10 : Photographie du plateau de tournage d'Une belle Course. Ici, Pierre Cottureau a fait installer un panneau devant le parebrise pour venir rééclairer Dany Boon. Le panneau est surmonté d'un cadre de diffusion pour venir estomper le reflet des pitchs dans la vitre. (Photo publiée sur le site de TSF)

⁴⁰ Extrait de l'entretien avec Pierre Cottureau. (Voir intégralité en Annexe 1)

Dans cette logique « d'éclairage » avec des bandeaux, il est essentiel de garder à l'esprit toutes les possibilités que nous offrent les écrans LED. On peut définir son intensité, choisir de n'allumer que certaines dalles et d'en éteindre d'autres. Au-delà de toutes les diffusions qu'on peut rajouter sur l'écran, on peut travailler directement la partie du décor virtuel affichée hors champ. Il est tout à fait possible de placer une diffusion virtuelle pour casser la dureté des détails et n'afficher que des tâches colorées, ou à l'inverse de n'utiliser qu'un aplat de couleur, de renforcer la luminosité d'une zone, de diminuer la saturation d'une teinte du décor virtuel qui rendrait mal sur la peau des comédiens... Matthew Jensen, un des directeurs de la photographie de la série *The Mandalorian* explique intervenir souvent directement dans le décor virtuel pour modifier l'affichage et donc la lumière émise par les écrans hors champ : « Lorsque je cadre de gros plans, je masque souvent virtuellement des murs entiers du contenu, et j'ajoute un peu d'éclat dans les yeux de l'acteur en débouchant là aussi virtuellement. Il est possible de modifier les formes et les couleurs de ces drapeaux et sources virtuels, pour correspondre facilement à une lumière particulière de l'univers 3D. Généralement une personne du brain-bar⁴¹ se tient à mes côtés avec un iPad rassemblant tous les outils virtuels à portée de main. »⁴²

Cette citation est intéressante, car elle témoigne bien de l'importance d'avoir le contrôle des outils virtuels sur le plateau pour pouvoir penser conjointement lumières réelles et virtuelles. Cette maîtrise n'est pas évidente, car les outils de lighting 3D sont pensés pour être utilisés par des graphistes dans une temporalité qui ne correspond pas à l'urgence des tournages. Les interfaces des moteurs graphiques sont assez complexes et regroupent beaucoup plus de fonctions qu'il n'est nécessaire de contrôler au moment du tournage. Nous avons évoqué dans la partie consacrée à la *color pipeline* que des interfaces permettaient d'accéder rapidement à des outils d'étalonnage du décor virtuel. Le plug-in *U Change The World* développé par Stéphane Lesmond pour Les Tontons Truqueurs permet de n'avoir que les quelques commandes nécessaires pour piloter la scène 3D depuis le plateau. En amont, des graphistes rendent interactifs les éléments qui pourraient être modifiés pendant la scène, puis codent l'interface pour implémenter les commandes de ces éléments. Les opérateurs sur le plateau n'ont ensuite que quelques curseurs à bouger pour déplacer le soleil, allumer ou éteindre tel lampadaire, ou augmenter la quantité de nuages. Plus le contrôle de l'environnement 3D sera intuitif, plus l'environnement réel et le décor virtuel pourront être travaillés conjointement et pensés à travers une seule et même image.

Si notre décor comporte beaucoup de zones de réflexion et que l'on ne sait plus trop s'il vaut mieux opter pour un affichage précis du décor virtuel ou si l'on peut se permettre d'éclairer par touches de couleur, il est possible de prévisualiser ces zones en amont. Pour

⁴¹ Le *brain bar* désignait sur le plateau de *The Mandalorian* l'espace où étaient rassemblées les stations recoupant les informations de tracking, la session Unreal Engine, et autres outils en réseaux. Des techniciens spécialisés opéraient sous la supervision du *virtual production supervisor*, Clint Spiller.

⁴² KADNER N. (Septembre 2021). "Color Fidelity in LED Volumes". *American Cinematographer*, n°102-09. [Traduit de l'anglais] Citation originale : "While shooting close-ups, I often [virtually] neg entire walls of the content while adding a bit of sparkle to an actor's eyes with virtual fill. We can change the shapes of these virtual flags and sources, or [their] colors, to match a particular light in the content with ease. I'm usually accompanied by someone from the brain bar who's holding an iPad with all the virtual tools at their fingertips."

reprandre le cas de la scène de rouling, il peut être intéressant de réaliser une prévisualisation 3D du plateau virtuel. Les courbes d'une voiture varient beaucoup d'un modèle à l'autre et par conséquent, la manière dont elles vont réfléchir la lumière de l'environnement qui les entourent va aussi varier. Il est donc tout à fait possible d'importer un modèle 3D de la voiture que l'on compte utiliser au tournage dans un moteur graphique et de simuler les zones de réflexion sur le véhicule. Cela permet de se rendre compte de la taille et de l'emplacement optimal des dalles LED pour qu'à chaque valeur de cadre, les zones de réflexion reçoivent bien directement la lumière des images de l'écran. Il est possible de dissocier les zones de réflexion spéculaire (rétroviseurs) des zones de réflexion directionnelle (carrosserie). Dans le premier cas, il est nécessaire que la surface renvoie une image précise du décor virtuel, alors que dans l'autre cas, des tâches plus floues de lumière sont suffisantes.

b. Niveau des écrans et choix de diaph

Certains chefs opérateurs redoutent de devoir filmer en étant entouré de murs LED et de devoir beaucoup rééclairer le décor réel pour égaler la lumière émise par l'écran et ne pas se retrouver dans une situation de contre-jour. Pourtant, ce problème n'a pas vraiment lieu d'être puisque la luminosité des écrans est totalement ajustable. Les dalles avec un pitch de 2,8mm (qui sont actuellement les plus utilisées) peuvent fournir une intensité lumineuse jusqu'à 1500 nits. Mais d'après les retours des fabricants, les écrans LED sont beaucoup plus souvent utilisés à la moitié de leur intensité maximale, et rarement à pleine puissance.

Une bonne calibration pendant les essais permet de définir la meilleure intensité des écrans pour chaque décor. Le choix de l'intensité des écrans se fait en fonction du diaph, de l'ISO et de la cadence appliqués à la prise de vue. Ce sont donc les paramètres d'exposition qui guident le réglage de l'écran et pas l'inverse. Imaginons que notre mur affiche une plage au bord de laquelle se promène un comédien réel. Nous choisissons de tourner avec un diaph $f/4$, à 800ISO et 24i/s. Je règle l'intensité de l'affichage de manière que le comédien et l'image affichée par le mur soient tous les deux bien exposés. Nous affichons toujours cette même plage, mais cette fois-ci, notre personnage la regarde à travers la fenêtre d'une pièce construite réellement sur mon plateau, devant le mur : nous souhaitons donc que l'extérieur paraisse surexposé par rapport à l'intérieur. Par conséquent, en gardant les mêmes paramètres d'exposition, il faudra augmenter l'intensité du mur pour obtenir le bon rapport de contraste. Si nous souhaitons moins de profondeur de champ et ouvrir le diaph, il faudra alors rebaisser l'intensité de l'écran. Ce principe de calibration a permis à Pierre Cottreau de ne quasiment pas rééclairer les scènes de voiture d'*Une belle Course* :

J'avais calibré les écrans de tel sorte qu'à un certain nombre de nit⁴³ corresponde un diaph. J'avais mon diaph de base, $f/4$, et mon écran était bien posé. Je sais qu'en vrai, dans une

⁴³ Ancienne unité du système internationale pour désigner la luminance. Elle a été remplacée par le candela par mètre carré (cd/m²), mais les Américains utilisent toujours le nit.

bagnole, quand je filme depuis l'intérieur, les fonds sont à +3 diaph. Parfois, en fond vert, les gens ne comprennent pas que la découverte ne doit pas être bien posée, mais posée à +3 diaph. Avec l'écran, j'avais 4 de diaph à 1000 nit. Donc quand j'étais à l'intérieur, je me mettais à f/2, j'étais donc à +2 sur mes extérieurs. J'avais envie de garder ce diaph mais de surexposer un peu plus les extérieurs. Je pousse donc l'écran à 1200 nit. Si je voulais plus de diaph à l'intérieur en posant à f/4, alors je montais l'écran à 1600 nit. Et ça marche ! Cela fait que je n'ai pas besoin de rajouter de la lumière, j'ai juste à calibrer mon écran.⁴⁴

Cette histoire de calibration est loin d'être anecdotique. En nous retrouvant dans une situation lumineuse où nous appréhendons l'exposition de la même manière qu'en décor naturel, l'intégration du décor virtuel gagne en photoréalisme. Nous parlons de « photoréalisme » plutôt que de « réalisme » à propos d'une image virtuelle, car nous évaluons précisément la ressemblance de cette image à une photo de la réalité plutôt qu'à la réalité telle que perçue directement par nos yeux.

Eran Dinur⁴⁵ illustre cela très bien en prenant l'exemple des photographies HDR⁴⁶. Lorsque l'on regarde avec nos yeux à travers une fenêtre depuis l'intérieur d'une pièce, notre cerveau compense instantanément les différences de luminosité extrêmes entre l'intérieur et l'extérieur. Cette forme d'auto-exposition nous permet d'apprécier tous les détails dans les zones les plus sombres tout en ayant une vision optimale des hautes lumières. Un appareil photo ou une caméra ne peut pas fournir en une seule prise de vue une image avec différentes expositions. Les images HDR sont une association d'une même image photographiée plusieurs fois de suite à différentes expositions afin d'obtenir le meilleur rendu pour chaque zone de l'image. Le résultat final nous paraît souvent comme « irréal », « trop beau », voire « artificiel », alors qu'il est pourtant une représentation plus fidèle de la perception que nos yeux ont du réel.

Dans notre cas, le facteur contribuant au photoréalisme est la capacité à opérer au moment de la prise de vue des changements de diaph. En effet, lors du passage d'un décor sombre à un décor beaucoup plus éclairé, les directeurs de la photographie opèrent souvent des changements de diaph afin de compenser la quantité de lumière reçue et de garantir une bonne exposition tout au long du plan. Ce changement de diaph implique une variation de la profondeur de champ à laquelle nos yeux - ou plutôt notre cerveau - se sont inconsciemment habitués. Ainsi, lorsque nous regardons un plan passant d'un décor sombre à un environnement éclairé, nous nous attendons sans nous en rendre compte à voir la quantité de flou diminuer en avant et en arrière-plan. C'est ainsi que nos yeux se sont habitués à voir des images du réel, et c'est donc ainsi que notre cerveau admettra qu'une image est une photographie du réel ou non. Le fait de tourner devant des murs LED permet d'opérer ces

⁴⁴ Extrait de l'entretien avec Pierre Cottereau. (Voir intégralité en Annexe 1)

⁴⁵ Eran Dinur, op. cit., p. 12.

⁴⁶ Le « *High Dynamic Range* » se dit d'une image dont les méthodes de traitement permettent de rendre compte de tous les détails d'une scène aux conditions lumineuses variées.

variations au moment des prises de manière beaucoup plus intuitive et organique qu'en fond vert.

Grâce à la manière dont j'avais calibré les écrans, je me retrouvais dans une situation photographique qui était exactement la même qu'en vrai, c'est-à-dire que j'avais une petite face sur les personnages - mais à l'intérieur comme je l'aurais fait si j'avais été dans une voiture embarquée, et après je jouais juste avec mon diaph. Si la scène commençait à l'extérieur et qu'ils rentraient dans un tunnel, j'avais juste à fermer mon diaph comme je l'aurais fait dans la vraie vie. Et ça c'est super, tu te retrouves dans une situation photographique qui est une situation photographique vraie. En fond vert, je ne l'aurais pas eue. Rentrer dans un concept, où à l'intérieur du plan, tu changes de diaph, ce n'est pas possible. Alors que je pense que ça fait partie de ce qui donne une impression de réalisme, tu te poses pas la question. On est habitué aux images de voiture travelling, à l'intérieur du véhicule, on sait très bien que quand on passe d'une rue à l'ombre à une rue au soleil, d'un coup le diaph change, donc les profondeurs de champ changent. Quand tu es en plateau virtuel, à l'intérieur de la bagnole, ton éclairage n'est jamais le même en fonction des conditions météorologiques. C'est ça qui donne l'impression que c'est riche, que c'est dynamique, que c'est un peu fragile. Pour le coup, en intérieur jour, l'avantage des murs LED est inouï.⁴⁷

Il est donc utile de définir des niveaux de luminosité de référence en préparation, et de s'assurer qu'au moment du tournage, il sera facile et rapide d'ajuster ce niveau en fonction du choix du diaph.

c. Ecran LED et indice de rendu des couleurs : vers des projecteurs hybrides ?

L'IRC (Indice de Rendu des Couleurs) permet de mesurer la propension d'une source lumineuse à bien rendre les couleurs. Initiée par la Commission internationale de l'éclairage (CIE) en 1948, l'IRC correspond à la moyenne des distorsions colorimétriques entre l'éclairage d'une source étudiée et celles d'une source servant de référence. Cet indice varie entre 0 et 100, et se mesure pour deux sources ayant la même température de couleur.

Deux lumières avec la même température de couleur n'auront pas nécessairement le même rendu des couleurs. Une lumière nous paraît blanche alors qu'elle est en réalité constituée d'une infinité de longueurs d'onde et donc de couleurs. En frappant la surface d'un objet, une partie de la lumière est absorbée par l'objet, une autre transmise et une autre réfléchiée selon les propriétés physiques de l'objet. Un objet éclairé par une lumière blanche et qui renvoie toute la lumière paraîtra blanc ; un objet absorbant toute la lumière paraîtra noir. Un objet réfléchissant principalement les longueurs d'onde autour du bleu et absorbant les autres longueurs d'onde paraîtra bleu. Si un tableau était peint avec toutes les couleurs du monde, il faudrait que la lumière qui l'éclaire émette suffisamment dans toutes les longueurs d'onde pour que chaque couleur ressorte correctement. Or, une source de lumière blanche

⁴⁷ Extrait de l'entretien avec Pierre Cottureau. (Voir intégralité en Annexe 1)

peut avoir des déficiences d'émission pour certaines longueurs d'onde. Si par exemple, une source émet moins de jaune, alors les composantes jaunes des couleurs ressortiront moins. Selon la synthèse des couleurs, les objets magenta sembleront plus rouges et les cyans paraîtront plus verts.

Cette propension à faire ressortir toutes les couleurs contribue à la qualité d'une lumière. Les projecteurs utilisés sur les plateaux de tournage cherchent donc à avoir le meilleur spectre d'émission pour pouvoir rendre le plus fidèlement possible toutes les nuances colorimétriques des sujets filmés. Les dalles de LED ayant été conçues pour afficher des images et non pas éclairer des sujets, on peut légitimement se demander si l'IRC de leur lumière est suffisant pour être utilisé comme un outil d'éclairage au cinéma.

- **L'expérience de Craig Kief**

Cette question a fait l'objet d'une expérience conduite par le chef opérateur Craig Kief, dont les résultats ont été publiés dans un article de l'*American Cinematographer* fin 2021⁴⁸. Lors de la préparation du film *Muppets Haunted Mansion*⁴⁹ dont certaines séquences ont été tournées devant des murs LED, Craig Kief avait profité des essais pour mesurer le spectre d'émission des murs avec un spectromètre⁵⁰. Il constate alors que le spectre n'est pas lisse et qu'il présente des pics d'émission au niveau du rouge, du vert et du bleu, et une chute dans le cyan, l'orange et le jaune. Ces données l'inquiètent, car pour le rendu des peaux, il est essentiel que le spectre de la lumière soit assez riche pour retranscrire toutes les petites nuances du teint lorsque la lumière traverse les tissus de la peau jusqu'à atteindre vaisseaux sanguins plus profonds. Avec le soutien technique du directeur du développement de chez Arri, Stephan Ukas-Bradley, il réalise des essais comparatifs poussés afin d'évaluer si ces pics et ces creux dans le spectre d'émission des murs LED ont une réelle incidence sur les sujets filmés.

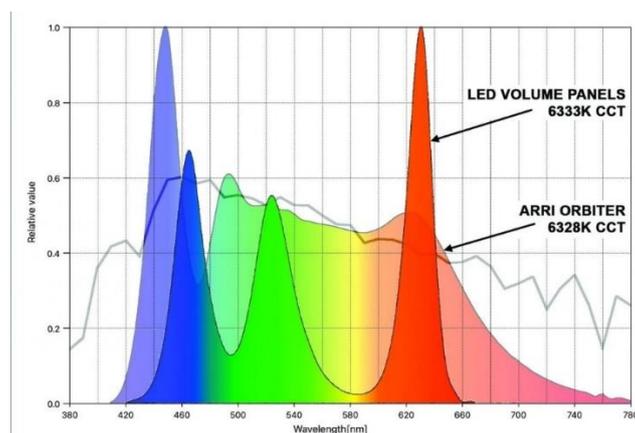


Illustration 11 : Comparaison des spectres d'émission d'une dalle LED Arri et d'un projecteur destiné à l'éclairage pour le cinéma (Arri Orbiter). On remarque que le spectre de l'Orbiter est beaucoup plus continu que celui de la dalle qui émet très peu autour du jaune. La courbe grise en arrière-plan représente le spectre d'émission du soleil pour une même température de couleur. (Graphique issu des résultats de l'étude de Craig Kief, publiés dans l'*American Cinematographer*)

⁴⁸ KADNER N. (Décembre 2021). "Color Fidelity in LED Volumes". *American Cinematographer*, n°102-12.

⁴⁹ Film réalisé par Kirk Thatcher, sorti en 2021.

⁵⁰ Instrument de mesure de la répartition d'un rayonnement complexe en fonction de la longueur d'onde.

Kief place trois modèles avec différentes couleurs de peau, et devant eux, des drapés et des légumes de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. Il réalise ensuite deux fois un même éclairage de la scène en utilisant des outils différents à chaque fois. Pour ses premières prises de vue, il utilise uniquement les dalles de LED du plateau virtuel d'ARRI⁵¹. Pour son keylight⁵², il utilise les écrans LED latéraux pour afficher des carrés blancs de 2,4 mètres de large et 1,2 mètre de haut. Kief affiche une bande blanche de 7,5 mètres sur le haut de l'écran placé derrière les modèles afin de créer une backlight. Il règle le blanc affiché par les écrans à 6100 Kelvin moins un point de vert, par appréciation du rendu sur le retour de la caméra. Il réalise une série d'images avec cette lumière puis remplace le keylight par des projecteurs *Arri Orbiters* et la backlight par des *Skypanels*. Il ajuste la puissance et la température de couleur des projecteurs pour retrouver la même intensité lumineuse et la même couleur qu'avec le premier éclairage.

Les résultats sont sans appel : les peaux rougissent beaucoup plus vite lorsqu'elles ne sont éclairées qu'avec des dalles LED. Le jaune apparaît orange et l'orange apparaît rouge. Selon Kief, l'expérience illustre parfaitement la nécessité de continuer à éclairer à l'intérieur d'un volume LED. « *La lumière ambiante globale sur les sujets au premier plan se fondera automatiquement avec l'arrière-plan, de sorte que l'on obtiendra de meilleurs résultats qu'avec un fond vert. Mais il faut être conscient de la gamme de couleurs réduite et gérer ce problème en combinant l'ajout de projecteurs de cinéma⁵³, l'atténuation des primaires les plus saturées dans les images affichées sur les écrans hors champ, une sélection rigoureuse des couleurs avec le département artistique et un travail de correction des couleurs en post-production.* »⁵⁴

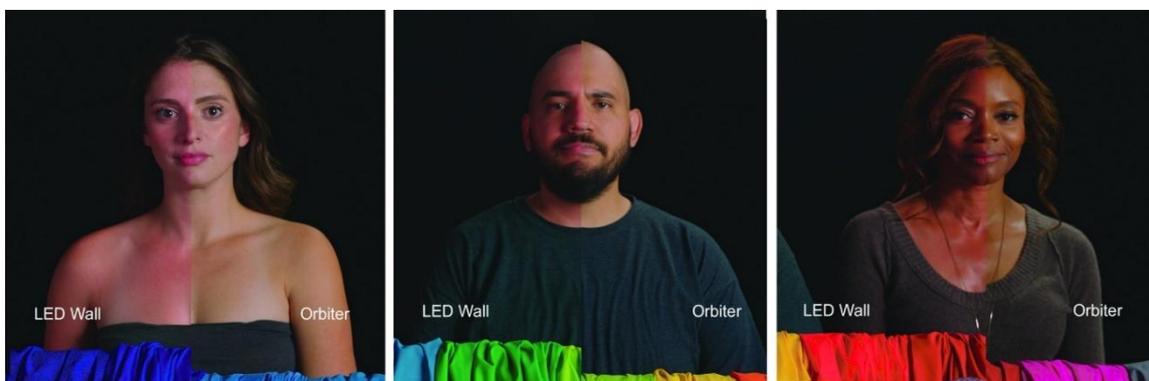


Illustration 12 : Résultats de l'expérience comparative de Craig Kief. Les peaux sont beaucoup plus rouges lorsqu'elles sont éclairées uniquement par le mur LED. (Images issues des résultats de l'étude de Craig Kief, publiés dans l'*American Cinematographer*)

⁵¹ « *Arri's Creative Space* » à Burbank, au sud de la Californie.

⁵² Eclairage principal du sujet.

⁵³ A comprendre ici dans le sens « outils d'éclairage traditionnels » et non pas comme un projecteur de film.

⁵⁴ *Ibid*. Traduit de l'anglais : "The overall ambient light on foreground subjects will automatically blend with the background, so you'll get better results than you would starting with a blank greenscreen — but you must be aware of the reduced color gamut, and manage it through a combination of adding cinema lighting, toning down highly saturated primaries in the imagery on the off-camera panels, careful selection of colors with the art department, and color correcting in post."

- **Des solutions mi-écran, mi-projecteur**

Comme nous l'avons compris, ces défauts de rendu des couleurs viennent du fait que les dalles LED ont été conçues pour afficher des images, et non pas éclairer un sujet. Les fabricants ont donc optimisé le spectre d'émission des LED pour retranscrire les espaces couleurs des normes d'affichage standard comme le Rec709, le DCI-P3 ou le Rec2020. De l'autre côté, avec l'émergence des projecteurs LED que l'on connaît sur les plateaux de tournage depuis une décennie, les fabricants ont réussi à améliorer drastiquement la qualité de rendu des couleurs de ces projecteurs. On peut noter par exemple l'amélioration de la qualité du phosphore dans les émetteurs, ou encore l'ajout d'émetteurs cyan, ambre, et vert permettant de combler les creux du spectre d'émission des LED.

Le développement récent des productions virtuelles a poussé des fabricants de lumière à proposer des solutions hybrides pour permettre de profiter à la fois des interactions lumineuses d'un mur LED et du rendu des couleurs de véritables sources lumineuses de cinéma. Sumolight a développé un système de mur LED portable, le *Sumosky*, composé de barres de LED alignées les unes au-dessus des autres. Ces barres sont composées d'émetteurs RVB qui peuvent reproduire les couleurs d'une image, mais également d'émetteurs blancs optimisés pour produire un spectre lumineux complet. Ces barres sont devancées par une immense toile blanche. On ne peut donc pas avoir de fins détails en filmant le mur directement, mais des tâches de couleurs évoluant en fonction du flux vidéo reçu par le *Sumolight*. Devant la caméra, on ne pourra donc l'utiliser que pour afficher un ciel ou un décor abstrait (ou bien s'en servir de fond bleu ou vert), mais hors champ, ce système peut représenter la solution idéale pour créer un niveau ambiant global, avec une lumière dynamique et un excellent rendu des couleurs.

Frieder Hochheim, le président de la société d'éclairage Kino Flo, a annoncé récemment le développement de nouvelles dalles de LED. Comme nous l'avons vu plus haut, plusieurs chefs opérateurs utilisent des dalles avec des pitches plus gros pour des zones qui ne sont pas filmées par la caméra. Cela permet d'avoir des diodes plus grosses et donc plus puissantes, et les écrans deviennent des sources donnant un niveau global à la scène. Sur ce même principe, Frieder Hochheim veut fabriquer des dalles avec un plus gros pitch. L'augmentation du pitch ne sera pas associée à une augmentation de la taille des diodes, mais à l'ajout d'émetteurs supplémentaires pour chaque pixel. En plus des trois émetteurs rouge, vert et bleu, chaque pixel sera doté de deux émetteurs blancs. Un algorithme permettra d'extrapoler les niveaux de blanc à partir des informations des niveaux de rouge, vert et bleu afin de réadresser ces niveaux aux émetteurs blancs. Cela permettra d'obtenir un mur LED avec un spectre lumineux complet et donc un meilleur rendu des couleurs. La taille des pitches ne permettra pas de filmer l'écran directement (voir I.3.a), mais la société Kino Flo présente bien son produit comme une solution d'éclairage et non pas d'affichage.

Dans les prochaines années, d'autres constructeurs risquent de suivre la marche empruntée par les sociétés Kino Flo et Sumolight en proposant de nouvelles solutions hybrides

combinant le meilleur des murs LED et des projecteurs cinéma. En attendant, l'utilisation des dalles LED existantes reste une solution efficace comme éclairage d'appoint. La bonne connaissance des espaces couleurs et des autres projecteurs peut permettre d'améliorer leur rendu des couleurs, tout comme le traitement des images affichées et des images finales.

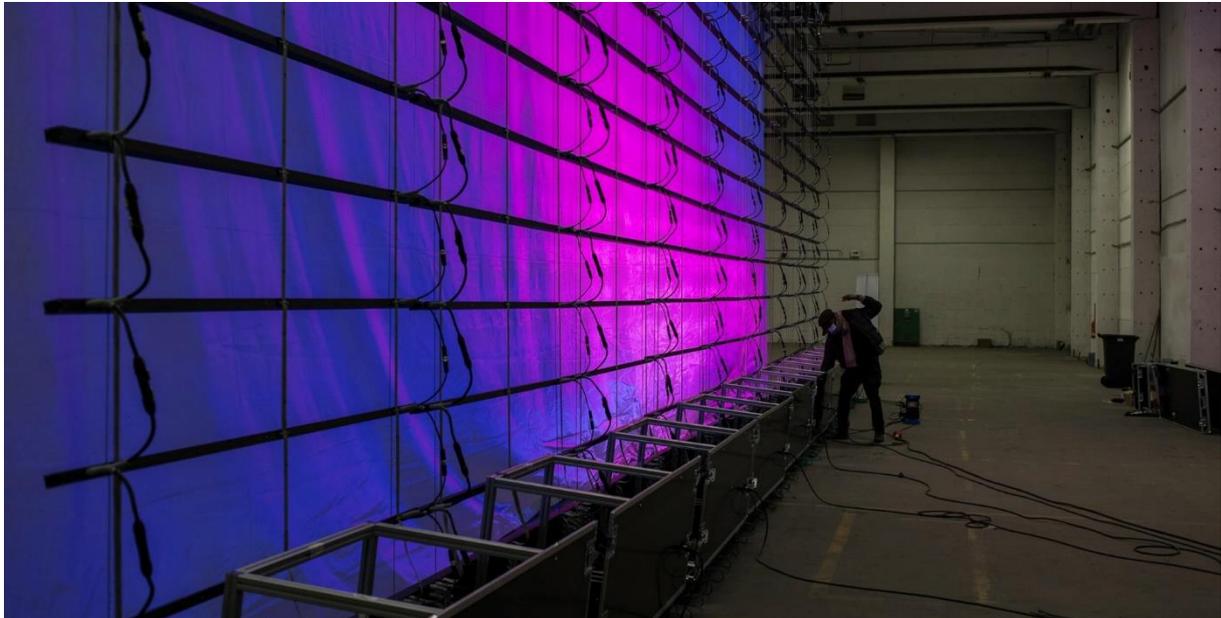


Illustration 13 : Installation du Sumosky de Sumolight. (Photographie publiée sur le site du constructeur)

d. Recréer des directions de lumière et créer un éclairage dynamique

Nous avons donc compris la nécessité de rééclairer sur un plateau de murs LED, d'une part pour recréer des directions précises de lumière, d'autre part pour améliorer le rendu des couleurs. Il y a toutefois quelques précautions techniques spécifiques à prendre face à des dalles.

- **Reflets sur les dalles et raccord entre le sol et les murs**

Tout d'abord, il est très important de veiller à ne pas envoyer de lumière directement sur les dalles pour éviter que la lumière se réfléchisse ou ne « délave » l'image. Pour des projecteurs qui ne sont pas dans le champ, on se retrouve dans la même situation que sur un tournage traditionnel lorsque l'on souhaite que la lumière qui éclaire notre avant plan ne déborde pas sur le décor du fond. L'usage de volets, de jupes, de louvers⁵⁵ et de drapeaux permet d'éviter ces fuites de lumière. C'est d'ailleurs une contrainte que l'on retrouvait déjà avec la projection frontale : il ne fallait pas que des lumières parasites viennent frapper la toile pour garder un meilleur contraste. De plus, pour des décors très lumineux comme un extérieur jour, la proportion de lumière émise par l'écran sera supérieure à la proportion de lumière

⁵⁵ Sorte de grille en tissu permettant de canaliser les rayons émis par une source diffuse.

parasite réfléchi : celle-ci en sera d'autant moins perceptible. La situation est plus complexe lorsque le reflet vient d'une lampe de jeu (car impossible à couper sans être dans le champ) et que le décor est plus sombre (car le reflet ressortira d'autant plus sur du noir). « *Les fuites de lumière sont un gros défi, car il ne suffit de pas grand-chose pour venir détériorer la qualité des noirs. [...] Selon la réflectivité des écrans que l'on utilise, quelque chose d'aussi petit qu'une bougie, la moindre petite surface réfléchissante ou encore même d'autres parties de l'écran LED peuvent se refléter.* »⁵⁶

Sachant cela, il faut être très vigilant dans la manière d'éclairer le raccord entre le sol et le mur LED (dans le cas où la jonction viendrait à être cadrer, ce qui n'est pas systématique). Prenons l'exemple d'un décor de plage. Sur le sol du plateau, l'équipe décoration a déversé des centaines de litres de sable pour que les comédiens puissent marcher dessus et interagir avec. Le décor affiché par l'écran prolonge l'étendue de sable virtuellement, puis affiche plus haut, la mer, les falaises et le ciel. Il est essentiel de donner l'impression de continuité entre le sable réel et le sable virtuel et d'effacer toute trace de démarcation entre le sol et le mur. S'il s'agit d'une pelure 3D, alors il est possible de modifier la teinte du sable virtuel pour la faire correspondre exactement au sable du plateau. Mais dans tous les cas, il va falloir mettre en place une stratégie d'éclairage pour éclairer le sable réel sans toucher le mur. Cela requiert une immense précision : si l'on n'éclaire pas jusqu'à la jonction, une ombre apparaîtra sur le sol réel et contrastera avec la lumière émise par les dalles LED qui affichent le sable virtuel. Si le projecteur déborde un petit peu sur le mur, alors sa lumière se réfléchira sur la dalle et créera une discontinuité lumineuse. Le chef opérateur Pierre-Yves Bastard s'est déjà retrouvé dans cette exacte configuration⁵⁷. La solution a été d'installer une rangée de projecteurs asservis en hauteur, devant l'écran et sur toute sa longueur. Comme l'orientation des sources était pilotable à distance, l'équipe a pu éclairer la bordure de sable de manière extrêmement précise.

Si le studio est équipé d'un sol LED, le problème ne se pose pas : le mur et le sol émettent de la lumière, donc leur jonction est moins visible. En revanche, il faudra veiller à ce que nos projecteurs ne viennent pas rééclairer le sol. Les fabricants de dalles LED ont bien compris cet enjeu et, de plus en plus, pensent à inclure dans leurs nouveaux modèles des technologies anti-reflets.

- **Automatiser les interactions**

Connaissant maintenant les précautions à prendre en éclairant un environnement LED, nous pouvons nous intéresser aux différentes manières de recréer les directions de lumières

⁵⁶ KADNER N. (Septembre 2021). "Lighting for LED Stages". *American Cinematographer*, n°102-09. [Traduit de l'anglais] Citation originale : "Light contamination is a big challenge, because it doesn't take much to start milking out the blacks on the screens [...] Depending on the reflectivity of the screens you're using, something [as minor as] a candle or a bounce card — or even other parts of the volume — can reflect."

⁵⁷ D'après les propos de Jérémie Tondowski lors de la conférence « Retour d'expérience sur 18 tournages de fiction sur écrans LED en un an et demi d'existence », tenue le 14 avril 2022 dans le cadre de la 22^{ème} édition du micro-salon de l'AFC.

des sources qui vont défiler sur notre écran. Les solutions que nous allons lister sont également envisageables lors d'un tournage devant un fond vert avec un système de prévisualisation.

Sur des plateaux virtuels, il est fortement recommandé de relier tous ses projecteurs à une console DMX⁵⁸ afin de pouvoir facilement et rapidement les contrôler à distance. Comme nous l'avons dit, pour pouvoir créer un éclairage cohérent, il faut travailler à la fois le réel et le virtuel sans qu'un éclairage essaie de recopier l'autre. Il est donc important que les outils soient pensés pour pouvoir permettre cette construction globale de l'éclairage.

Pour comprendre tous les degrés d'automatisation possible des mouvements des lumières, prenons ici l'exemple d'une scène de rouling. Une personne roule en voiture avec un soleil rasant avant de s'engager dans un tunnel où défilent des luminaires orange. On installe des rigs de lumières de part et d'autre de la voiture. Un projecteur Fresnel très puissant couvert d'une gélatine *Golden Amber* est placé à droite de la voiture pour recréer le soleil. En face de la voiture, des Skypanels donnent un niveau ambiant pour rééclairer le visage du personnage. Cinq découpes avec des gélamines orange sont alignées de part et d'autre de la voiture et allumés à tour de rôle pour recréer le défilement des luminaires du tunnel. Avec un tel dispositif, nous avons donc besoin de pouvoir allumer et éteindre certains projecteurs en fonction du décor affiché ou prévisualisé. Ces changements peuvent être plus ou moins automatisés :

- Un électro installé à la console DMX descend manuellement la puissance du Fresnel et des Skypanels tout en montant les découpes, puis il fait varier l'intensité des découpes à la main pour recréer le défilement.
- On définit un effet « extérieur » comprenant l'allumage du Fresnel et du Skypanel, et un effet « tunnel » qui automatise le défilement des découpes. Un électro opère la bascule de l'effet extérieur vers l'effet tunnel manuellement.
- Dans le cadre d'une pelure 2D, on synchronise le lancement des effets avec le lancement de la vidéo. Il n'y a donc plus de manipulation à réaliser au moment de la prise de vue.
- Dans le cadre d'une pelure 3D, on définit spatialement dans l'univers 3D la zone correspondant à l'effet « extérieur » et la zone correspondant à l'effet « tunnel ». Lorsque la caméra virtuelle passe dans la zone extérieure, elle renvoie à l'interface DMX reliant le monde 3D et les commandes du plateau l'ordre d'allumer l'effet « extérieur ». Idem pour l'effet « tunnel ». Là encore, il n'y a plus de manipulation à réaliser au moment de la prise de vue.

Plus le processus sera automatisé, plus il demandera du temps de préparation, mais fera économiser du temps au tournage. Dans tous les cas, il ne s'agit pas de remplacer le travail d'un électro : l'automatisation représente un travail en soi. En effet, dans les quatre exemples que

⁵⁸ Le *Digital Multiplexing* (DMX) est un protocole de multiplexage de données utilisé pour le contrôle de l'éclairage dynamique au théâtre, au cinéma ou dans l'événementiel.

nous venons de lister, le choix, le placement, la fixation, l'orientation ou encore le réglage de l'intensité et de la couleur sont à réaliser physiquement.

- « L'éclairage dynamique »

Il existe un degré d'automatisation supplémentaire pour les tournages avec des pelures 3D. Il est en effet possible que l'univers 3D pilote directement le projecteur sur le plateau sans que personne n'en définisse l'intensité ou la teinte. La lumière affichée par les projecteurs reprend ainsi automatiquement les caractéristiques des lumières virtuelles du décor. Ce processus a déjà été utilisé sur plusieurs tournages américains, et récemment, Léo Péchon a réussi à développer ce principe pour Les Tontons Truqueurs qui proposent désormais la solution sous le nom de « lumière dynamique ».

Pour bien comprendre ce concept, nous pouvons garder l'exemple de la scène de rouling. Cette fois-ci, on décide de placer des tubes LED comme des *Astera Titan*⁵⁹, sur le côté droit de la voiture. La caméra filme l'avant de la voiture pendant que le décor défile au fond sur le mur LED. Dans l'univers 3D, une caméra virtuelle se déplace de sorte à cadrer et le paysage qui défile derrière la voiture. L'enjeu est donc de pouvoir recréer les phénomènes lumineux qui interagissent avec le côté droit de la voiture en les recréant avec les projecteurs *Astera*. Précisons que l'*Astera Titan* a 16 pixels : il pourra donc afficher simultanément 16 intensités et couleurs différentes côte à côte. Précisons aussi que dans un univers 3D en temps réel, il n'existe pas vraiment d'objet qui émette un faisceau de lumière. Une ampoule est en fait un objet recouvert d'une texture brillante (« émissive ») et couplé avec un projecteur virtuel qui simule sa lumière. Pour créer notre éclairage dynamique, il est possible de coupler la caméra virtuelle qui filme le décor qui défile derrière la voiture à une autre caméra qui filme le décor défilant sur le côté droit de la voiture. Cette image du paysage qui défile à droite n'a pas vocation à être affichée, mais analysée par le moteur graphique via l'interface DMX. L'image va être découpée en 16 bandes verticales. Pour chaque bande, l'ordinateur va analyser l'ensemble des textures émissives captées par la caméra virtuelle, faire la moyenne des couleurs et intensités de ces émissives, puis attribuer ces valeurs moyennes à chaque pixel du tube *Astera*. Ainsi, si la voiture croise les feux d'autres voitures, passe sous des lampadaires ou encore croise l'enseigne lumineuse d'une pharmacie, l'*Astera* affichera automatiquement tous ces défilements de lumière sans que personne n'en définisse les paramètres manuellement.

Nous avons pris ici l'exemple d'*Astera Titan*, car l'usage de tubes LED est particulièrement pertinent pour une scène de rouling : le fait de pouvoir adresser différentes valeurs à chaque pixel du tube permet de recréer très efficacement l'impression de défilement lumineux. Le recours à l'éclairage dynamique se justifie dans cette situation, car il permet de reproduire simplement un éclairage très riche et varié en utilisant un minimum de source.

⁵⁹ Modèle de tube LED de la marque *Astera* doté de seize pixels adressables par DMX.

Lors de mon stage chez Les Tontons Truqueurs, j'avais pu assister à une autre utilisation très astucieuse de l'éclairage dynamique. Une société de production était venue pour réaliser des essais pour une série d'anticipation. Leur but était de tourner au maximum en fond vert, avec une intégration en temps réel du décor 3D, tout en créant de l'interaction entre réel et virtuel. Le plan consistait à filmer une femme qui avançait dans une rue futuriste, la nuit. A la fin de sa marche, elle arrivait devant l'entrée d'un immeuble. A côté de la porte, juste en face de son visage, une lampe en mauvais état clignotait. Sur le plateau de tournage, il n'y avait ni rue, ni immeuble, ni lampe : tout était incrusté en temps réel sur l'image générée par le flux vidéo issu de la caméra.



Illustration 14 : Un projecteur LED est relié en DMX à la lampe virtuelle qui clignote en haut de la porte afin de synchroniser l'éclairage de la comédienne aux variations du décor virtuelle. Le projecteur LED est masqué par le décor virtuel : seule sa lumière sur la comédienne apparaît dans l'image finale.

Pourtant, il fallait recréer la lumière clignotante sur le visage de la comédienne qui, elle, était bien réelle. Pour cela, nous avons placé un petit projecteur LED à l'endroit physique qui

correspondait à l'emplacement de la lampe virtuelle. Ce projecteur était dans le champ de la caméra, mais nous avons défini cette zone du cadre comme une zone de *garbage*, c'est-à-dire que le logiciel incrustait automatiquement le décor virtuel, peu importe la présence ou non de fond vert. Ce projecteur LED (réel) était piloté en DMX par la lumière 3D (virtuelle). Ainsi, le clignotement de la lampe virtuelle apparaissant sur l'image finale était parfaitement relié au clignotement de la lumière réelle sur le visage de la comédienne. Dans cet exemple, l'éclairage dynamique ne représente qu'une petite partie de l'ensemble de l'éclairage de la scène sur le plateau : des projecteurs HMI⁶⁰ et des Skypanels étaient également utilisés pour éclairer la comédienne, sans être reliés à la console DMX.

Nous l'aurons donc compris, il ne suffit pas d'allumer un mur LED pour éclairer une scène. Les écrans servent à afficher un décor et sont très utiles pour les reflets, mais ce ne sont pas des outils d'éclairage. D'autres panneaux LED, plus lumineux, peuvent être utilisés hors champ pour rééclairer la scène avec le décor virtuel. Il reste nécessaire de recréer des directions et d'apporter des interactions lumineuses entre réel et virtuel en utilisant des projecteurs traditionnels de cinéma. Ces outils permettent d'avoir un meilleur rendu des couleurs, et il est tout à fait possible de les connecter avec le décor virtuel pour améliorer les interactions avec le réel. Mais le réalisme de l'intégration du virtuel dans le réel n'est pas qu'une question de lumière : c'est aussi une question de cadre et de mise en scène.

⁶⁰ Lampes aux halogénures métalliques, acronyme de l'expression allemande *Hydrargyrum Mittlere bogenlänge lod.*

Chapitre 2. Nouveaux enjeux de découpage

Le tournage en studio apporte un confort et une sécurité qui permettent certaines prises de vue impossibles à faire en décor naturel. Cette liberté influe sur notre manière de découper, et donc de reproduire des images du réel. Dans le cadre d'une production virtuelle, nous retrouvons ce confort avec en plus, des outils supplémentaires pour créer des effets d'interaction. Comment trouver le bon équilibre entre un découpage traditionnel qui nous fait croire au réel, ou des choix de cadre innovants qui explorent pleinement les possibilités du virtuel ?

a. Recréer le réel pour préserver l'illusion

Comme nous venons d'étudier les spécificités de l'éclairage en production virtuelle, on peut se demander s'il existe des spécificités similaires concernant le cadrage. D'un point de vue purement technique, il faut simplement veiller à ce que notre découpage ne pousse pas le dispositif dans ses limites de fonctionnement. Nous avons cité quelques éléments dans la première partie, mais nous pouvons par exemple rappeler que selon la méthode de tracking envisagée, il sera plus ou moins simple de cadrer à l'épaule ou encore de filmer le plafond d'un décor. Si l'on tourne devant un mur LED, il vaut mieux veiller également à ne pas filmer l'écran de trop près ni en s'éloignant trop de la normale du plan de l'écran. En restant assez de face et à une certaine distance, on peut ainsi éviter la majorité des problèmes de moiré dus au pitch des dalles.

Cependant, il ne faudrait pas tomber dans l'écueil inverse en restant toujours dans la zone de confort du dispositif technique : cela le trahirait justement. Si tout le film se passe au coucher de soleil, le spectateur risque de se poser des questions. Même inconsciemment, le fait de ne jamais faire le point sur l'arrière-plan risque de créer une forme de sentiment d'étrangeté. Lorsque nous avons tenté de définir la notion de « photoréalisme » dans la partie consacrée au choix du diaph (II.1.b.), nous avons expliqué qu'il s'agissait plus de la capacité d'une image à ressembler à une photo de la réalité plutôt qu'à la réalité telle que perçue directement par nos yeux. Idéalement, le dispositif technique des productions virtuelles ne doit pas plus contraindre la manière de filmer qu'une configuration de tournage traditionnel. En changeant la manière de cadrer pour s'adapter à des contraintes techniques, on produit une suite de plans à laquelle les spectateurs ne sont pas habitués. Ce manque d'habitude va leur donner l'impression que les images qu'ils regardent sont artificielles et vont briser l'illusion. Parfois, la meilleure manière de déconstruire ce côté « artificiel » est de pousser la technique au-delà de ses limites assez brièvement pour que le défaut n'ait pas le temps d'être vu par le spectateur, mais suffisamment longtemps pour qu'il adhère au dispositif. Dans cette logique, Pierre Cottureau n'a pas hésité à faire le point sur les murs de LED dans *Une belle Course*, ce qui, d'après ceux qui ont déjà vu le film, reste tout à fait transparent.

Si j'ai eu des problèmes [de moiré en faisant le point sur le mur]. Mais si tu commences sur le fond pendant une demi-seconde et tu reviens, ça renforce l'impression de réel. Moi je ne

m'interdis rien. C'est toujours une histoire de mouvement, le cinéma, c'est quelque chose de dynamique. Il faut tricher avec la vie. Le but du jeu pour ne pas dévoiler un problème, c'est de faire regarder d'un côté pendant que le problème est de l'autre côté. Si tu fais le point quelques secondes sur l'écran, les gens arrêtent de scruter l'écran pour chercher un problème. Si tu t'interdis toujours de faire le point au fond, le spectateur va se demander "pourquoi c'est toujours flou au fond ?".⁶¹

Si l'on considère l'enjeu du réalisme comme la nécessité de recréer une vision du réel tel que nous l'avons déjà observé, alors la question du point de vue d'observation entre en jeu. Le confort du studio et les possibilités techniques offertes par les dispositifs virtuels peuvent pousser à une certaine audace. On peut placer la caméra n'importe où sans contrainte de sécurité. Par exemple, sur une scène de rouling, on pourrait très bien décider de la poser au sol alors qu'une route en bitume défile en dessous d'elle, ou encore tourner autour d'une voiture en la tenant à l'épaule alors que le véhicule roule à pleine vitesse sur l'autoroute. Là encore, ces points de vue ne sont pas habituels et tranchent d'une part avec la manière dont nous percevons la route lorsque nous sommes en voiture, et d'autre part avec les images de séquence de rouling que nous avons vues auparavant.

Sur *Une belle Course*, tous les plans de face et de côté étaient très faciles à faire. Photographiquement, c'était transparent. Le plan que m'a demandé le plus Christian [Carion], c'est le plan de dos qui est le plus compliqué à faire. Un tiers des plans, c'est ce plan de dos. C'est un plan dur à faire en vrai, dur à faire en fond vert, parce que c'est un point de vue de cinéma, ce n'est pas un point de vue réel. Tu y vois un truc faux parce que ton expérience à toi dans une voiture ne t'offre jamais ce point de vue.⁶²

Comme dans n'importe quel découpage, il est donc essentiel de laisser une place centrale à la question du point de vue et ne pas se perdre dans les possibilités de cadrage offertes par le confort du studio. Le fait de reprendre des codes du découpage du cinéma traditionnel et des prises de vue réelles permet d'effacer les limites du dispositif technique et de renforcer l'illusion.

b. Créer l'illusion en déconstruisant le réel

Dans la partie ci-dessus, nous nous sommes demandé : *comment cadre-t-on dans le réel pour recréer une impression de réel dans le virtuel ?* Nous avons alors considéré la production virtuelle comme une manière de recréer la vraie vie dans le confort et la sécurité d'un studio, et donc cherché de quelle manière faire croire qu'il s'agissait bien de la vraie vie. Cette question est importante, car la majorité des productions cinématographiques françaises sont des productions de fictions réalistes. La part du cinéma fantastique ou du cinéma de genre reste très faible dans le paysage français, ce qui explique pourquoi à ce jour, les plateaux virtuels ont surtout été utilisés pour des séquences de rouling ou l'affichage de paysage. Il ne s'agit pas tant de remettre en cause la pertinence de ces outils dans un cinéma traditionnel, mais plutôt de

⁶¹ Extrait de l'entretien avec Pierre Cottereau. (Voir Annexe 1)

⁶² *Ibid.*

réfléchir aux manières de proposer des idées de mises en scène innovantes, afin que les productions virtuelles dépassent leur statut de « pelure améliorée ».

Les interactions de lumières, les interactions des comédiens avec leur environnement, les dissociations de vitesse, les changements de météo, d'heure sont autant d'éléments à explorer sur des productions virtuelles afin de produire de nouvelles images en exploitant pleinement les possibilités qui nous sont offertes. Une des séquences du film de Noémie Lefort, *Mon Héroïne*, en est une parfaite illustration, comme nous le décrit Nathalie Durand :

On a fait un autre setup, une scène de passage de temps dans le film où la comédienne était sur le plateau, et ce qui se passait derrière elle n'allait pas à la même vitesse. Elle était au ralenti et ce qui passait derrière elle était à vitesse normale. C'était un 360°, avec un changement de costume, de lieu, avec un volet qui passait... [...] Il y avait 4 tableaux, 4 saisons, ou 4 mois. Il y avait un décor de maison, un autre de salle à manger, une boîte, la fac, une chambre. On avait tourné les plates avec une caméra, c'était un peu compliqué en raison des décors qui étaient assez petits. Et la réalisatrice voulait que ça panote et que ça bouge un peu tout le temps. Donc on avait une petite tête motorisée. On avait tourné dans chaque décor un plan un peu large. On a tourné ces plans-là à 25 i/s, et eux les projetaient à 50 i/s, et sur le plateau la caméra était à 50 i/s.

En plus du mur LED et de la comédienne, il y avait devant elle un plateau tournant sur lequel il y avait des objets avec lesquels elle interagissait et qui venaient boucher la caméra, ce qui nous permettait de passer au tableau suivant. Pour moi, le gros problème, c'était la profondeur de champ, les vitesses, savoir à quelle focale je devais passer pour être à la bonne valeur sur elle, et en même temps, il fallait être un petit peu net sur l'arrière-plan par ce que ça nous intéressait, mais pas trop pour ne pas sentir le mur de LED. Et à quelle distance devaient être les objets pour qu'ils masquent correctement la caméra. Tout ça était un petit casse-tête.⁶³

Ici, l'utilisation de vitesses différentes entre l'affichage du décor virtuel et les gestes de la comédienne permet de créer une impression de flottement. La dissociation de l'évolution du personnage et de l'évolution du décor contribue à l'onirisme de la séquence. Le spectateur ne cherche pas à associer ces images à d'autres images du réel qu'il a déjà perçues : il se rend bien compte du tour de magie qui se crée devant ses yeux et accepte d'en recevoir toute la poésie.

Actuellement, sur la majorité des plateaux LED, les prestataires recommandent de ne pas choisir une cadence d'affichage supérieure à 50 i/s afin d'éviter tout problème lié aux latences diverses du dispositif (voir I.3.c). Cette limite devrait être améliorée dans les prochaines années, et l'on peut tout à fait espérer que la possibilité de jouer encore plus sur les différences de vitesse entraînera de nouvelles propositions de mise en scène.

Il est alors nécessaire qu'à l'instar de Noémie Lefort, d'autres metteurs en scène s'intéressent à ces technologies pour en faire émerger de nouvelles idées de cinéma. Le chef opérateur peut jouer un rôle de pédagogue en présentant aux réalisateurs avec qui il collabore tout le potentiel des productions virtuelles.

⁶³ Extrait de l'entretien avec Nathalie Durand. (Voir intégralité en Annexe 2)



III - S'intégrer dans une nouvelle chaîne de création

Chapitre 1. Collaboration avec le lighting artist : éclairer pour le temps réel

En production virtuelle, beaucoup de tâches traditionnellement réalisées en post-production sont désormais ramenées dès la préparation du film. Des corps de métier qui n'avaient pas l'habitude de travailler ensemble se retrouvent alors à devoir dialoguer et trouver un langage commun. Lorsque les effets spéciaux étaient fabriqués après le tournage, les graphistes devaient construire autour des décors de la prise de vue, et reproduire un lighting prolongeant l'éclairage créé par le chef opérateur. Maintenant, la construction des décors virtuels et son éclairage se font en même temps que la préparation du décor réel, voire avant. Comment trouver sa place entre les équipes de graphistes, de lighters, d'opérateurs temps réel et de décorateurs ? Et au final, tout ce travail supplémentaire de préparation simplifie-t-il vraiment le tournage ?

Durant mon stage chez Les Tontons Truqueurs, j'ai été assez frappée du fait que les chefs opérateurs n'intervenaient pas dans le lighting des scènes 3D avant leur livraison sur le plateau. L'équipe décoration travaillait dans une véritable dynamique de collaboration avec les graphistes afin de penser ensemble les interactions possibles entre décor réel et virtuel. Difficile de dire de même quant au travail de la lumière. Une explication à cette absence de collaboration pourrait justement être l'aspect « interactif » et « modulable » des scènes 3D. Comme les productions pensent que le travail sur un plateau virtuel permet de changer l'éclairage en temps réel à l'infini, l'inclusion d'un travail préparatoire de la lumière semble superflue. Or, plus le travail d'éclairage peut être fait en amont, plus la lumière pourra être travaillée avec finesse, plus les temps de calcul pourront être augmentés et donc plus les rendus seront de qualité. Il s'agirait donc de trouver une place au chef opérateur au côté du *lighter* lors de la préparation de la scène 3D, tel qu'existe la collaboration avec le chef électricien au moment du prelight du plateau.

Une autre explication pourrait être le cloisonnement qui existe entre l'éclairage traditionnel au cinéma et le lighting 3D. Les décorateurs eux, ont l'habitude de modéliser des constructions sur des moteurs graphiques : ils partagent donc un langage commun avec les équipes des graphistes et n'ont pas de mal à effectuer des allers-retours entre la préparation du décor réel et du décor virtuel. A l'inverse, il existe encore trop peu de lien en France entre les formations aux images générées par ordinateurs et les formations aux prises de vue réelle. Pour rappel, l'émergence des productions virtuelles vient d'un besoin des réalisateurs et des chefs opérateurs de retrouver le contrôle de l'image sur le plateau, au moment de la prise de vue, et de ne plus laisser la fabrication de l'image finale aux équipes de post-production. Mais il ne s'agit pas tant d'une récupération que d'un rassemblement. Il faut donc établir un langage commun entre deux univers qui n'ont jamais eu l'habitude de travailler simultanément.

Trouver un langage commun n'est pas évident, car la lumière sur un plateau obéit à la physique, alors que la lumière d'un environnement 3D répond purement aux mathématiques. Les mots qui décrivent des phénomènes ne sont pas les mêmes que ceux qui désignent des calculs, et leur conception répond à des logiques différentes. Il convient donc de comprendre les bases de l'éclairage et des rendus d'univers 3D pour connaître les outils à disposition et leur bonne utilisation en préparation comme au tournage. En reprenant l'analogie précédente, il s'agirait de connaître les caractéristiques de ses projecteurs pour pouvoir discuter avec son chef électricien de la meilleure stratégie d'éclairage à adopter. Car de la même manière que chaque projecteur va avoir une qualité de lumière différente, chaque type d'éclairage 3D va entraîner des calculs et donc des rendus différents. Les problématiques de temps d'installation et des limites de puissance que doivent gérer le chef opérateur et le chef électricien en réel peuvent être assimilées aux enjeux de rendus en temps réel et de capacités de calculs des moteurs graphiques auquel le lighter doit faire face.

En image de synthèse, toutes les sources sont complètement paramétrables et ne constituent aucune barrière en termes de puissance, de poids ou de position. La vraie barrière se situe au niveau des temps de rendus. En effet, la manière dont une source lumineuse éclaire un objet est tout à fait indépendante de la manière dont elle peut ou non projeter des ombres. Ces aspects sont le fruit de différentes technologies dont le coût en calcul est très variable. De simples principes physiques comme la largeur d'une source déterminant l'aspect des ombres sont alors loin d'être évidents. De la même manière, toute l'illumination produite de façon indirecte n'a pas lieu d'exister « spontanément ». Cela nécessite des algorithmes spéciaux et gourmands en calcul. Le travail du lighter est donc d'une part de mettre en lumière la scène, mais aussi de gérer de manière efficace différentes manières de travailler afin d'optimiser le rapport qualité/temps de calcul suivant le budget de la production.⁶⁴

Cette sous-partie cherche donc à présenter succinctement les principes, outils et méthodes du lighting afin de mieux appréhender le travail au côté du lighter.

a. Les outils pour construire la lumière en 3D

De la même manière que le chef opérateur dispose de différents types de source de lumière, le lighter peut recourir à différents outils pour éclairer sa scène. Ces outils - généralement appelés lampes - diffèrent par leur mode de calcul. Ils offrent donc des rendus visuels différents et demandent des ressources de calculs plus ou moins importantes. On distingue principalement :

- **Les *point lights*** : La lumière est émise également dans toutes les directions en partant d'un point que l'on place dans l'espace. On peut déterminer la longueur des rayons afin de modifier le volume de la sphère de lumière.

⁶⁴ LELIÈVRE, P. (2012). *Définition du rôle de TD, Technical Director au sein des studios de fabrications d'images numériques* [mémoire de master, Ecole Nationale Supérieure Louis-Lumière, Saint-Denis, France].

- **Les *spot lights*** : La lumière est émise à partir d'un seul point à travers un cône de lumière dont on peut choisir l'angle et le rayon. On peut aussi précisément agir sur le *inner cone*, c'est-à-dire l'amplitude de la zone centrale du faisceau pour définir l'étendue de l'intensité maximale du faisceau et donc du point chaud.
- **Les *directional lights*** : On les utilise principalement pour simuler le soleil, car elles reproduisent le comportement d'une source lumineuse placée à l'infini. Toutes les ombres projetées par cette source seront parallèles.
- **Les *areas lights*** : Contrairement au spot lights et au point lights, la lumière n'est plus émise à partir d'un seul point, mais d'une surface. Les ombres paraîtront d'autant plus douces que la surface d'émission est grande. En revanche, ce type de lampe est beaucoup plus gourmand en ressources de calculs, et donc peu adapté au temps réel.

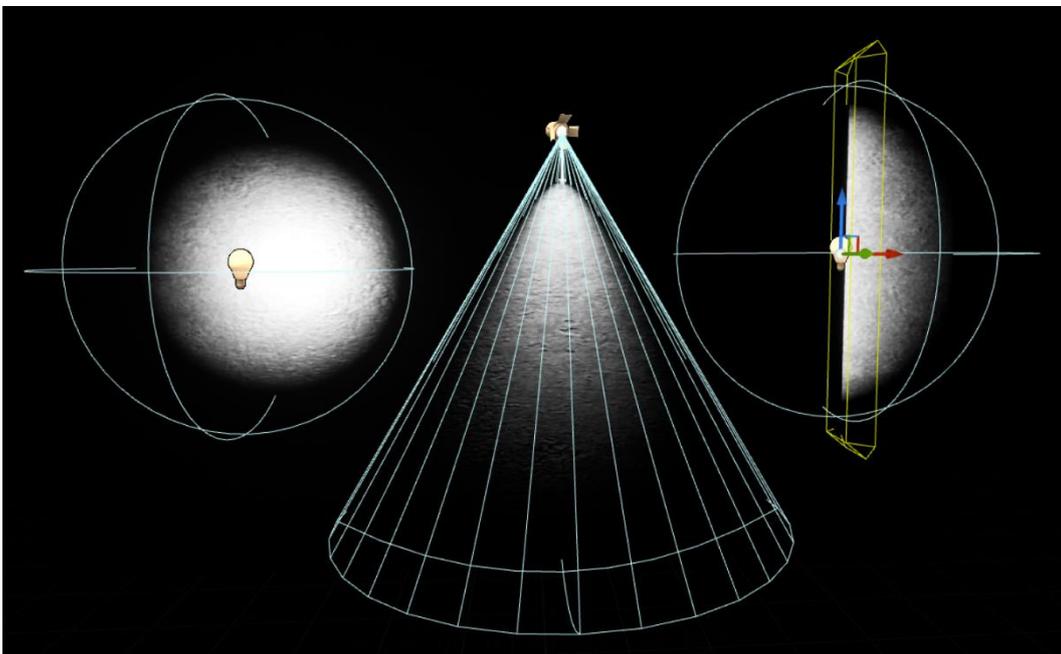


Illustration 15 : De gauche à droite : point light, spot light et area light. (Image calculée sur Unreal Engine 4.26)

- **Les *mesh lights*** : Les areas lights ont souvent la forme de rectangle (*rect light*), ou de disque. Les mesh light reprennent le même principe que les areas lights mais en prenant la forme d'un objet de la scène. Elles sont donc utiles pour créer un néon ou une enseigne lumineuse, mais encore plus gourmandes en ressources de calcul que les sources précédentes et donc non adaptées à l'éclairage de scène en temps réel.
- **La *sky light* et les méthodes d'*Image-based lighting* (IBL)** : Intégrer une sky light à sa scène revient à l'englober d'une sphère pour reproduire la lumière provenant du ciel. C'est une lumière diffuse et multidirectionnelle, car elle simule une source englobante placée à l'infini. Elle permet donc de donner un niveau de base à la scène. Au lieu d'appliquer une simple texture bleue à la sphère pour créer un ciel, il est possible de lui appliquer une image d'un environnement réel photographié à 360° et avec une très

grande dynamique lumineuse (HDRI⁶⁵) : c'est le principe de l'*Image-based lighting*. Cela permet un rendu de détails très fin dans les réflexions et augmente considérablement le réalisme de l'éclairage de l'environnement.

- **L'intégration des profils IES** : La société d'ingénierie de l'éclairage (Illuminating Engineering Society, IES) a établi un format d'enregistrement numérique des données caractéristiques d'une source réelle. Il est donc possible de rentrer les données d'un projecteur réel dans le logiciel 3D afin de recréer une source ayant la même distribution lumineuse.

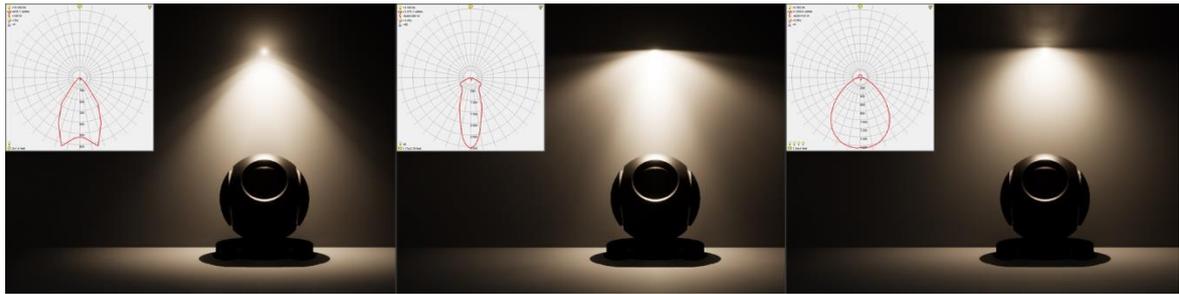


Illustration 16 : Exemple d'intégration des profils IES à des lampes 3D. (Image extraite de la documentation Unreal Engine 4)

La simple connaissance des outils à disposition permet d'imaginer une meilleure circulation entre le travail d'éclairage 3D et la mise en lumière du décor réel. Le chef opérateur pourrait ainsi trouver une place d'intermédiaire entre les graphistes et les électriciens. En sachant qu'il est possible d'intégrer des profils IES aux lampes virtuelles, le chef opérateur peut demander à son chef électricien de récupérer et lui fournir les fichiers IES des projecteurs qu'il compte utiliser afin de les transmettre aux graphistes. Cette démarche serait très à propos dans le cadre d'un prolongement de décor, c'est-à-dire un plateau où une partie d'un décor physiquement construit serait prolongé par un décor virtuel (par affichage sur écran LED ou incrustation fond vert). Les lumières de jeu et les projecteurs utilisés dans le décor réel auraient donc une reproduction identique dans l'univers virtuel, ce qui permettrait d'effacer encore plus la frontière entre le décor physique et le décor virtuel.

Plus les décisions d'éclairage virtuel sont prises en amont, plus les rendus peuvent être affinés et des stratégies mises en place pour optimiser le calcul de la scène en temps réel. En effet, nous venons de voir que le choix des lampes a un impact sur les performances du moteur graphique. Or il est possible de reproduire les effets d'une source gourmande en ressources en associant des lampes plus économes et en jouant sur quelques paramètres. Il est essentiel de garder en tête que la lumière d'un environnement 3D est entièrement paramétrable et peut se soustraire de toutes les lois de la physique. On peut notamment citer l'usage de ces quatre outils :

- **Cast Shadows** : Ce paramètre détermine si la lampe sélectionnée va projeter les ombres portées des objets qu'elle éclaire ou non. Si une lumière ne projette pas d'ombre, son

⁶⁵ Une HDRI désigne une image à grande dynamique (de l'anglais « *high-dynamic-range imaging* »).

temps de calcul est allégé. Ce paramètre peut être particulièrement utile si l'on souhaite placer plusieurs sources ponctuelles sans avoir plusieurs ombres.

- **Light Linking** : Si l'on souhaite apporter une touche de lumière sur un objet sans que son entourage soit affecté, il est possible de placer une lampe et de décider que son faisceau n'aura un impact que sur l'objet choisi. Moins une lampe éclaire d'objets, plus le rendu de sa lumière est rapide à calculer.
- **Decay** : Dans la vie réelle, l'intensité de l'éclairage diminue selon le carré de la distance entre la source de lumière et le sujet. Cette règle physique, connue sous le nom de « loi du carré inverse de la distance », est reproduite par défaut par les moteurs 3D. Mais il est tout à fait possible de changer les coefficients de déclin de l'intensité de l'éclairage. Dans le cadre d'une diminution des temps de rendu, cet outil est particulièrement utile pour limiter l'amplitude des sources. En effet, plus la surface couverte par une lampe est large, plus les temps de calcul seront longs. Pour éclairer une zone large, il vaut mieux réduire le rayon du faisceau et réduire le déclin de la lumière le long de sa course afin d'obtenir un éclairage égal. Le rendu des ombres sera en revanche différent : elles paraîtront d'autant plus douces que la lumière décroît vite.
- **Light Blockers** : Il est tout à fait possible de venir travailler les rayons en coupant certaines parties du flux lumineux comme on le ferait sur un plateau avec des drapeaux. On utilise pour cela des light blockers. Contrairement aux drapeaux, ces obstacles virtuels ne sont pas visibles lorsque la scène est lue, même s'ils sont dans le champ de la caméra.

L'usage de ces outils pour optimiser la scène demande des durées de travail qui ne s'inscrivent pas dans la temporalité d'un tournage. Dans le cadre d'une production virtuelle où le but est de fabriquer l'image au moment de la prise de vue, ce temps ne peut pas être pris en post-production : le travail doit être opéré en préparation, d'où l'importance du dialogue entre chef opérateur et *lighter* à cette étape.

b. Méthodes de rendu et lumière indirecte (Global Illumination, Rasterization/Raytracing)

Dans la réalité, lorsqu'un rayon frappe une surface, la lumière est soit réfléchi, soit absorbée, soit transmise par la surface. Si la lumière est réfléchi, alors elle va frapper d'autres surfaces qui vont-elles aussi réfléchir une partie de ces rayons vers d'autres surfaces et ainsi de suite. Les rebonds de lumière vont ainsi éclairer la scène bien au-delà des rayons qui frappent directement l'objet éclairé. La reproduction de ses rebonds de lumière est appelée *Global Illumination* (GI) dans les moteurs 3D. L'intégration de la lumière indirecte à l'éclairage finale est une des clés les plus importantes dans la construction d'une image de synthèse photoréaliste. Mais on comprend aussi la difficulté pour un moteur graphique de calculer le rendu de cette lumière indirecte : à chaque nouveau rebond, la lumière se propage dans une

infinité de directions. Plus on souhaite prendre en compte un nombre de rebonds important pour affiner le rendu de la lumière, plus le nombre de rayons à calculer augmente de manière exponentielle. Autrefois, les lighting artists utilisaient astucieusement des *spot lights* et des *point lights* pour reproduire les rebonds de leurs sources principales. De nos jours, il existe des outils pour « tricher » le rendu des rebonds, et des méthodes pour optimiser leurs calculs.

L'emploi du terme « tricher » se rapporte au fait que certaines méthodes ne jouent pas directement sur le calcul de la lumière indirecte, mais sur des effets qui en découlent. On peut par exemple citer l'*ambient occlusion* qui ne calcule pas la quantité de lumière, mais la quantité d'ombre sur chaque surface. C'est un peu comme si une immense sphère blanche englobait la scène et que l'ordinateur calculait quelle quantité de lumière de cette sphère atteignait chaque point de la scène. Naturellement, plus deux surfaces sont proches, plus la quantité de lumière entre les deux diminue. Ces zones seront donc affichées de manière plus sombre par le moteur. Cette méthode permet de donner du modelé à la scène et à renforcer l'impression de la présence de lumière indirecte, alors qu'elle ne joue en réalité que sur les ombres. Elle nécessite moins de ressources de calculs que la GI.

Les moteurs graphiques permettent cependant de nos jours de « calculer » la lumière indirecte. Pour comprendre les deux principales méthodes de calcul des images, il est essentiel d'avoir en tête que le seul et unique but d'un moteur graphique est de déterminer de quelle couleur vont être chaque pixels de l'image finale. Tous les objets virtuels, leurs textures, leurs lumières, tous les éléments que nous travaillons dans l'univers virtuel ne sont que des formules mathématiques qui viennent s'ajouter dans le calcul d'un seul et même résultat : la couleur du pixel. Comme l'explique Eran Dinur⁶⁶, « *pour obtenir une réponse d'une précision absolue, le moteur de rendu parfait devrait examiner tout ce qui dans la scène virtuelle peut, d'une manière ou d'une autre, affecter les canaux rouge, vert et bleu de chaque pixel : toutes les sources de lumière, chaque interaction de photons avec n'importe quelle surface de la scène, les différentes propriétés matérielles de chaque surface, etc. Ce moteur de rendu idéal serait ce qui se rapproche le plus d'un véritable simulateur d'interaction lumineuse.* » L'infinité des interactions lumineuses présentes dans le monde réel fait de ce moteur idéal une solution irréaliste. Il faut donc trouver des solutions pour pouvoir générer en temps réel des images les plus photoréalistes possibles. Deux principes de calculs de rendus coexistent à ce jour :

- **La rasterization** : Aussi francisée sous le nom de rastérisation ou matricialisation, la rasterization a longtemps été la méthode utilisée par les moteurs graphiques afin d'afficher une image 2D (car projetée sur un écran) d'un espace 3D. C'est un peu comme si chaque point des objets dans le champ de la caméra virtuelle faisait la synthèse de la lumière qu'il recevait, de sa couleur et de toutes les propriétés qui

⁶⁶ Eran Dinur, op. cit., p. 115. Traduit de l'anglais : « To obtain an absolutely precise answer, the ideal render engine would need to examine everything in the CG scene that may, in one way or another, affect the RGB value of each specific pixel: all the light sources, every interaction of photons with any possible surface in the scene, the various material properties of every surface, and so on. Such an ideal renderer would be the closest thing to a true light interaction simulator. »

influent sur le rendu de sa couleur, puis renvoyait ces informations de couleur à chaque pixel de la caméra.

Cette méthode de rendu permet des calculs rapides, mais ne permet pas de créer des images photoréalistes, car comme chaque surface envoie directement ses informations de couleur, l'interaction des lumières qui se réfléchissent entre chaque surface n'est pas prise en compte.

- **Le raytracing** : Plutôt que de faire partir des rayons de lumière depuis les sources et de voir s'ils atterrissent sur le capteur, le raytracing consiste à envoyer des rayons depuis chaque pixel du capteur virtuel pour remonter jusqu'à la source. Cela permet donc de prendre en compte les lumières indirectes et donc d'obtenir un résultat plus photoréaliste.

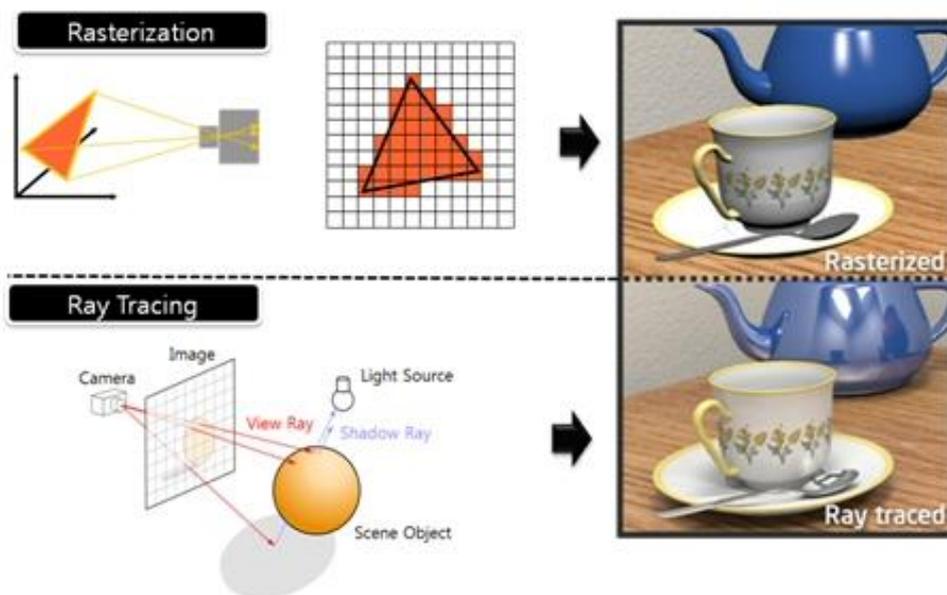


Illustration 17 : Différence de rendu entre la rasterization et le ray tracing. Avec le ray tracing, des rayons sont émis depuis chaque pixel de la caméra virtuelle pour simuler leurs interactions dans la scène 3D. L'image obtenue est plus réaliste comme le montrent les ombres autour des bords de l'assiette et les reflets dans la théière. (Illustration tirée d'une publication du Korea Advanced Institute of Science & Technology sur le Ray Tracing)

Même si le concept du raytracing remonte aux années 60, son utilisation au cinéma n'est que très récente⁶⁷. Pixar ne l'a utilisé qu'à partir de 2013 pour calculer ses images de synthèse, alors que le studio est équipé des meilleures fermes de rendus qui existent et qu'ils peuvent se permettre de laisser les ordinateurs tourner plusieurs jours pour rendre une image. Cette donnée permet de comprendre facilement pourquoi l'utilisation du raytracing en temps réel est une réelle révolution. En 2018, un des principaux constructeurs de cartes graphiques au monde, Nvidia, lance la fabrication à grande échelle de cartes supportant la technologie raytracing afin d'équiper des ordinateurs pour le grand public. Cette production lance le

⁶⁷ Castro, V. (2018, décembre 03). *Tout comprendre au ray tracing : les moteurs de jeu vidéo ont-ils trouvé leur Graal ?* Numerama. <https://www.numerama.com/tech/412041-tout-comprendre-au-ray-tracing-les-moteurs-de-jeu-video-ont-ils-trouve-leur-graal.html>

développement de nombreux jeux vidéo aux images bien plus photoréaliste qu'elles ne l'étaient avant. L'usage du raytracing prend énormément d'ampleur dans la fabrication d'images 3D en temps réel, et contribue à la conjoncture technologique ayant permis l'essor des productions virtuelles comme nous l'avons détaillé en première partie.

En tant que chef opérateur, il est donc intéressant de se renseigner sur la méthode de rendu utilisé par le prestataire auquel on fait appel. De plus en plus de productions virtuelles se tournent vers l'utilisation du raytracing en temps réel, mais les coûts des processeurs graphiques permettant de calculer les images avec cette méthode de rendu peuvent encore dissuader certains d'y recourir. Cette donnée est d'autant plus importante à prendre en compte si le décor virtuel représente un intérieur. En effet, dans un espace clos, la lumière indirecte a beaucoup plus d'incidence dans l'éclairage global qu'en extérieur. Avec la sortie de la dernière version du moteur 3D *Unreal Engine 5* en 2021 et de ses grandes avancées dans le rendu de la lumière, l'utilisation du raytracing en temps réel devrait se généraliser dans les prochaines années.

c. Comprendre les spécificités du lighting en temps réel

Lorsque l'on place des lumières virtuelles dans un environnement 3D, il est obligatoire de déterminer leur « état » au moment de la lecture de la scène. On distingue trois états différents :

- **Movable** : La source peut se déplacer dans l'espace, changer d'orientation, de puissance, de couleur... Cela en fait un choix idéal pour les lumières mobiles, comme par exemple, les phares d'une voiture.
Cet état permet plus de liberté dans le contrôle de la lumière au moment du tournage, mais elle offre une qualité de rendu de la lumière moyenne et demande énormément de ressources.
- **Stationary** : La source ne peut pas être déplacée, mais on peut toujours faire varier ses propriétés comme sa couleur ou son intensité. Cette option est recommandée pour les sources dont on peut affirmer avec certitude le placement dans le décor, mais dont on souhaite pouvoir garder le contrôle des paramètres pour pouvoir effectuer des ajustements sur le plateau afin de travailler plus finement le raccord entre décor réel et décor virtuel.
L'état stationary permet d'avoir un très bon rendu de la lumière avec une liberté moyenne au moment du tournage, et une consommation moyenne de ressources.
- **Static** : La source de lumière ne pourra subir aucune modification pendant la lecture de la scène.
Les lumières statiques offrent le meilleur rapport qualité de rendu/performances graphiques, mais elles ne laissent pas de liberté au moment du tournage.

Les lumières statiques ne sont pas modifiables pendant la lecture, car leur rendu est précalculé : la manière dont la lumière affecte les objets ne sera pas calculée à chaque image, mais « bakée »⁶⁸ dans le décor. C'est un peu comme si on appliquait une texture sur les objets qui leur peignait leurs brillances et leurs ombres. Cette texture est appelée *light map*. En *stationnary*, la *light map* de la source contient les informations relatives à son éclairage indirect et ses ombres. Si on modifie l'intensité de la source pendant la lecture, seule la lumière directe sera affectée.

Il faut donc prendre du recul face aux articles de presse et communications publicitaires des studios virtuels qui vantent un contrôle absolu de la lumière en temps réel sur le plateau. Laisser toutes les sources d'un environnement 3D en *movable* pour obtenir la plus grande liberté au moment de la prise de vue serait doublement contreproductif. D'une part, la scène aurait peu de chance de tourner en temps réel et des sautes ou gels d'image risqueraient d'apparaître. Pour donner un ordre de grandeur, le calcul d'une ombre projetée par une lumière *movable* coûtera vingt fois plus de ressources que la même lumière *stationnary*.⁶⁹ D'autre part, le rendu de la lumière indirecte et des ombres serait amoindri, l'image 3D paraîtrait donc moins photoréaliste et l'intégration réel/virtuel perdrait en crédibilité.

Le fait de penser la collaboration entre le lighter et le chef opérateur dès la préparation permet de se prémunir de ces écueils. En ayant une direction artistique claire, le lighter peut proposer un éclairage plus travaillé de la scène. Le fait de connaître à l'avance les parties du décor virtuel qui vont être filmées permet de n'éclairer que le nécessaire et là encore, de gagner en temps de calcul et qualité de rendu. En échangeant en amont sur les envies et méthodes de travail au tournage, le lighter peut plus facilement cibler les zones de liberté qu'il doit laisser au chef opérateur, et ainsi optimiser au mieux les attributions *movable/stationnary/static* entre chaque source. Dans l'autre sens, cet échange peut permettre au chef opérateur de mieux connaître les outils dont il disposera au moment du tournage et de mieux s'approprier l'éclairage de l'univers 3D. Dans ses travaux de recherche, Baptiste Lefèbvre s'attache à mettre en regard le métier de chef opérateur et celui de lighter. Même si son mémoire porte plus particulièrement sur la collaboration lors de la post-production, les conclusions qu'ils tirent à la fin de son mémoire semblent trouver encore plus de résonance dans le cadre d'une production virtuelle :

Il n'est pas nécessaire pour le chef opérateur d'aller effectuer lui-même toutes les tâches de lighting ou de compositing pour conserver cette cohérence. Ce ne serait de toute façon pas possible pour lui, car ce sont des tâches hautement techniques : si à présent un chef opérateur peut transposer plus facilement son travail en synthèse grâce à des moteurs de rendu plus respectueux de la physique, il ne pourrait pas effectuer de travail de lighting sans une longue formation. Dans cette optique, le lighting (et le compositing) supervisés par un chef opérateur

⁶⁸ De l'anglais « to bake » qui signifie « cuire ». Une image et une texture « cuites » ensemble ne peuvent plus être séparées.

⁶⁹ D'après les données des développeurs du moteur Unreal Engine : https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/Resources/ContentExamples/Lighting/2_3/

viendraient s'intégrer naturellement dans un processus de production où prise de vues réelles et images de synthèse s'intègrent naturellement l'une dans l'autre, le lighting occupant une place intermédiaire, empruntant des caractéristiques à la fois à l'éclairage sur le plateau et à l'étalonnage numérique. L'important n'est pas de centraliser toutes les décisions, mais de parvenir à partager une vision de l'image avec ses collaborateurs de la façon la plus juste et précise, ce qui passe avant tout par la communication entre les différents membres de l'équipe, et ce à toutes les étapes, de la préparation à la post-production. Il ne s'agit pas seulement de multiplier les réunions et les discussions, mais il s'agit également pour chacun d'effectuer son travail, c'est-à-dire de produire des images et de confronter les résultats de leurs travaux afin que, sous la supervision du chef opérateur, la direction de la photographie (pas au sens du fait de diriger, mais d'une orientation) émerge progressivement.⁷⁰

Avant, lorsque le travail d'intégration était relégué en post-production, le raccord de lumière entre réel et virtuel incombait plus aux graphistes qui s'attachaient à reproduire un lighting cohérent avec les directions de lumière prises par le chef opérateur au moment du tournage. Maintenant que l'intégration est visible dès la prise de vue, cette cohérence est à travailler au moment du tournage et retombe donc sous la responsabilité du chef opérateur. Si ce dernier n'a pas les moyens de s'investir dans la préparation de l'environnement virtuel, alors il peut se sentir prisonnier d'un exercice d'éclairage qui lui imposerait de faire raccorder la lumière du plateau à celle des découvertes reçues. La démarche inverse qui consisterait à éclairer idéalement la scène réelle pour tenter ensuite de rééclairer le décor virtuel de manière similaire serait elle aussi contreproductive et risquerait d'amener beaucoup de frustrations. Pour ne pas subir l'exercice de raccord, la meilleure solution est donc de penser conjointement l'éclairage du décor réel et du décor virtuel, afin de créer de l'interaction entre les deux. Pour créer cette interaction, le chef opérateur doit travailler avec les lighters de la même manière qu'il travaille son équipe d'électriciens. Sans en maîtriser la manipulation, la simple connaissance des outils à sa disposition pour éclairer une scène 3D peut lui permettre de mener au mieux cette collaboration.

⁷⁰LEFEBVRE, B. (2017). *Éclairer les images de synthèse : les outils et techniques du département lighting en regard avec le poste de chef opérateur*. [Mémoire de master, Ecole Nationale Supérieure Louis-Lumière, Saint-Denis, France]. <https://www.ens-louis-lumiere.fr/index.php/eclairer-les-images-de-synthese-les-outils-et-techniques-du-departement-lighting-en-regard-avec-le>

Chapitre 2. Collaboration avec l'équipe décoration : appréhender l'interaction entre décor réel et virtuel

Dans un workflow plus complexe que celui des tournages traditionnels, les allers-retours se multiplient entre les départements lors de la préparation, et il peut sembler plus compliqué d'établir un dialogue entre chefs de poste. Pourtant, plus que jamais en production virtuelle, il est essentiel de placer cette collaboration au cœur des méthodes de travail afin de pouvoir mieux penser le raccord entre le réel et le virtuel.

a. Dans le virtuel : penser conjointement décor 3D, lighting et direction artistique

Lors d'un tournage traditionnel, il est d'usage que le chef opérateur et le chef décorateur participent ensemble aux repérages et réfléchissent ensemble aux manières de mieux donner du sens aux espaces. En France, le poste de directeur artistique est encore peu reconnu et employé sur des productions cinématographiques, et il incombe souvent au chef opérateur d'assurer une forme de cohérence visuelle entre le travail de l'équipe décoration et celui du département HMC⁷¹. En prenant part aux décisions relatives au décor, le chef opérateur prend parfois à sa charge l'aménagement de volumes dans le plan, et de comment ces volumes se répondent et interagissent pour créer une dynamique dans le cadre.

Le retard qu'on a [en France] avec le fond vert et les productions virtuelles, c'est parce qu'on a perdu notre culture du studio, notre culture de l'interaction, de la décoration en fonction du cadre. La plupart des chefs décorateurs français ne savent pas cadrer. Ils te présentent un décor en plan large, mais ils vont pas te dire, là il y a un plan, là il y a un plan et là il y a un plan. Le meilleur chef décorateur avec qui j'ai travaillé, un québécois qui travaille avec Villeneuve, il me disait "*Moi mon plaisir sur un tournage, quand je construis un décor, c'est le premier jour des rushes où je vois que l'opérateur et le réalisateur ont mis la caméra exactement là où je voulais que mon décor soit filmé.*" Le cinéma français est un cinéma d'enssembler. Tu es sans cesse en train de faire redescendre les tableaux, bouger les meubles, etc. Quand tu fais du fond vert, tu devrais avoir des chefs décorateurs, des metteurs en scène et des gens pour qui c'est le métier de créer du volume pour le retranscrire dans de l'espace 2D. Les opérateurs ne devraient pas demander d'avoir des profondeurs en plus dans le plan, c'est au chef décorateur de prendre ce travail-là en charge.⁷²

Lors de la préparation d'une production virtuelle, le travail de création du volume doit se faire à deux niveaux différents : le réel et le virtuel. Il faut alors penser ces espaces ensemble pour que l'un ne soit que le prolongement apparent de l'autre. Si des éléments du décor 3D se

⁷¹ Département regroupant les équipes en charge de l'habillage, du maquillage et de la coiffure.

⁷² Extrait de l'entretien avec Pierre Cottureau. (Annexe 1)

retrouvent à l'identique dans le réel, alors l'interaction entre l'avant-plan et l'arrière-plan se crée et une dynamique de lecture à l'intérieur du plan peut être travaillée.

Quand tu fais du fond vert, souvent, tu oublies le mouvement. Et le mouvement, ce n'est pas qu'un déplacement des personnages. C'est le mouvement de l'œil du spectateur dans l'image. Le petit éclat de lumière sur la voiture au sixième plan de l'image qui va se réfléchir sur l'avant-plan flou, ça va faire diversion entre ton fond vert et ton incrustation qui ne sont pas forcément de la meilleure qualité. Il faut créer des événements, du mouvement à l'intérieur du mouvement. Avec Les Tontons Truqueurs, comme on faisait un coucher de soleil, c'était intéressant que la voiture passe parfois à l'ombre, parfois dans la lumière. Si tu n'as que du coucher de soleil pour deux minutes de scène, au bout du compte, tu comprends le dispositif.⁷³

Lors de mon stage chez Les Tontons Truqueurs, j'étais surprise de me retrouver à dialoguer beaucoup plus avec l'équipe décoration qu'avec le département image lors du lighting des scènes. Les sources de lumière étaient placées de sorte à former un agencement harmonieux de lampe et pas en fonction des directions de lumière à créer. La cheffe décoratrice m'indiquait ainsi là où elle souhaitait que je place les sources et j'essayais, à partir de cet emplacement, de créer une lumière cohérente. Souvent, mon éclairage final des scènes 3D était beaucoup plus neutre, voire plat, que si j'avais éclairé un décor réel en tournage. Comme je n'avais que les retours de la cheffe décoratrice et que je travaillais à côté de la graphiste qui avait créé le décor virtuel, j'avais spontanément cherché à rendre visible ce décor pour mettre en avant leur travail. De plus, n'étant pas la cheffe opératrice du projet, j'essayais de créer l'éclairage le plus « simple » possible pour laisser un maximum de liberté au moment du tournage. En réalité, comme les chefs opérateurs n'intervenaient pas dans la salle graphiste avant la livraison du décor sur le plateau, ils n'avaient pas nécessairement conscience de la marge de manœuvre qu'ils avaient pour retoucher le lighting du décor virtuel : par conséquent, ils ne se servaient pas des outils à disposition.

b. Dans le réel : créer des volumes et des surfaces pour sculpter la lumière

Comme nous l'avons déjà beaucoup développé, la question de l'interaction entre le décor réel et le décor virtuel est centrale pour donner l'illusion qu'ils ne forment qu'un seul élément. Si l'intégration ne fonctionne pas très bien (manque de photoréalisme du décor 3D, démarcation...), il est tout à fait possible de demander à l'équipe décoration de rajouter des éléments en avant plan, afin de stratifier le cadre et de donner moins d'importance au décor virtuel.

Quand je faisais des films historiques sans pouvoir remplir les fonds parce qu'il n'y avait pas un rond, je mettais un avant plan. Il était flou, mais comme ça le premier plan devenait le deuxième et le deuxième devenait le troisième. [...] Les vraies questions sont des questions de

⁷³ Ibid.

stratification. Je n'avais pas de problème avec l'écran LED parce que dans une voiture, ton premier plan c'est le personnage qui conduit, ton deuxième plan c'est l'habitacle de la voiture, et le troisième plan c'est le paysage.⁷⁴

Il est également très important de penser l'interaction du comédien avec ce décor. On peut différencier différents types d'interactions :

- **Interaction directe du comédien avec les éléments du décor**

A la demande de la production de la série télévisée *Un si grand Soleil*⁷⁵, Les Tontons Truqueurs ont réalisé en début d'année une série de tests pour pousser plus loin l'intégration en temps réel. Les producteurs de la série voulaient en effet se rendre compte s'il était possible de ne plus se limiter à la prévisualisation de découverte ou de prolongement de décor, mais bien d'incruster des environnements entiers dans des studios complètement verts. Plusieurs décors ont été testés (bush australien, cellule de prison, pièces de musée, cellule de prison...), tous créés grâce à des moteurs graphiques 3D. Les résultats les plus convaincants étaient obtenus lorsque le personnage interagissait directement avec le décor virtuel. Par exemple, sur le décor représentant une cellule de prison, le comédien s'amusait à faire rebondir une balle sur l'un des murs. Un panneau vert avait été positionné sur le plateau à l'emplacement exact du mur virtuel sur lequel était censée rebondir la balle. Ainsi lorsque le comédien lançait la balle, nous avions l'image en temps réel des rebonds de la balle réelle contre le mur virtuel.

Ce genre de petites interactions permet efficacement de plonger le spectateur dans l'illusion. Comme la balle rebondit contre le mur de la cellule, le réel entre en contact avec le virtuel, il n'y a plus de frontière hermétique entre deux natures d'image, mais un seul et même photogramme. Le spectateur ne cherche plus la démarcation entre ces deux univers et peut se plonger pleinement dans la narration. Ce genre de dispositif est connu et utilisé depuis des années par les VFX, mais dans le cadre de production virtuelle où les effets sont réalisés en temps réel et non plus en post-production, il est important de penser en amont ces interactions.

- **Effets de la lumière du décor sur le comédien**

Dans la continuité des essais que nous venons d'évoquer, une séquence encore plus ambitieuse avait été commandée par la production. Le décor représentait cette fois-ci une salle vide dans une école soviétique abandonnée. Le personnage devait rentrer par la porte du fond, longer les fenêtres qui donnaient sur une forêt ensoleillée, ouvrir une fenêtre et fumer en s'appuyant sur son rebord. Lucas Sousseing, opérateur et graphiste chez Les Tontons Truqueurs, avait en charge la supervision de cette séquence. La consigne étant d'incruster le plus de décor virtuel possible, la difficulté était double. D'une part, il fallait que le comédien ait réellement une porte et une fenêtre à ouvrir et donc des éléments physiques qui se superposent parfaitement aux éléments virtuels. D'autre part, il fallait pouvoir reproduire des

⁷⁴ *Ibid.*

⁷⁵ Série produite par France Télévisions Studios.

alternances de luminosité correspondant aux passages devant une fenêtre, puis un mur, puis une autre fenêtre... sans reconstruire toute la pièce sur le plateau.

Lucas a donc réfléchi aux meilleures solutions, et a coordonné les équipes de décoration et de lumière pour recréer sur le plateau les éléments nécessaires à la bonne intégration du décor virtuel. Pour cela, il a d'abord relevé toutes les mesures des châssis de porte et de fenêtre, ainsi que leur positionnement dans l'espace et a donné des références visuelles aux constructeurs pour reproduire à l'identique la porte et la fenêtre que le comédien avait besoin d'ouvrir. Seuls les éléments nécessitant une manipulation directe du personnage étaient peints et patinés de manière à parfaitement correspondre à ceux de l'environnement virtuel. Cette porte et cette fenêtre étaient montées sur des châssis verts, et placées avec une très grande précision dans le studio de manière à être espacées et orientées exactement comme dans l'univers 3D.



Illustration 18 : Seuls les éléments de décor avec lequel le comédien a besoin d'interagir sont reconstruits en réel. Ici, le personnage devait entrer dans la pièce et ouvrir une fenêtre : l'équipe décoration a donc reconstruit ces éléments sur des châssis verts afin de les intégrer au décor virtuel.

Comme le soleil virtuel était rasant, il fallait que l'on retrouve la découpe de ses rayons à travers les fenêtres sur le plateau. Pour cela, Lucas a fait construire des éléments verts de différentes tailles afin de retrouver les mêmes découpes qu'en virtuel. Ces éléments étaient peints en vert et donc remplacés par les murs virtuels du décor 3D. Une rangée de projecteurs HMI était suspendue en hauteur et permettait de recréer les rayons du soleil qui venaient parfaitement se découper sur les éléments verts.

En revanche il était très dur de recréer les volutes de lumière présentes dans le décor 3D, où un brouillard virtuel « matérialisait » les rayons. Si l'on ne rajoutait pas de fumée sur le plateau, le visage du comédien se découpait trop nettement dans le rayon virtuel. En rajoutant de la fumée sur le plateau pour matérialiser les rayons réels, on délavait le vert des fonds, ce qui complexifiait le processus de keying. La seule solution a été de baisser la quantité de brouillard virtuel pour ne plus avoir de problème de raccord. Ce genre d'effet se traite très bien en postproduction, mais nécessite encore quelques améliorations pour pouvoir être réalisé en temps réel sur un plateau en fond vert (rajouter de la fumée ne pose pas de problème devant un écran LED).

Il est donc très important de connaître le décor virtuel et comment celui-ci sculpte la lumière 3D afin de pouvoir anticiper au mieux l'aménagement du plateau de tournage et de prolonger cet effet. La collaboration avec l'équipe décoration est donc primordiale pour nous permettre d'avoir les éléments nécessaires pour sculpter les rayons. Leur fabrication prenant plusieurs jours, il faut élaborer les plans de feu assez en amont pour pouvoir travailler de manière optimale au moment du prelight.

- **Effets du comédien sur la lumière du décor**

Selon les propriétés physiques des surfaces avec lesquelles nous interagissons et l'orientation de la lumière qui nous éclaire, nous projetons notre ombre sur cette surface ou bien nous inscrivons notre reflet dessus. Si la surface que nous affichons est virtuelle, alors il faut artificiellement recréer cette interaction.

L'effet du comédien sur la lumière du décor virtuel est extrêmement compliqué à négocier dans un environnement de mur LED. Les plus gros studios proposent de compléter leurs murs LED par des dalles spécifiques pour le sol. Mais en recréant un sol avec une surface émissive, la lumière renvoyée par les dalles casse les ombres et les reflets des personnages qui progressent dessus. Augmenter l'intensité des sources qui éclairent les comédiens pour marquer l'ombre plus fortement ou augmenter la quantité de lumière réfléchi ne sert à rien dans ce cas : cela ne fera que délayer l'image qui s'affiche au sol. Dans le cadre d'un rouling, on pourrait envisager de créer une zone d'ombre un peu tremblante sur le décor virtuel qui s'affiche sous la voiture. Comme le véhicule est fixe dans le studio, il n'est pas compliqué de prolonger son ombre dans l'espace 3D en créant un masque assombrissant sur la route qui défile. Mais dès que des personnages vont évoluer dans le décor, la manipulation deviendra

quasiment impossible. Pour ces raisons, peu de productions cinématographiques ont recours à des sols de LED. Cet outil est plutôt utilisé pour de l'événementiel (défilé, démonstration) ou des productions qui ne cherchent pas à imiter le réel (clip, publicité).

En revanche, cette interaction peut être astucieusement recréée dans le cadre d'un tournage en fond vert où l'incrustation se fait en temps réel. L'ombre ne posera pas de problème avec des outils de keying performants qui pourront faire la différence entre le niveau de vert de référence et le niveau de vert surplombé d'une ombre, et appliquer cette différence de luminosité sur les surfaces virtuelles. Pour les reflets, il faudra retravailler les textures des surfaces vertes du studio. En effet, ces dernières sont souvent mates. Or, si notre personnage se promène sur du carrelage, nous voulons retrouver son reflet sur le sol virtuel. Pour cela, il suffit de placer des matériaux transparents réfléchissants là où les personnages vont se déplacer (plaque de plexi, film plastique autocollant...). Plus ce travail est anticipé en amont, plus il sera possible de trouver le matériau le plus adapté pour recréer telle ou telle qualité de réflexion.

Dans tous les cas, le plus simple reste de recréer un sol réel, au moins au niveau des zones sur lesquelles le personnage va se déplacer, même si cela engendre plus de frais. A défaut, le découpage peut être pensé de sorte à ne pas filmer le sol. Là encore, même si ce travail revient à l'équipe décoration, il convient, en tant que chef opérateur, de veiller à tout ce qui concerne les interactions entre lumière, décor et comédien.

Chapitre 3. Quelle solution adaptée pour quelle économie de tournage ?

Depuis leur essor en France, les productions virtuelles peinent à se démocratiser et restent majoritairement utilisées pour quelques séquences de longs-métrages à gros budget. Les prix des dalles de LED, des processeurs, des solutions de tracking et de tous les équipements dont les prestataires doivent faire l'acquisition les obligent à afficher des prix de location élevés pour rentabiliser leurs investissements. Dans quel cas se tourner vers la production virtuelle ?

a. Décor naturel, fond vert ou écran LED : comment choisir ?

Le rôle du chef opérateur est de proposer les solutions techniques les plus adaptées pour répondre aux besoins de la mise en scène. Il ne s'agit pas simplement de choisir l'outil le plus avancé technologiquement, le plus spectaculaire ou celui offrant le plus de possibilités techniques. Le budget alloué au département image, comme les dépenses des autres postes, doivent être cohérents par rapport aux besoins et aux moyens du film. *« Où est l'endroit économique où c'est le plus intéressant ? L'économie étant bien employée, ça devient riche artistiquement, ça devient riche en créativité, ça devient riche en termes de possibilités techniques, artistiques, en possibilité de cinéma. J'ai l'impression que ça, il n'y a aucun des systèmes qui ne posent quelque chose de clair économiquement dans l'architecture actuelle de la production en France. »*⁷⁶

Voici un tableau regroupant les principales raisons qui ont poussé les équipes que j'ai pu rencontrer où dont j'ai lu les retours d'expérience dans des articles à se tourner vers la production virtuelle. Pour chaque motivation, il est précisé à la fois s'il est plus pertinent de se tourner vers des pelures 2D ou 3D, et vers un studio fond vert ou un studio LED :

Contraintes techniques ou logistiques majeures pour la mise en scène	Pelure 2D	Pelure 3D	Fond vert	Murs LED
<ul style="list-style-type: none"> Contrainte de lieux : Le décor où se déroule l'action est un lieu public difficile privatisable (musée, château), où l'on risque de gêner les usagers (lieu de travail, hôpital) ou il est difficile d'obtenir des autorisations de tournage (rue de Paris, prison). Si c'est un lieu connu, il existe peut-être une modélisation 3D par photogrammétrie du décor, auquel cas, ce ne sera pas très dur de le reconstruire en 3D. 	✓	✓	-	-

⁷⁶ Ibid.

<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes visuelles : Le décor et les costumes comportent beaucoup de surfaces réfléchissantes. 	–	–	×	✓
<ul style="list-style-type: none"> • Temps de la journée et conditions météorologiques : Des séquences ont lieu à un même endroit, mais à différents moments de la journée et de la nuit : faire varier la position du soleil en quelques clics permet d'enchaîner ces séquences sans devoir placer des journées mixtes ou des récupérations. A l'inverse, si l'on a besoin de tourner beaucoup sur un même décor à un moment très précis, l'usage d'un environnement virtuel dont on a le contrôle du temps qui passe est pertinent. 	×	✓	–	–
<ul style="list-style-type: none"> • Immersion des comédiens : Les comédiens doivent être attentifs à un environnement riche qui les entoure pour adapter leur jeu. Cette immersion repose sur le chaos de l'environnement qui les entoure. 	✓	×	×	✓
<ul style="list-style-type: none"> • Interactions des comédiens avec leur environnement : Les comédiens doivent pouvoir ouvrir la porte d'un décor, se promener le long des fenêtres, monter sur des éléments alors que l'environnement doit majoritairement être virtuel. 	×	✓	×	✓
<ul style="list-style-type: none"> • Décor fantastique, imaginaire : Il n'est pas possible de recréer un décor dans la vraie vie, ou bien c'est trop cher. 	×	✓	–	–
<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité et sécurité des comédiens : Si les comédiens doivent avoir des horaires réduits (enfants, personnes âgés). Un comédien pourra plus facilement se concentrer sur son jeu s'il n'a pas à se concentrer sur la route : le rouling est plus sécuritaire en studio. 	–	–	–	–
<ul style="list-style-type: none"> • Grand espace et champ de vision : Ma caméra a besoin d'aller au-delà du fond vert ou de l'écran disponible sur le plateau, tout en continuant à afficher le décor. 	×	✓	–	–
<ul style="list-style-type: none"> • Prise de son synchrone : Les personnages doivent échanger un dialogue long et important dans un décor bruyant ou un véhicule motorisé. Si la prise de son synchrone est un élément important de la mise en scène, tourner en studio sera plus confortable. 	–	–	–	–
<ul style="list-style-type: none"> • Contraintes de temps : Beaucoup de petites scènes s'enchaînent dans des décors différents, éloignés géographiquement, et les délais de tournage sont limités. Il peut être plus rentable d'envoyer une personne réaliser des pelures de ces endroits en amont, plutôt que toute l'équipe s'y rende physiquement ou de tout recréer en 3D. 	✓	×	–	–

Légende :

✓ Usage pertinent de la technologie.

× Usage déconseillé de la technologie.

– Contrainte n'ayant pas d'influence sur le choix de la technologie.

Quelles conclusions tirer de ce tableau ? Tout d'abord, on remarque que le débat « mur LED ou fond vert », actuellement très à la mode, n'est pas si pertinent. Dans les raisons évoquées ci-dessus, on retrouve majoritairement des questions bien antérieures aux productions virtuelles, où l'enjeu était simplement de savoir s'il valait mieux tourner en studio ou en décor naturel. Les murs LED ou prévisualisation sont dans la plupart des cas un confort supplémentaire, mais pas des outils indispensables.

On remarque également que la question « pelure 2D » ou « pelure 3D » revient plus souvent que la question « fond vert » ou « murs LED ». Les pelures 2D sont beaucoup plus économiques à réaliser, car elles ne nécessitent que quelques techniciens à la prise de vue, là où les pelures 3D requièrent toute une équipe de graphistes pour leur modélisation. La malléabilité des pelures 3D permet cependant d'accélérer le tournage sur le plateau, ce qui peut devenir rentable à partir d'un certain temps d'utilisation.

Si l'on s'intéresse vraiment aux avantages techniques d'une solution plutôt que d'une autre, on peut s'accorder sur le fait que le fond vert offre plus de possibilités d'interactions avec le décor, là où le mur LED offre une meilleure immersion pour les comédiens et une plus grande qualité de reflets. Mais ces quelques points ne sont pas suffisants pour opter pour une méthode plus qu'une autre tant leurs coûts sont différents actuellement. Lorsque Pierre Cottureau dit qu'*il n'y a aucun des systèmes qui ne posent quelque chose de clair économiquement dans l'architecture actuelle de la production en France, c'est qu'il n'existe pas de schéma à suivre pour déterminer à l'avance quelle solution est la plus adaptée. Il ne serait pas pertinent de penser que lorsqu'on a une séquence de rouling, il faut systématiquement recourir à un plateau de murs LED, car le véhicule est réfléchissant et les comédiens ont besoin de regarder le paysage qui défile pour mieux jouer. Ces arguments sont vrais, mais il faut les mettre en regard de leur réalité économique. « Si tu as deux séquences de voiture dans ton film, tu vas les tourner en une journée, ça va te coûter une journée de tournage et autour de 4000€ pour louer une voiture travelling et payer des renforts pour bloquer les rues. Si tu fais du fond vert pour une journée, tu vas être autour de 15000€. Si tu vas sur un plateau virtuel, c'est tout de suite entre 25000€ et 35000€ la journée. Et tu te retrouves sur quelque chose où tout coûte plus cher, tu n'as pas la main techniquement et tu ne sais pas où tu gagnes artistiquement. »⁷⁷*

Sur *Une belle Course*, beaucoup de facteurs ont fait de l'usage des murs LED un choix rentable et cohérent artistiquement avec les besoins du film : cinquante minutes du film se passent en voiture, le personnage principal incarne un conducteur de taxi et doit tout du long s'immerger, interagir avec la route, et les assurances ne souhaitent pas que Line Renaud ne tourne plus de quatre heures par jour en raison de son grand âge. A l'inverse, sur *Tu ne tueras plus*, comme le rouling ne représentait que quelques minutes du film, le choix de tourner en fond vert avec les solutions de prévisualisation et d'interactivité proposées par Les Tontons Truqueurs était beaucoup plus cohérent. Ces séquences avaient lieu à des moments différents du jour et de la nuit : tourner les séquences les unes à la suite des autres avec un décor 3D dont on pouvait régler la course du soleil était plus économique que d'étaler le tournage sur plusieurs jours (journée mixte, récupération après la nuit...).

⁷⁷ Ibid.

Le rendu de l'image est donc loin d'être le seul facteur entrant en jeu dans l'équation des productions virtuelles. Une bonne connaissance des implications de chaque solution permet de choisir celle qui conviendra le mieux aux besoins et aux moyens du projet.

b. Augmenter la préparation pour réduire la post-production : un choix rentable ?

Lorsque les effets visuels sont réalisés en post-production, seuls les plans sauvés au montage bénéficient d'un traitement particulier. Cela ne représente donc qu'une petite partie de toute la matière filmique : lors d'un tournage, le réalisateur tourne la plupart du temps plusieurs prises d'un même plan, ne garde que quelques secondes de ces plans, voire supprime des séquences entières au montage. Si les effets spéciaux étaient réalisés sur chaque rush avant le montage, une grande partie de ce travail finirait donc à la poubelle et représenterait une énorme dépense inutile. La démarche des productions virtuelle est de ramener le contrôle des effets visuels au moment du tournage. Par conséquent, il faut que les effets soient préparés à l'avance pour être réalisés sur chaque prise du tournage, peu importe leur utilisation au montage. Vue sous cet angle, la question est vite tranchée : augmenter le temps de préparation pour réduire la post-production n'est pas un choix rentable.

Pour l'instant, les projets où le recours aux productions virtuelles est rentable sont surtout des séries, où des formats comprenant des décors récurrents. On peut citer par exemple la série quotidienne *Un si grand Soleil*, qui doit fournir une vingtaine de minutes utiles chaque jour de la semaine, toute l'année. Les outils que leur fournissent Les Tontons Truqueurs leur permettent d'assurer une production à flux tendus, en ramenant un maximum de décor en studio et en allégeant les temps de post-production.

Dans les prochaines années, l'amortissement des investissements des studios en équipement de murs LED devrait leur permettre de proposer des prix de location plus abordables. Ces solutions sont modulables et il n'est pas obligatoire d'avoir des murs incurvés, des bandeaux, des sols et des plafonds dans un immense studio pour avoir des résultats satisfaisants. Un mur simple, plat, peut tout à fait suffire dans la majorité des cas. Si l'on doit tourner une longue séquence devant un paysage au soleil couchant, on peut tout à fait imaginer tourner les plans larges en décor naturel, réaliser une pelure 2D de ce décor juste après les prises, puis tourner les plans plus serrés en studio devant un mur qui affichera la pelure. Dans ce cas-là, le temps gagné permettra de rentabiliser la location du mur LED.

En production virtuelle encore plus qu'ailleurs, la réussite repose sur la préparation. En établissant un découpage précis, en ayant une idée détaillée du montage, on évite au maximum de réaliser des effets qui ne serviront pas par la suite, et donc des dépenses inutiles. Mais la préparation n'est pas qu'un moyen d'être rentable : c'est avant tout un temps pour échanger, s'accorder autour d'une même vision artistique, et inventer les solutions qui permettront à la mise en scène de s'exprimer librement au moment du tournage.

Conclusion

Nous l'aurons donc bien compris, l'émergence des productions virtuelles n'est pas une révolution qui va bouleverser l'industrie cinématographique.

Ce n'est pas une révolution, car elles n'inventent pas de nouvelles techniques : elles ne font que rassembler des innovations d'autres domaines. En reprenant des équipements destinés à l'événementiel et en les associant à des solutions issues du monde des jeux vidéo, les plateaux virtuels proposent une nouvelle manière de visionner et créer des images. Mais ces nouvelles possibilités s'accompagnent de nouvelles contraintes techniques : en assemblant des outils qui n'ont été conçus ni pour fonctionner ensemble ni pour le cinéma, les plateaux virtuels requièrent quelques précautions pour ne pas révéler le dispositif. Une bonne compréhension des outils mis en œuvre permet d'éviter la plupart des écueils en les anticipant, et en choisissant les technologies les plus adaptées aux enjeux et aux moyens de chaque projet.

Et cela ne va pas bouleverser l'industrie cinématographique dans sa manière de produire des images, mais simplement lui offrir des outils supplémentaires pour les créer. Tous les effets réalisables en production virtuelle étaient déjà réalisables par le département VFX en post-production depuis des années. La production virtuelle n'est qu'une manière de ramener ces décisions, traditionnellement tranchées par l'équipe de post-production, au moment du tournage. Le réalisateur et le directeur de la photographie peuvent donc avoir un meilleur contrôle de leur image finale.

Il faut également prendre du recul face aux annonces de fabricants et des articles de presse qui annoncent que les murs LED permettent d'éclairer directement la scène avec l'image des décors. Afficher un décor et éclairer une scène sont bien deux actions différentes, et il convient de choisir les écrans et les paramétrages les plus adaptés pour chacune de ces deux tâches. Pour l'instant, les murs LED ne peuvent pas entièrement se substituer aux projecteurs traditionnels de cinéma dont l'indice de rendu des couleurs reste considérablement supérieur.

Intégrer des éléments réels et des éléments virtuels pour donner l'illusion qu'ils ne forment qu'une seule et même image reste l'enjeu principal des productions virtuelles. Pour qu'une image ait l'air photoréaliste - c'est-à-dire qu'elle semble être une représentation photographique du réel - la capacité des moteurs graphiques à simuler le comportement physique de la lumière n'est plus le seul facteur à entrer en jeu. Il faut, en tant qu'opérateur, se retrouver dans un dispositif qui nous permette de fabriquer des images comme on le ferait sur un tournage traditionnel : jouer avec des défauts optiques, faire varier le diaph, réfléchir le mouvement de caméra en fonction du point de vue... La richesse des pelures, le prolongement de la lumière virtuelle en lumière réelle et toutes les interactions du comédien avec les différentes strates du décor contribuent également à créer une image « photoréaliste », dans la mesure où ils viennent brouiller la frontière entre réel et virtuel. Ce travail d'interaction est

à mener en collaboration avec les graphistes et les décorateurs de l'équipe et nécessite de comprendre les enjeux de chacun afin de proposer la solution la plus optimale au moment du tournage.

Les fabricants impliqués dans la conception des outils mis en œuvre en production virtuelle en ont compris l'essor et l'exigence de la qualité des images au cinéma. On peut donc espérer des améliorations technologiques des murs LED, des systèmes de tracking, des processeurs, des outils de calibration, et surtout des moteurs de rendu dans les prochaines années, si bien que la plupart des précautions techniques détaillées dans ce mémoire tomberont en désuétude. Couplées à une démocratisation de leur location, ces améliorations techniques permettront une prise en main plus facile par les équipes de tournage. En s'appropriant ces outils, metteurs en scène et chefs opérateurs pourront mieux se départir de la lourdeur technique du dispositif afin de se consacrer pleinement à la fabrication de nouvelles images de cinéma.

Bibliographie

Livres :

- DINUR, E. (2021), *The Complete Guide to Photorealism for Visual Effects, Visualization and Games*. Routledge.
- RICKITT R. (2006), *Special Effects: The History and Technique*. Aurum Press.
- Réjane Hamus-Vallée, Caroline Renouard, *Les effets spéciaux au cinéma 120 ans de créations en France et dans le monde*, Paris, Armand Colin, 2018
- HAMUS-VALLEE, R. (2017), *Effets spéciaux : crevez l'écran !*. Paris, Éditions de La Martinière.
- HAMUS-VALLEE, R. (2016), *Peindre pour le cinéma ; une histoire du matte painting*. Villeneuve d'Ascq, PUS.
- HAMUS-VALLEE, R. et RENOUARD, C. (2015) *Superviseur des effets visuels pour le cinéma*. Paris, Eyrolles.
- CST (2021), *Le studio de tournage de demain*, https://www.cst.fr/wp-content/uploads/2021/07/CST_DOSSIER_STUDIO_-TOURNAGE.pdf

Mémoires :

- LEFEBVRE, B. (2017). *Éclairer les images de synthèse : les outils et techniques du département lighting en regard avec le poste de chef opérateur*. [Mémoire de master, Ecole Nationale Supérieure Louis-Lumière, Saint-Denis, France].
- LELIÈVRE, P. (2012). *Définition du rôle de TD, Technical Director au sein des studios de fabrications d'images numériques* [mémoire de master, Ecole Nationale Supérieure Louis-Lumière, Saint-Denis, France].

Articles :

- HOLBEN J. (Janvier 2010). "Conquering New Worlds". *American Cinematographer*, n°91, Issue 3.
- HOLBEN, J. (2020). "The Mandalorian". *The American Cinematographer*, Volume 101, Issue 2.
- REUMONT, F. (2021). « Produire en Virtuel ». *Contre-Champ AFC*, n°320.
- DE MARI, A. (2021). « L'essor des studios virtuels : un an après, bilan d'une industrie en plein boom ». *Mediakwest*, n°43.
- MOLAS, C. (2021). NVIDIA RTX A600 : Performance amplifiée pour la production virtuelle. *Mediakwest*, n°44.
- KADNER N. (2021). "Color Fidelity in LED Volumes". *American Cinematographer*, n°101-12.
- KADNER N. (2021). "Lighting for LED Stages". *American Cinematographer*, n°102-09.

Conférences :

- Academy's Science and Technology Council. *Virtual Production: Are You Game?* Conférence en ligne disponible sur le site de l'Académie, 2021.
- CST. *Table ronde : Etat des lieux des productions virtuelles*. Saint-Ouen, 2021.
- Sony. *Sony XR Days Presentation*. Epinay-sur-Seine, 2022.
- Micro-Salon de l'AFC. *Retour d'expérience sur 18 tournages de fiction sur écrans LED en un an et demi d'existence. Présenté par Alexandre Saudinos et Jérémie Tondowski*. Paris, 2022.
- SATIS Talks. *Comment les moteurs 3D Temps Réel vont changer nos habitudes de travail...* Conférence en ligne, 2020.
- SATIS Talks. *Les studios du Futur - pour qui, quels usages et à quel prix ?* Conférence en ligne, 2020.
- SATIS Talks. *Présentation de "Plateau Virtuel" par Julien Lascar*. Conférence en ligne, 2020.

Table des illustrations

Illustration 1 : Un des cadres de The Lion King est équipé d'un rig qui lui permet de visualiser l'environnement 3D et de cadrer à l'épaule la scène de l'attaque des hyènes, comme s'il y était réellement. Le cadre de l'image de synthèse est ainsi plus organique. (Capture d'écran du making-of de The Lion King)	13
Illustration 2 : Roulante des opérateurs Previz On Set chez Les Tontons Truqueurs. Sur l'écran de gauche, on peut voir l'image composite dont l'intégration est calculée en temps réel. Sur le deuxième écran, de gauche à droite et de haut en bas on observe : l'image sortant de la caméra, l'image composite, la couche alpha après keying et enfin l'image du décor virtuel issue du moteur graphique Unreal Engine. (Photo prise par Yann Bricout)	15
Illustration 3 : Photographie du tournage de la série The Mandalorian, au sein du Volume conçu par ILM. (Photographie officielle communiquée par ILM).....	17
Illustration 4 : Equipement de la voiture ayant permis de tourner les pelures d'Une belle Course par la société de location TSF. (Photo publiée sur le site de TSF).....	21
Illustration 5 : Ici, le plan à tourner était un tilt up qui partait de la comédienne qui récupérait son vélo pour finir en haut du plus haut gratte-ciel de la rue. A la fin du plan, le champ de la caméra dépassait les limites du fond vert et cadrerait le plafond du studio. Pourtant, en délimitant les zones de keying à l'avance, le moteur graphique parvient à assurer la continuité du prolongement de décor en temps réel. (Images prises aux studios Des Tontons Truqueurs)..	25
Illustration 6 : Détail d'une dalle ayant un pitch de 16mm. (Schéma issu de la documentation de la société IPOVIEW, solutions digitales).....	28
Illustration 7 : Représentation de la distance minimale d'observation en fonction du pitch de l'écran. (Schéma issu de la documentation de la société IPOVIEW, solutions digitales)	30
Illustration 8 : Système de dissimulation des mires de tracking dans le plafond du décor du commissariat de la série quotidienne Un si grand Soleil.	33
Illustration 9 : Schéma synthétisant la color pipeline proposée par Neoset.	36
Illustration 10 : Photographie du plateau de tournage d'Une belle Course. Ici, Pierre Cottereau a fait installer un panneau devant le pare-brise pour venir rééclairer Dany Boon. Le panneau est surmonté d'un cadre de diffusion pour venir estomper le reflet des pitches dans la vitre. (Photo publiée sur le site de TSF)	43
Illustration 11 : Comparaison des spectres d'émission d'une dalle LED Arri et d'un projecteur destiné à l'éclairage pour le cinéma (Arri Orbiter). On remarque que le spectre de l'Orbiter est beaucoup plus continu que celui de la dalle qui émet très peu autour du jaune. La courbe grise en arrière-plan représente le spectre d'émission du soleil pour une même température de couleur. (Graphique issu des résultats de l'étude de Craig Kief, publiés dans l'American Cinematographer).....	48

Illustration 12 : Résultats de l'expérience comparative de Craig Kief. Les peaux sont beaucoup plus rouges lorsqu'elles sont éclairées uniquement par le mur LED. (Images issues des résultats de l'étude de Craig Kief, publiés dans l'American Cinematographer)	49
Illustration 13 : Installation du Sumosky de Sumolight. (Photographie publiée sur le site du constructeur)	51
Illustration 14 : Un projecteur LED est relié en DMX à la lampe virtuelle qui clignote en haut de la porte afin de synchroniser l'éclairage de la comédienne aux variations du décor virtuelle. Le projecteur LED est masqué par le décor virtuel : seule sa lumière sur la comédienne apparaît dans l'image finale.	55
Illustration 15 : De gauche à droite : point light, spot light et area light. (Image calculée sur Unreal Engine 4.26)	63
Illustration 16 : Exemple d'intégration des profils IES à des lampes 3D. (Image extraite de la documentation Unreal Engine 4).....	64
Illustration 17 : Différence de rendu entre la rasterization et le ray tracing. Avec le ray tracing, des rayons sont émis depuis chaque pixel de la caméra virtuelle pour simuler leurs interactions dans la scène 3D. L'image obtenue est plus réaliste comme le montrent les ombres autour des bords de l'assiette et les reflets dans la théière. (Illustration tirée d'une publication du Korea Advanced Institute of Science & Technology sur le Ray Tracing)	67
Illustration 18 : Seuls les éléments de décor avec lequel le comédien a besoin d'interagir sont reconstruits en réel. Ici, le personnage devait entrer dans la pièce et ouvrir une fenêtre : l'équipe décoration a donc reconstruit ces éléments sur des châssis verts afin de les intégrer au décor virtuel.....	74

Autres images :

Couverture : Photographie de l'installation du rouling lors de la démonstration *Sony XR Days Presentation*.

Image Partie I : Détail d'une scène de rouling réalisé lors de la démonstration *Sony XR Days Presentation*.

Image Partie II : Photographie de l'installation des tests comparatifs d'IRC réalisés par Craig Kief. (Photo publiée sur le site de l'American Cinematographer)

Image Partie III : Photographie de plateau d'un tournage chez Les Tontons Truqueurs.

Annexes

Annexe 1 : Entretien avec Pierre Cottereau

Cet entretien a été réalisé le 25 mars 2022 à Paris. Le but de cette interview était de comparer les deux dernières expériences de Pierre Cottereau en production virtuelle comme directeur de la photographie. Il aborde ainsi le tournage d'Une belle Course de Christian Carion, et des séquences de rouding lors du tournage de Cécilia Rouaud.

PIERRE COTTEREAU : Moi ce que je trouve bien avec ces technologies, c'est que ce sont des technologies prototypes. Je ne crois pas qu'il n'y en ait de bonne ou de mauvaise pour l'instant. En revanche, il n'y en a aucune qui ne soit aboutie complètement pour l'instant. Ce que je te dis, c'est vraiment transitoire, c'est propre à mon expérience. De ce que tu me dis de l'avancée des Tontons Truqueurs depuis que j'ai travaillé avec eux, ça a beaucoup progressé. Ma meilleure expérience entre ces deux films, c'est l'expérience du film de Christian Carion, *Une belle Course*. C'était l'expérience la plus pleine, la plus nouvelle que j'aie eue, en comparaison avec celle avec Les Tontons Truqueurs. C'était plus une expérience de fond vert améliorée, mais telle que je l'ai faite, comme il n'y avait pas encore de lumière interactive, ce n'était pas révolutionnaire. Ce qu'on avait à faire sur chacun de ces films était totalement différent. Il y en a un où 80% du film se passe dans une voiture, où c'est l'enjeu principal du film. L'autre, ce n'est qu'une scène, deux minutes de film au milieu d'un film d'une heure trente. Ce que proposent Les Tontons Truqueurs, pour le cinéma français, pour faire une séquence de bagnole dans un film, c'est beaucoup plus intéressant qu'un dispositif d'écran virtuel. Mais c'est pour la simple et bonne raison que cela coûte beaucoup moins cher. C'est une question de producteur plus que de chef opérateur : lui sait où il investit, où il gagne de l'argent et où il en perd. Après, du point de mise en scène, les réalisateurs français étant très peu formés à projeter une image qui ne soit pas réaliste, un fond vert peut faire peur. Même s'ils peuvent prévisualiser quelque chose sur le plateau, ils ne voient que des choses en 3D qui ne sont pas en haute définition et où le photoréalisme n'est pas là.

Dans les deux cas, il y a besoin de beaucoup de travail. En l'état, je pense que ces deux technologies, pour ces deux projets, étaient au bon endroit. C'était la bonne solution de choisir pour un film où l'on passe une heure à l'intérieur d'une bagnole l'écran LED. Pour l'autre cas, c'était bien de choisir le fond vert. Dans le premier cas, le réalisateur pouvait vraiment s'approprier la technologie et s'approprier le résultat à l'écran. Dans l'autre cas, c'était une seule séquence, et les réalisateurs ne peuvent s'approprier le résultat à l'écran que très tardivement. Dans la technique Des Tontons Truqueurs, ils peuvent s'approprier le résultat, mais ce n'est quand même pas le grand bond en avant de l'autre technologie. La première expérience, *Une belle Course*, elle n'aurait pas été possible en fond vert. Le film se passe au milieu des bagnoles, dans Paris, avec des interactions de personnages, des gens à vélo, du vrai en fait. Nécessairement, on aurait pu faire que du fond vert avec des pelures classiques. Donc on n'aurait pas profité de leur système en 3D, en faisant des pelures en amont, avec une espèce de truc entre deux. Donc le film de Christian, il n'est possible qu'avec de grands écrans LED.

Pour les acteurs, les écrans LED c'est déterminant, c'est génial ! Ils peuvent vraiment jouer, ils peuvent se rendre compte de ce qu'ils ne jouent pas d'habitude sur un fond vert. Sur une belle course, c'était Dany Boon, et c'est un acteur qui fait très bien semblant de conduire parce qu'il adore conduire. Au bout de quelques jours, il s'est rendu compte d'un truc très con. Devant un écran, ton champ visuel marginal est comme dans la vie. Le mouvement qui s'y forme va provoquer un mouvement des yeux. Comme dans la vie, naturellement, tu fais des micro-balayements du regard pour te protéger quand tu détectes du mouvement dans les marginaux. C'est l'attitude que tu as quand tu conduis, ton regard est

toujours en mouvement. Sur un fond vert, tu n'as pas forcément ce mouvement du regard, car rien ne passe sur les côtés. Alors que là, en projetant du réel, les acteurs sont baignés dans du réel, il y a quelque chose qui leur revient plus naturellement dans le corps. Dans les deux cas, j'ai fait des essais avec une prise en vrai, et après, j'essayais de reproduire exactement l'essai en studio pour me rendre compte de l'écart entre prendre une caméra à la main et me promener dans les rues de Montpellier. Le premier truc dont se sont rendus compte les acteurs, c'est ce truc du visage qui n'arrête jamais de bouger. En virtuel, j'ai montré ces essais à François Damiens, il a très bien compris, mais ça restait plus difficile à jouer pour lui.

Pour un opérateur, c'est intéressant quand la technique simplifie la technique. Quand finalement tout ce tu fais en amont fait qu'après sur le plateau, tu es disponible qu'à des trucs de mise en scène, que à des enjeux de cadre, que à des enjeux de lumière, qui ne sont pas des enjeux techniques, mais des enjeux artistiques. Des questions de réalisme, de captation du réel, de « comme dans la vraie vie », des choses qui arrivent que tu n'aies pas prévues, et tu dois jouer avec. Dans une belle course, on avait fait nos pelures pour la mise en scène. On les avait faites plusieurs fois, en cherchant le bon angle, le bon embouteillage au bon endroit... Forcément elles ne sont pas parfaites, il y a de faux raccords de lumière. Mais l'enjeu c'était d'avoir une mise en scène du fond. Le film raconte ça, le film raconte en taxi qui se retrouve dans les rues de Paris, qui se retrouve coincé dans les embouteillages... Donc on avait besoin de pelures classiques, avec les feux rouges au bon endroit, etc. On avait vraiment tracé un parcours dans les rues de Paris. En fond vert, on aurait pu le faire, mais ça n'aurait pas été très intéressant. Grâce à la manière dont j'avais calibré les écrans, je me retrouvais dans une situation photographique qui était exactement la même qu'en vrai, c'est-à-dire que j'avais une petite face sur les personnages, mais à l'intérieur, comme je l'aurais fait si j'avais été dans une voiture embarquée, et après je jouais juste avec mon diaph. Si la scène commençait à l'extérieur qu'ils rentraient dans un tunnel, j'avais juste à fermer mon diaph comme je l'aurais fait dans la vraie vie. Et ça, c'est super, tu te retrouves dans une situation photographique qui est une situation photographique vraie. En fond vert, je ne l'aurais pas eu. Rentrer dans un concept, où à l'intérieur du plan, tu changes de diaph, c'est pas possible. Alors que je pense que ça fait partie de ce qui donne une impression de réalisme, tu te poses pas la question. On est habitué aux images de voiture travelling, à l'intérieur du véhicule, on sait très bien que quand on passe d'une rue à l'ombre à une rue au soleil, d'un coup le diaph change, donc les profondeurs de champ changent. Quand tu es en plateau virtuel, à l'intérieur de la bagnole, ton éclairage n'est jamais le même en fonction des conditions météorologiques. C'est ça qui donne l'impression que c'est riche, que c'est dynamique, que c'est un peu fragile. Pour le coup, en intérieur jour, l'avantage des murs LED est inouï. Le fait d'avoir les bandeaux, de ne pas avoir à reproduire la lumière - si à un moment tu passes à côté d'un camion jaune, tu n'as pas à rééclairer le retour du jaune - c'est incroyable. Quand j'avais tourné chez Les Tontons Truqueurs, il n'y avait pas encore la lumière dynamique, donc ça n'était pas possible.

JUSTINE COULMY : Même actuellement, la lumière dynamique ne fait que la synthèse des lumières émissives, pas des rebonds de lumière.

PIERRE COTTEREAU : Alors que dans le film de Christian Carion, ça joue tout le temps. C'est vraiment super. C'est ça qui crée vraiment une impression de réalité. Après, il y a aussi le fait, qu'il y a plein de trucs du réel dont tu ne t'aperçois pas. Tu vois la difficulté que j'ai avec le fond vert, c'est qu'il y a des pelures où tu ne te poses pas la question du photoréalisme, d'autres où tu te dis "ça ne marche pas, ça n'est pas comme ça dans la vraie vie, la voiture devant es trop haute, trop basse, la lumière semble dissociée du reste du plan, y a un truc de couleur qui ne marche pas...". Avec l'écran virtuel, ces questions se sont parfois posées alors que ce sont des questions que je me pose le plus souvent en fond vert, en rejetant la faute sur l'intégration. Je me suis mis dans une voiture pour regarder et essayer de comprendre. Quand tu filmes de dos, tu es derrière le passager et tu as une vision assez large : c'est une vision que tu n'as jamais dans la vraie vie. Tu ne vois jamais un parebrise en entier. En fait une voiture

ça flotte. Et toutes les voitures ont des tailles extrêmement différentes. On ne s'en aperçoit pas forcément, mais si tu es devant, en fonction de la taille de la bagnole, de si elle est proche de toi, loin de toi : tu as l'impression qu'elle est soit très haute, soit très basse. En VFX, en reproduisant cette réalité, tu te dis "c'est bizarre, ça me paraît trop haut ou trop bas". Alors qu'avec des écrans LED, ça m'a forcé à me questionner sur comment je voyais les choses. Je voulais évacuer les questions de photoréalisme, que ce soit moi qui les prenne en charge en tant qu'opérateur, que je ne le laisse pas aux gens des effets spéciaux. Parce qu'on n'a pas le même réel, quand on parle de photoréalisme, on ne parle pas de la même chose. Moi je parle d'un photoréalisme d'opérateur, traduit par la pellicule, par une appréhension sensible de la lumière. Eux ont un rapport plus rigoureux. Il y a un truc que j'ai rarement partagé avec les gens des effets spéciaux, c'est que pour moi, la sensation de réel, ce qui la crée, ce sont les défauts. Les défauts reproduisent le rapport de l'œil au réel. Ton œil est tellement soumis à des millions de stimuli que ce sont les défauts qui l'accrochent, qui font qu'il ne s'ennuie pas. C'est très difficile de reproduire des défauts, que tu vas faire vivre comme un truc vrai. Avec le mur virtuel, comme on avait filmé une réalité, il y avait des défauts qui existaient.

Tout ce que je viens de dire, c'est pour le jour. Pour la nuit, ça marche extrêmement bien en fond vert. Mais c'est aussi ce qu'il y a plus de facile, parce qu'il n'y a pas d'interaction entre le fond et l'avant plan. T'es que dans un truc de cinéma, de mouvement, de défauts. Ce ne sont que des stimuli visuels forts. Pour le coup, en revanche, en écran LED, c'est le seul truc qui marche moins bien. Comme tu ne peux pas jouer sur ta profondeur de champ, tu ne peux pas jouer sur le fait que plus c'est flou, plus tes tâches lumineuses prennent de la place dans l'image. Plus tes points lumineux sont loin normalement, plus ils sont flous et plus ils sont gros normalement. Et puis tu as des interactions normalement en vrai, deux points flous vont fusionner pour ne former qu'un point flou. Et ça en écran virtuel, c'est dur à faire. Tu as tourné tes pelures avec une certaine profondeur de champ, tu peux pas les faire brouiller beaucoup, alors qu'en fond vert, tu peux remapper ton focus. Cette sensation de réel, c'est une sensation de défaut optique. La sensation de défaut qui passe par une image de cinéma, je sais ce que c'est, le flou de nuit à T1.4, c'est pas tant que ça va être flou, mais les points vont s'entremêler...

Il y a aussi l'expérience de "comment tu fais bouger une bagnole". Est-ce que tu filmes des interactions réelles ? Quand tu affiches une pelure 3D, il n'y a pas de défaut, donc il y a moins d'interactions. Comme les machinistes voyaient sur l'écran virtuel la route, ils pouvaient ajuster leur mouvement. Quand on passait sur un dos d'âne, ils pouvaient faire secouer les acteurs, ils pouvaient refaire les vibrations des pavés. Ce n'est pas parfait, mais on a réussi à le reproduire. Ce n'est pas qu'une histoire d'à-coups. Dans une bagnole, tu n'es pas secoué. Une voiture ça flotte, donc ton corps il essaie sans cesse de trouver son centre de gravité. Ce sont des micromouvements. A jouer, c'est hyper compliqué en studio. Les écrans virtuels permettent au moins de recréer une interaction entre les images et les mouvements que tu peux donner à la bagnole qui aide au réalisme.

L'expérience du fond vert était vraiment intéressante sur le fait de choisir ta météo, ton heure, je veux que ce soit un coucher de soleil, je veux que ce soit voilé... Si tu n'as qu'une séquence à faire très précise, que tu n'as pas le temps de faire tes pelures avant, c'est vraiment la solution.

Où est l'endroit économique où c'est le plus intéressant ? L'économie étant bien employée, ça devient riche artistiquement, ça devient riche en créativité, ça devient riche en termes de possibilités techniques, artistiques, en possibilité de cinéma. J'ai l'impression que ça, il n'y a aucun des systèmes qui ne posent quelque chose de clair économiquement dans l'architecture actuelle de la production en France. Le fond vert Des Tontons Truqueurs, il est intéressant parce qu'il s'inscrit dans une habitude qu'on a déjà de faire des fonds verts, il propose quelque chose en plus d'intéressant, qui est la réalité virtuelle. Ils peuvent se permettre de fabriquer une réalité virtuelle parce qu'ils sont sur une chaîne de flux, donc ils peuvent se permettre de modéliser des trucs un peu lourds. J'imagine que quand Neoset

ou une autre société propose des réalités virtuelles sur écran, ils vont proposer une banque d'images dans laquelle tu pourras peut-être jouer sur ta météo et ton heure diégétique, mais tu ne choisiras pas le décor. Quand tu tournes en vrai, tu peux avoir de la chance d'avoir la météo que tu veux, mais c'est très aléatoire. Dans tous les cas il reste des difficultés dans toutes les configurations de scène de voiture à l'écran. J'ai l'impression que ces deux technologies doivent à terme proposer la même chose. C'est-à-dire qu'elles proposent à la fois de faire du vrai, c'est-à-dire de tourner tes pelures avant avec une voiture travelling et avoir une interaction de lumière sur le plateau - ce qui peut marcher en écran virtuel comme en fond vert - et à la fois d'intégrer du 3D. Où est-ce que le modèle économique est le plus fiable ? Je ne sais pas. Moi, comme ça, en tant qu'opérateur, si on me proposait les deux technologies au même prix et le résultat à l'écran est le même, je choiserais l'écran. Parce que moi, comme opérateur, le fait d'avoir un résultat et de me rendre compte du photoréalisme sur le plateau, c'est ce qui va m'aider à commencer à faire du cinéma. C'est-à-dire de commencer à me dire, "ok ça, ça marche à l'œil, comment le tordre ?". Essayer de jouer avec. Est-ce qu'on peut passer du flou au net ? Est-ce qu'on peut jouer avec des effets d'optique et faire un coucher de soleil à l'intérieur ? Est-ce que ce coucher de soleil que je vois à l'extérieur je le prolonge par une lumière beaucoup plus forte à l'intérieur, presque absurde, mais qui crée un truc photographique intéressant ? En fond vert c'est beaucoup plus dur, on peut travailler ces questions, mais de manière beaucoup moins organique.

JUSTINE COULMY : Mais que tu tournes en fond vert avec de la prévisualisation, ou directement devant un mur LED, tu as toujours un moniteur qui te permet d'évaluer cette interaction ?

PIERRE COTTEREAU : Oui, enfin, sur *Une belle course*, on était beaucoup à deux caméras. Donc une fois que j'avais fait mes tests, j'allais assez peu voir le grand moniteur. J'allais que pour faire ma lumière, comme je ferai sur n'importe quel tournage, pour me demander si j'éclaire un peu plus le personnage. Je ne me posais plus de question technique.

JUSTINE COULMY : Et tu arrivais facilement à te rendre compte du rendu final juste en regardant directement les personnages devant le mur LED ?

PIERRE COTTEREAU : On avait organisé, le truc. Il n'y avait plus de problème technique. L'interaction de lumière existait. On se posait des questions au début : à quelle distance placer la voiture ? Monter ou descendre la pelure ? Mais on se posait que des questions de cinéma. L'acteur va de là à là, quel passage on préfère dans la pelure à projeter ? Comme des rushes qu'on projetait. La question technique, c'était "optiquement", comme placer au mieux ces pelures ?

Le gros intérêt de l'écran virtuel, et ce n'est que mon avis, c'est que tu peux faire tes pelures à une seule focale. Quand tu fais du fond vert, ils te disent qu'il faut être à la même focale, la même hauteur. Cela fige un peu le plateau après les prises, parce qu'il faut mesurer toutes ces données pour pouvoir les envoyer aux VFX. J'avais fait mes pelures à une hauteur, une focale, et après je plaçais ma caméra où je voulais. Je pense que ça marche parce qu'on est à l'intérieur d'une voiture. A l'intérieur d'une voiture, on est avec des valeurs de focale très différentes. En gros tu passes d'une focale moyenne courte à une focale moyenne longue. Tes pelures, tu les fais en focale courte. Le flou traduit après la distance.

Chez Les Tontons Truqueurs, y a un truc très con, mais comme les mires de tracking sont accrochées au plafond, ça pose une contrainte, on ne peut pas placer la caméra où on veut dans la voiture. Avec le plafond du véhicule, le tracker ne voit plus les mires. Alors qu'en écran virtuel, tu peux mettre ta caméra où tu veux. Je n'avais pas ce contrainte technique. Mais l'écran virtuel nécessite de faire tes pelures en amont, alors qu'en fond vert tu peux te dire "on fait la scène et on fera les pelures plus tard" - ce qui pour moi est une connerie et fait que la plupart des scènes de bagnole ne sont pas bien faites. La série que je viens de faire, on a une séquence de voiture, et l'histoire se passe dans la neige. Pendant que j'installais le set à l'extérieur, ils faisaient la pelure à côté, ils sont revenus, on a regardé les images

ensemble et j'ai pu créer une interaction. J'ai vu d'où venait le soleil donc c'était facile de rééclairer et je pense que ça ne posera pas de problème à l'intégration. Parce que je connaissais le réel qu'il y allait avoir derrière. Moi j'ai fait beaucoup de plans en fond vert sans avoir fait de pelures parce que les gens te disent "oui, mais tant que tu n'as pas fait les plans, on ne sait pas la hauteur, on ne sait pas la focale" et tu ne t'en sors pas. Cette question-là, en écran virtuel tu ne l'as pas. Tu fais tes pelures et tu tournes après.

JUSTINE COULMY : Est-ce que tu penses que ces différences de contraintes t'ont fait appréhender différemment le découpage de tes séquences de rouling ?

PIERRE COTTEREAU : La contrainte du toit chez Les Tontons Truqueurs a évidemment influencé le découpage. En écran virtuel, je peux me comporter comme un opérateur. Être opportuniste. Dépasser la question du photoréalisme, c'est être opportuniste esthétiquement. Pour moi être chef opérateur, c'est ça, c'est de te dire "ça c'est beau" et le filmer de la manière que ton œil aimerait le capter. Avec les écrans virtuels, tu peux faire ça. Tu peux te dire "ah c'est marrant ce reflet-là, est-ce que je vais le renforcer ?", "est-ce que je vais faire un plan avec des reflets de la ville ?", en fond vert tu ne peux pas.

Sur le papier, y a aucun des trucs que j'ai fait avec l'écran virtuel qui ne sont pas plus simples à faire que sur fond vert. Mais je n'ai peut-être pas fait assez de recherche sur les univers virtuels. Si j'avais fait les mêmes recherches sur les fonds verts que sur les écrans LED, il y aurait sûrement beaucoup de choses qui m'auraient paru plus simples. Pour l'instant, je continue de voir le fond vert comme quelque chose qui inhibe un peu mon travail.

JUSTINE COULMY : Oui, mais au final, si tu avais tourné aux studios de TSF à Epinay avec des écrans LED, mais en affichant un univers 3D, tu aurais eu par exemple les mêmes problèmes de tracking de la caméra avec le toit de la voiture.

PIERRE COTTEREAU : Oui c'est vrai. Exactement. Et c'est là qu'on en revient à des histoires de coûts. Et qu'est-ce qu'on compare en fait ?

JUSTINE COULMY : Donc ce ne sont pas tant des problèmes entre fond vert et écran virtuel que des problèmes entre réel et 3D ?

PIERRE COTTEREAU : Exactement, tu poses les mots dessus. Je suis d'accord avec toi, la vraie différence elle est là, ce n'est pas tant un truc de technologie, mais quel est le meilleur outil par rapport à la pelure qu'on utilise. Effectivement si on est en pelure 3D, peut être que je prendrais l'option tournage fond vert, parce que je sais que les gens qui font du fond vert ont une culture du photoréalisme, de comment rajouter des défauts... On va parler le même langage. Et ce dialogue que je vais avoir avec eux, je ne vais peut-être pas le retrouver avec des mecs qui font du *Unreal* depuis toujours et qui ont une culture d'image qui n'est pas la mienne, qui n'est pas celle du cinéma. Quelqu'un qui comprendra si je dis que j'aimerais que derrière, les choses soient plus crades, moins photographiquement pures. Quelqu'un qui fait des effets spéciaux peut comprendre ça, il a manipulé assez de pelures classiques pour savoir qu'à un moment, l'interaction joue sur un petit hasard, quelque chose qui n'est pas mathématique. Alors que Unreal, ce n'est que des mathématiques. L'optique, c'est de la physique, ce ne sont pas des mathématiques : ça se confronte au réel. Donc peut-être que des pelures 3D, j'aurais envie de les utiliser avec un fond vert.

En revanche, des pelures en réel telles que je les ai faites sur le film de Christian, j'aurais recours à un plateau virtuel. Par un souci d'économie, moi je n'ai pas voulu avoir un écran de 360°, j'ai juste voulu avoir un "L". Je n'ai pas voulu avoir, mais je le regrette un peu, des pelures à 360°. J'ai voulu avoir des pelures comme on fait classiquement : pelures de face, pelures de côté, pelures de dos. Si tu ne fais pas ça, tu te retrouves à faire une opération d'effet spécial avant la préparation du film. C'est-à-dire établir

un planning, engager des coûts de fabrication, des incompréhensions, des allers-retours avec des sociétés de prestataire de service qui font très bien leur service, mais qui ne sont pas dans les mêmes questionnements que toi. Si à un moment, quelques jours avant le tournage, tu te rends compte que la pelure ne te plaît pas et tu veux en refaire une à l'arrache, ce n'est pas possible. Parce qu'il faut que tu envoies tes images aux effets spéciaux pour qu'ils la stitchent, que ça revienne, que tu vérifies : ça devient aussi lourd que des effets spéciaux en post-production. C'est aussi lourd que le process en fond vert. Et ce process m'emmerde. Il m'emmerde moi parce que c'est un process dans lequel je suis hyper esseulé. Ce sont des problèmes que je ne peux ni partager avec la production ni avec les réalisateurs. C'est juste une contrainte technique que je ne trouve pas intéressante dans le cinéma français parce que les réalisateurs et les producteurs français ne s'intéressent pas à cette technique. Je serais avec des réalisateurs qui s'intéressent à la technique, ils viendraient avec moi, on essaierait, ils donneraient des avis sur les pelures. Là, comme ça engage des coûts, tu utilises ce que tu as. Si tu as fait une pelure en temps gris, tu tourneras avec parce que le mec qui a fait la pelure, la location de la voiture travelling, les caméras, c'est déjà un billet. Ce n'est pas faire une pelure au cul d'une camionnette. Il y a différentes réalités virtuelles comme il y a différentes pelures qui filment du réel. Moi ce que j'aime, ce sont les pelures classiques. Sur la série j'avais juste besoin d'un plan de face, un plan de parebrise. Donc j'avais juste besoin d'une pelure de dos, j'ai fait la pelure de dos dix minutes avant de tourner la prise. En même temps, j'ai fait accrocher un iPhone sur le capot avant pour filmer ce qu'on voyait devant, et ça je l'ai projeté aux acteurs sur une télé. Et tu vois hyper rapidement, alors qu'on était dehors, on a fait une sorte de dispositif *Nouvelle Vague*. Moi c'est ça que j'aime, c'est la liberté, être à l'arrache. Le problème avec le fond vert, c'est que faire de la Nouvelle Vague avec du fond vert, c'est compliqué. Même si moi je crois à ça. Je crois que les effets spéciaux, ils peuvent être beaucoup plus au service du réel que de faire croire au réel en tournant dans des routes que tu bloques, où il n'y a plus de son... A priori, les effets spéciaux permettent ça.

On croit que le fond vert, c'est le décor. Non, ça doit être une partie de ton décor. Une voiture, ça marche parce que c'est le troisième plan. C'est ce que font Les Tontons Truqueurs, ils vendent du troisième plan. C'est pour ça que quand tu fais un film dans la rue, dans les embouteillages, ton décor peut vite devenir du deuxième plan. Imagine une mobylette qui passe à quelques centimètres du parebrise. C'est vraiment dur à faire en fond vert. Sur *Une belle course*, on a déjà mis plusieurs fois une interaction réelle entre l'écran et nous. Si tu ne t'intéresses qu'à ça, tu te rends compte qu'il y a des endroits où ce n'est pas parfait, loin de là. Mais le public ne voit rien. Alors que je pense que le public verra beaucoup plus facilement un fond vert mal détourné. Je pense que 80% des gens de l'image vont repérer quatre plans du film où on sent un peu le dispositif.

JUSTINE COULMY : Qu'est ce qui pose problème selon toi sur ces quatre plans là ?

PIERRE COTTEREAU : C'est le fait que les rues de Paris sont très pavées et qu'on ne gère pas tout le temps très bien les vibrations, un plan qui est trop fixe, des petites choses... Après quand je l'ai vu, il n'y avait pas encore le son. On ne l'a pas fait beaucoup, mais je pense qu'il y a peut-être trois ou quatre plans où la technologie nous a donné des idées de cinéma. Un plan où tu ne sais plus ce qui est vrai ni ce qui est faux. Mais qu'est-ce que c'est le photoréalisme ? Le cinéma, c'est un art de magicien, tout n'est qu'illusion. Tu peux te poser la question du photoréalisme que si tu te poses la question de l'illusion. La question de l'illusion, qui est une question de magicien, elle pose la question de qu'est-ce que le spectateur a envie de croire. Le spectateur n'a pas envie de croire en quelque chose qui ressemble au réel, il a envie de croire à quelque chose qui est plus magique que le réel, mais dans lequel il y a suffisamment de réalisme pour y croire. Un enfant ne se pose pas la question, il croit aux marionnettes, il croit à la réalité altérée sans se poser la question de l'illusion. Il croit au fait que, oui c'est une autre réalité. Que ce n'est pas parce que c'est deux chaussettes qui se parlent que ce n'est pas vrai. La réalité, c'est deux chaussettes qui se parlent. Nous, les adultes, on a besoin du confort du

photoréalisme pour accepter une autre réalité. Pour accepter l'illusion. J'aime bien les écrans LED, parce que je vis l'illusion comme un tour de magie. En fond vert, le tour de magie est trois mois après le spectacle.

JUSTINE COULMY : Et depuis le début on ne fait que parler de rouling, mais tu as déjà utilisé les écrans LED pour d'autres plans que des séquences en voiture ?

PIERRE COTTEREAU : Bah en fait, la première fois que je les ai utilisés, c'était pour un programme court pour Canal+, deux ans avant de faire une belle course. On voulait faire des personnages derrière un espèce de décor dans lequel ils sont intégrés, mais tu vois que c'est faux. Il y a un petit décalage avec le réel qui fait partie de l'esthétique. Il n'y avait pas l'argent et ils trouvaient ça trop compliqué de le faire en fond vert. Mais ils avaient dans leur cave des écrans LED qu'ils utilisent pour les plateaux télé. Je suis allé les voir et c'est la première fois que je me suis dit "c'est génial cette technologie". Je pouvais faire la lumière, faire des interactions. Nous on projetait des images de décors pourris qu'on avait trouvés sur internet et puis on essayait de calquer le cadre à cette perspective. C'était hyper ludique à faire. Après on assumait le fait que ce soit faux. Mais il y a quand même deux ou trois fois où je me suis dit "putain, ça marche hyper bien". C'était en juillet 2019 et Christian m'a proposé son film en novembre 2019. Et quand je l'ai rencontré, il m'a demandé : comment on fait ? Je lui ai répondu qu'à mon avis, le réel dans Paris, ça ne marcherait pas, je n'aime pas le fond vert, mais je viens de faire un projet sur Canal avec des murs LED et je trouve que c'est une technologie qui est géniale. Mais pour l'instant, elle n'existe pas vraiment, il n'y a pas de prestataire de service qui font ça. Moi, comme ça m'avait intéressé, j'avais déjà fait des études de combien ça coûtait et je m'étais aperçu que ça ne coûtait pas plus cher que le fond vert. A l'époque, les prestataires de service c'est ceux qui fournissaient les plateaux télé. Avant le confinement, il n'y avait personne et à la sortie du confinement, il y avait tout le monde. Je n'avais que cette expérience-là, mais il n'y avait pour l'instant aucune solution que me satisfaisait complètement. Le fond vert ça ne me satisfait pas, la voiture travelling ça ne me satisfait pas non plus, le décor à l'intérieur de la voiture, ça ne satisfait pas mon dos... Donc il fallait trouver autre chose. Mais il a fallu qu'on fasse le parcours pour que ce soit cohérent artistiquement et économiquement. Ce que proposent Epinay ou d'autres studios, ce n'est pas cohérent. Si tu as deux séquences de voiture dans ton film, tu vas les tourner en une journée, ça va te coûter une journée de tournage et autour de 4000€ pour louer une voiture travelling et payer des renforts pour bloquer les rues. Si tu fais du fond vert pour une journée, tu vas être autour de 15000€. Si tu vas sur un plateau virtuel, c'est tout de suite entre 25000€ et 35000€ la journée. Et tu te retrouves sur quelque chose où tout coûte plus cher, tu n'as pas la main techniquement et tu ne sais pas où tu gagnes artistiquement. Les réalisateurs préfèrent faire de la voiture embarquée parce qu'ils se disent "au moins, je vois ce que je filme". Toi, comme chef op, et les régisseurs généraux vous trouvez ça casse-couille. Alors tu proposes de le faire sur fond vert, parce que tu vas pouvoir faire trente prises là où dans la vraie vie tu ne vas pouvoir en faire que quatre. Mais le fond vert reste trop cher et ferme beaucoup artistiquement. A Montpellier [chez Les Tontons Truqueurs], il y a une proposition qui est intéressante et qui ouvre le champ des possibles. Ce qui était intéressant à Montpellier, c'est que si on avait voulu faire la même chose en réel, ça nous aurait pris plus de temps. Il y avait une séquence de nuit et une séquence de jour, donc tu oublies de le faire en vrai. En vrai, ça voudrait dire que tu ne peux pas faire une journée et une nuit d'affilée, donc ça passe à deux jours de tournage, la nuit coûte plus cher. Dans cette situation, tourner en vrai coûte aussi cher que de tourner dans un studio fond vert. Dans quel cas on gagne alors artistiquement ? Dans le studio fond vert, car tu peux faire plus de prises et laisser plus de place à la mise en scène.

Sur *Une belle Course*, on a fabriqué nos outils. Ce n'est pas le cas de Neoset, mais c'est ce qu'ils veulent faire à Montpellier : fabriquer un bon outil de travail, c'est-à-dire un mur LED simple que tu loues entre 5 et 10 000 euros la journée. Tu peux très vite le rentabiliser. Je n'ai pas un film depuis 25 ans sans qu'il n'y ait une séquence de bagnole à l'intérieur. Mais tu en as toujours une ou deux, et c'est toujours casse-

couille. Mais pour ça, il faut accepter de faire de l'avant service pendant un an pour que les gens viennent. Tout le monde se méfie à l'heure actuelle de ces services. Les opérateurs vont se méfier, les producteurs vont se méfier, les réalisateurs vont se méfier. Donc tu es obligé d'investir sur un outil, où tu sais que pendant un an à minima, tu vas servir de bande-démo. Moi quand je revois la bande démo de Neoset, les premières qu'ils ont balancées, elles ne sont pas rassurantes.

Je ne comprends pas toujours comment cette technologie est vendue et même il y a des zones d'ombre dans les retours d'expérience, car on a tous une approche empirique des plateaux virtuels. Tu as dû lire l'article de l'AFC où on s'exprime tous sur ces technologies, et bien je ne comprends pas ce que dit Thomas Hardmeier alors que c'est immense chef opérateur, bien meilleur que moi. Je ne comprends pas ce qu'il dit quand il explique qu'il faut éclairer beaucoup, que les seuls plans qui marchent, ce sont les plans en longue focale devant avec des reflets, qu'il faut faire attention aux perspectives... J'ai l'impression qu'il me parle d'un truc de fond vert. J'ai une expérience totalement inverse de lui. Donc je me dis que ça ne peut pas venir de lui. Moi je n'ai pas rajouté un gramme de lumière sur *Une belle Course*. La seule lumière que j'avais, c'était un néon sur ma caméra pour éclairer Line Renaud. Donc quand il écrit qu'il faut rajouter beaucoup de lumière parce que les écrans sont très lumineux, je me dis que les prestataires de service ne maîtrisent pas leurs propres outils et ne sont pas à même de conseiller les opérateurs qui viennent s'en servir. Si ton intégration est bien faite, l'écran n'est pas trop lumineux. Beaucoup parlent des écrans au plafond, mais pas des bandeaux sur les côtés. Il y a un écran LED qui sert de décor, et d'autres qui servent de lumière. Tant que tu n'as pas compris qu'il faut les deux, alors tu n'as pas compris le système. Tout le monde croit que le décor éclaire la scène. Non, le décor n'éclaire pas la scène. C'est comme si tu filmes une fenêtre, elle est cramée. Donc tu rééclairés ta scène, tu mets des neutres sur ta fenêtre... Moi je ne faisais que ça : baisser la densité de l'écran, diminuer l'effet en haut, etc.

JUSTINE COULMY : Ok en jour, mais dans les scènes de nuit ou les décors plus sombres, tu n'avais pas de problème de reflets de tes lumières sur les dalles ?

PIERRE COTTEREAU : Non ! Pour les mêmes raisons. C'est pour ça que je pense que les prestataires de service ont un gros rôle à jouer dans le conseil. Quand j'ai pris en charge ce tournage, j'avais la chance d'avoir un réalisateur qui était aussi producteur et un directeur de production qui avaient aussi de s'investir dans ce système. On n'a pas cherché un prestataire de service. On s'est dit : il y a une nouvelle technologie, comment le réalisateur peut s'en servir pour inventer de nouveaux dispositifs de mise en scène, comment moi je me l'approprie en termes d'image et comment le directeur de production s'y retrouve économiquement. Au final, comment faire pour qu'on gagne tous de la liberté. C'est organique le cinéma. Si tu gagnes en liberté économique, tu gagnes en liberté à la mise en scène, et si tu gagnes en liberté à la mise en scène, tu gagnes en liberté à la photographie. C'est pour ça que c'est compliqué de faire appel à un prestataire de service sur une nouvelle technologie. Quand tu es prestataire de service, tu essaies de tout faire rentrer dans un cadre. Alors que quand tu es dans une équipe de film, tu poses un cadre pour voir comment en sortir. Sur *Une belle Course*, tous les plans de face et de côté étaient très faciles à faire. Photographiquement, c'était transparent. Le plan que m'a demandé le plus Christian, c'est le plan de dos qui est le plus compliqué à faire. Un tiers des plans, c'est ce plan de dos. C'est un plan dur à faire en vrai, dur à faire en fond vert parce que c'est un point de vue de cinéma, ce n'est pas un point de vue réel. Tu y vois un truc faux parce que ton expérience à toi dans une voiture ne t'offre jamais ce point de vue.

JUSTINE COULMY : Et tu n'as pas eu des problèmes avec l'affichage direct du décor ? Pour faire la mise au point directement dessus.

PIERRE COTTEREAU : Si j'ai eu des problèmes. Mais si sur une demi-seconde tu commences sur le fond et tu reviens, ça renforce l'impression de réel. Moi je ne m'interdis rien. C'est toujours une histoire de

mouvement, le cinéma, c'est quelque chose de dynamique. Il faut tricher avec la vie. Le but du jeu pour ne pas dévoiler un problème, c'est de faire regarder d'un côté pendant que le problème est de l'autre côté. Si tu fais le point quelques secondes sur l'écran, les gens arrêtent de scruter l'écran pour chercher un problème. Si tu t'interdis toujours de faire le point au fond, le spectateur va se demander "pourquoi c'est toujours flou au fond ?".

JUSTINE COULMY : Et en ce qui concerne le noir des dalles, on lui reproche souvent de ne pas être assez profond ?

PIERRE COTTEREAU : Je suis d'accord, seule solution : éviter à tout prix que la lumière qui éclaire les comédiens ne touche l'écran LED. Quand tu ne mets pas de lumière, tu n'as pas cette problématique. La profondeur ne vient pas des écrans LED. Peut-être que j'ai tort et que j'ai fait des erreurs sans m'en rendre compte. Mais je pense que les problèmes rencontrés par des opérateurs viennent d'un mauvais conseil des prestataires. Parce que les prestataires ne sont que dans des questions techniques et pas des questions de cinéma.

Quand je suis allé chez Les Tontons Truqueurs, je leur ai tout de suite posé des questions de workflow colorimétrique. Est-ce que vous avez une palette de couleur ? Moi, ma palette de couleur c'est celle-là, si on passe en ACES, qu'est-ce vous pouvez afficher ? Quand tu fais une modélisation en 3D, tu as toutes les couleurs. Mais si ça trouve, ce rouge là, sur ma caméra, il n'existe pas. Comme quand tu filmes avec une RED, si tu filmes du sodium, tu n'auras jamais le même sodium qu'en Sony ou en Alexa. Il y en a un qui sera vert, l'autre qui sera rouge... Si tu filmes ta pelure avec une RED et que derrière il faut qu'ils te projettent une pelure avec des lampadaires sodium, il va falloir que toi, derrière, tu rééclaires tes comédiens avec du sodium et que tout ça raccorde. Ce sont des questions assez simples si tu as bien fait la calibration de tes écrans. J'avais calibré les écrans de telle sorte qu'à un certain nombre de nit corresponde un diaph. J'avais mon diaph de base, f/4, et mon écran était bien posé. Je sais qu'en vrai, dans une bagnole, quand je filme depuis l'intérieur, les fonds sont à +3 diaph. Parfois, en fond vert, les gens ne comprennent pas que la découverte ne doit pas être bien posée, mais posée à +3 diaph. Avec l'écran, j'avais 4 de diaph à 1000 nit. Donc quand j'étais à l'intérieur, je me mettais à f/2, j'étais donc à +2 sur mes extérieurs. J'avais envie de garder ce diaph mais de surexposer un peu plus les extérieurs. Je pousse donc l'écran à 1200 nit. Si je voulais plus de diaph à l'intérieur en posant à f/4, alors je montais l'écran à 1600 nit. Et ça marche ! Cela fait que je n'ai pas besoin de rajouter de la lumière, j'ai juste à calibrer mon écran. Mais par contre, sur la colorimétrie, il reste des choses que je ne comprends pas. C'est quoi les questions que tu te poses toi en colorimétrie ?

JUSTINE COULMY : Par exemple, dans un article de l'AFC, tu écris que tu as tourné tes pelures avec des caméras Sony Venice, parce que le film lui-même est tourné avec des Sony Venice. Et je ne comprends pas, étant donné qu'au final la caméra du tournage filme l'écran LED, pourquoi l'écran LED doit déjà afficher une image qui est déjà passée par le traitement de la caméra.

PIERRE COTTEREAU : C'est une question que je me suis posée et que je n'ai pas résolue. Mon expérience est très empirique. Mais ça m'intéresse de savoir pourquoi toi tu te poses la question, pourquoi ça t'interroge.

JUSTINE COULMY : Cela m'interroge, parce que ça me semble un peu lourd comme dispositif.

PIERRE COTTEREAU : Ça on est d'accord ! Moi aussi ça m'a semblé très lourd comme dispositif.

JUSTINE COULMY : Du coup je me demande si on aurait pas pu tourner les mêmes pelures avec des caméras plus légères pour obtenir le même résultat.

PIERRE COTTEREAU : C'est une très bonne question. C'est vrai qu'actuellement, tout le monde fait ses pelures en RED.

JUSTINE COULMY : Pour avoir du 8K ?

PIERRE COTTEREAU : Du 8K, mais pour filmer avec l'Antalya. L'Antalya, comme c'est un objectif fisheye, ils sont obligés de recroquer dedans pour avoir du 2K au final. Les premiers tests que j'ai faits, c'était avec une F55. Je ne voulais pas tourner avec une Alexa, car ayant ma propre machine d'étalonnage et faisant régulièrement des tests avec, je sais que par exemple, les sodiums en Alexa ne sont pas les mêmes sodiums qu'en Sony. Tu as une pointe de vert gigantesque, et si tu tournes dans Paris, tu vas vraiment sentir la différence la nuit. Les choix techniques de ces trois caméras ne portent pas vers les mêmes objectifs, les capteurs ne sont pas fabriqués pareil. C'est comme la différence entre une Kodak et une Fuji. Tu as des nuances de palettes de couleur. Chez RED, le pic de vert dans les sodiums est surinterprété. Au lieu d'avoir une image bronze comme tu l'aurais en film, tu as une image hyper verte. Les Sony et les Alexa sont plus roses. Au début, j'ai essayé de voir si en travaillant en ACES, on continuait à voir ce pique de vert. Résultat : oui, on continue de la voir. Donc ça voudrait dire faire de l'étalonnage avant pour corriger ces défauts, donc imposer au réalisateur de choisir les pelures au moins trois jours avant pour pouvoir l'étalonner... Alors que là, on était en train de tourner et on parfois on décidait de changer de pelure au dernier moment. Ce que tu prépares quatre jours avant, ce sont les endroits où tu ne veux pas aller, les questions qui ne t'intéressent pas et que tu ne veux pas te poser au moment du tournage. J'ai essayé la F55. Sauf qu'entre la F55 et la Sony Venice, il y a eu énormément d'évolution. En nuit, la F55, c'est une véritable boucherie, elle est plus contraste, l'échantillonnage couleur est très différent... Au final, le choix de la F55 qui aurait pu être plus économique n'était pas avantageux. Et je n'avais pas envie de me lancer dans de grands essais comparatifs. Donc j'ai voulu rester dans la même famille de caméra. Après est venu l'idée de la Sony Venice. Comme notre dispositif était assez prototypaire, le loueur nous a suivis. Mais effectivement, sur le papier, économiquement, c'est une absurdité. Aujourd'hui, je prends cinq FX9 ou cinq FX6, ça ne coûte rien et c'est la même color science. Ce seraient d'autant plus des caméras géniales pour ça que, comme tu as le programme pour refaire de la stabilisation interne, c'est la solution idéale pour des plans en voiture. Sachant que Sony a la color science la plus large, c'est la caméra qui va te permettre le plus facilement après de te rapprocher de l'Alexa ou de la RED. C'est donc un choix pour ne pas m'embrouiller dans mes choix. La question que je me posais c'était : qu'est-ce qu'on projette ? Est-ce que je projette une image en Rec709 ? Une image en LogC ? Tu sais que dans tu filmes avec une caméra, c'est comme si tu mettais une paire de lunettes de soleil. Ta caméra enregistre le réel d'une certaine manière, avec un premier filtre. Mais ce que je vais projeter a déjà ce premier filtre, car il a déjà été filmé avec une caméra. Donc est-ce que ce n'est pas comme porter deux paires de lunettes de soleil. Est-ce que la couleur sur l'écran doit être proche de ce que je veux à la fin ? A quel moment je vais amplifier un défaut ? Si je filme quelque chose avec une caméra qui la rend trop orange, si je refilme cette image avec la même caméra, elle va avoir le double d'orange. J'ai fait plein d'essais, et projeter une image en Rec709 faite avec la caméra avec laquelle tu comptes filmer, c'est très transparent. Mais je suis passé par plein de chemin, par des versions en T-Log, des versions plus contrastes...

Pour régler la couleur des écrans, j'avais trouvé la solution sur Canal+.

JUSTINE COULMY : Ton protocole avec les deux Lily ?

PIERRE COTTEREAU : Oui ! Les gens ne comprennent pas toujours parce que je l'explique mal. Mais la métaphore du miroir est assez parlante. Je mets quelqu'un face à un miroir, je mets un autre miroir derrière, si ce miroir renvoie du vert, je vais me voir une première fois, puis mon second reflet sera plus vert, le troisième encore plus et ainsi de suite. S'il y a des petites dérives de couleur dès la deuxième apparition de ma mire, alors celles au bout de N+12 affichages seront énormes.

Qu'est-ce que tu te poses comme autre question ? C'est intéressant pour moi de savoir les questions que tu te poses, pour essayer d'avoir d'autres perspectives sur ce que ça peut apporter au cinéma. Je ne sais pas quelle technologie va prendre le dessus sur l'autre. Je crois que c'est trop lié à l'économie, aux besoins du cinéma français et sa culture. Je pense qu'aux États-Unis, ils ont une telle culture du fond vert et de la modélisation 3D que les deux technologies sont intéressantes. Ce que développent Les Tontons Truqueurs, c'est très adapté au système américain qui maîtrise les fonds verts, les intégrations, leurs implications financières... Bref, qu'est ce qui t'intéresse toi dans tout ça ?

JUSTINE COULMY : Je m'intéresse plus spécifiquement aux interactions qu'on peut créer avec de la 3D. Sur la question mur LED ou fond vert, j'essaie un peu de prendre du recul sur tout ce qu'on lit. On vante beaucoup le caractère immersif des plateaux virtuels, que c'est génial pour les comédiens de se retrouver dans une sorte de simulateur alors qu'ils n'ont pas de repère en fond vert. Mais quand j'étais allée aux démonstrations des studios d'Epinais, je me suis sentie très mal dans leur volume. Comme le sol est anamorphosé pour ne pas montrer de démarcation avec les murs perpendiculaires, ils se déforment en permanence sous tes pieds pour s'adapter aux mouvements de la caméra. Et comme l'écran ne se rafraîchit que sur la zone de champ couvert par la caméra, au final tout bouge avec trois vitesses différentes. Comme tu ne bouges alors que tu es immergé dans une impression de mouvement, tu as très vite la nausée.

PIERRE COTTEREAU : Oui, mais parce que c'est une problématique technique, qu'il faut la résoudre, mais qu'en attendant, les prestataires doivent te vendre leur technologie.

JUSTINE COULMY : Mais qu'est-ce que tu penses de l'utilisation des sols LED ? Parce que j'avais fait des essais en fond vert où on essayait de recréer un environnement de musée. Et dans la vraie vie, le carrelage au sol était un peu réfléchissant. Donc on avait rajouté une plaque de plexi sur le sol vert pour pouvoir avoir le reflet des comédiens à incruster dans le comp final. Mais avec un sol LED, comme il émet de la lumière, c'est compliqué de garder les ombres ou les reflets ?

PIERRE COTTEREAU : Oui, c'est très intéressant, mais c'est ce que je te disais tout à l'heure sur le fait de travailler avec des gens qui viennent du fond vert et qui ont une culture de la photographie. Il y a 16 ans, je me retrouve à faire une série télé qui met en scène des jumeaux. Donc à l'époque, le seul moyen qu'on a, c'est de faire des split screen. Tu te retrouves donc dans des problématiques de mise en scène, de comment placer les personnages pour donner l'impression qu'ils discutent ensemble ? C'est de la série, donc il fallait aller hyper vite... La question à se poser était : comment je ferais si j'avais la même situation à filmer en réel ? Si j'avais deux vrais jumeaux, je ne me poserais pas la question de la technique. Je réfléchirais juste à comment les positionner par rapport au décor. Il ne faut pas donner l'impression de placer deux personnages devant un fond, c'est là qu'on se doute tout de suite qu'il y a des VFX. Il faut créer aussi de l'avant plan.

Quand j'étais à Louis-Lumière, on parlait beaucoup de travailler la stratification. Cette notion-là est hyper importante optiquement et en termes de mise en scène. En ayant fait des films avec peu d'argent, un des moyens pour donner du relief à l'image, c'est la *stratification value*. De remplir des plans jusqu'à l'infini. C'est la mise en scène qui organise la stratification pour décider de là où va regarder l'œil du spectateur. Optiquement, le sixième plan coûte très cher, parce qu'il va couvrir un champ immense. Donc pour le remplir, il faut beaucoup de moyens. En fond vert, si tu as besoin de dix mille figurants, c'est gagnant économiquement, parce que tu n'auras pas besoin d'une grande qualité dans le détail des personnages. Si c'est un troisième plan, en fond vert, c'est encore facile à faire. Mais si c'est un deuxième plan, il va être en interaction avec le premier, tu ne vas peut-être pas jouer sur la profondeur de champ pour le rendre flou, donc il va falloir beaucoup de qualité de détail, d'interaction de lumière... Tu te poses la question du photoréalisme, de l'espace couleur, etc. Souvent, pour résoudre ces questions, je place un avant plan. Quand je fais des films historiques sans pouvoir remplir les fonds parce qu'il n'y

avait pas un rond, je mettais un avant plan. Il était flou, mais comme ça le premier plan devenait le deuxième et le deuxième devenait le troisième. C'est pour ça qu'il faut qu'il y ait un metteur en scène. Quelqu'un qui se pose ces questions-là. Les vraies questions sont des questions de stratification. Je n'avais pas de problème avec l'écran LED parce que dans une voiture, ton premier plan c'est le personnage qui conduit, ton deuxième plan c'est l'habitacle de la voiture, et le troisième plan c'est le paysage. Je veux faire de l'écran LED parce que je sais que de jour, en ville, l'interaction entre mon premier plan et mon deuxième plan est hyper proche. Si c'est pour filmer un désert au fond au loin, toutes les technologies marchent. C'est un douzième plan, tout le monde s'en fout. La stratification, c'est d'amener ton œil à voyager dans l'image. C'est ça faire du cinéma, c'est que ton œil capte tout de suite ce que tu dois lui montrer et qu'après il ne s'ennuie pas... Quand tu fais du fond vert, souvent, tu oublies le mouvement. Et le mouvement, ce n'est pas qu'un déplacement des personnages. C'est le mouvement de l'œil du spectateur dans l'image. Le petit éclat de lumière sur la voiture au sixième plan de l'image qui va se réfléchir sur l'avant-plan flou, ça va faire diversion entre ton fond vert et ton incrustation qui ne sont pas forcément de la meilleure qualité. Il faut créer des événements, du mouvement à l'intérieur du mouvement. Avec Les Tontons truqueurs, comme on faisait un coucher de soleil, c'était intéressant que la voiture passe parfois à l'ombre, parfois dans la lumière. Si tu n'as que du coucher de soleil pour deux minutes de scène, au bout du compte, tu comprends le dispositif.

Quand tu dis que tu avais envie de vomir, c'est que l'immersion était mal faite. Ce ne sont pas nos yeux qui regardent, c'est notre cerveau. Une image n'existe pas, c'est une interprétation du cerveau d'informations visuelles. Donc si ces informations sont antiréalistes, c'est désagréable, si c'est figé c'est désagréable, si elles ne sont pas cohérentes, c'est désagréable. Tu te poses d'autres questions sur ces enjeux de cadre ou de lumière ?

JUSTINE COULMY : Oui, je me demande vraiment comment explorer les possibilités offertes par la lumière dynamique.

PIERRE COTTEREAU : La lumière dynamique, c'est essentiel. Je pense que la seule chose qui manque aux Tontons Truqueurs, c'est d'avoir des *layer* de stratification. Pouvoir faire des incrustations sur différents niveaux.

JUSTINE COULMY : Moi je me demande surtout, comment choisir et hiérarchiser les lumières qu'on veut renforcer. Parce que pour l'instant, sur les essais qui ont été réalisés, on a surtout travaillé à reproduire les émissives de l'environnement 3D, donc des lumières directes et assez fortes. Or, toi, de ce que tu me dis et que tu aimes avec les écrans, ce sont surtout les rebonds, les lumières indirectes. Et en soi, ça ne doit pas être si dur à coder et on pourrait sûrement facilement faire en sorte que si un camion jaune passe à côté d'une voiture, un Skypanel s'allume automatiquement légèrement en jaune pour recréer ce retour de jaune. Mais après, comment choisir ce qu'on veut recréer ou non comme lumière et avec quel projecteur...

PIERRE COTTEREAU : Je pense que c'est là que la technique devient marrante et que les metteurs en scène devraient se saisir de ça. Quand je dis un metteur en scène, je veux dire un cinéaste, pas forcément un réalisateur, mais quelqu'un qui s'interroge sur le langage. Quand on veut faire un plan au cinéma en 2D, on veut créer l'image d'une réalité altérée. Ce que tu vis au cinéma, ce n'est pas la réalité de toi assis dans ton fauteuil, c'est la réalité qu'on te projette dans les yeux. Photographiquement, l'enjeu est de faire croire que cet espace en 2D qui est projeté est aussi riche qu'un espace en 3D. Pour cela, tu as deux outils : la stratification et l'hors-champ. La lumière révèle ces deux choses. Elle vient nous dire comment le premier plan vient influencer sur le sixième plan et l'hors-champ, ce que tu ne vois pas. Et ce que tu ne vois pas n'est pas forcément en cohérence avec ce qu'il y a à l'intérieur de l'écran. L'hors-champ peut être dissonant par rapport à ce que tu montres. Si je fais un gros plan sur ton visage, je ne cadre pas le camion jaune. Mais je peux venir t'éclairer par rebond de jaune pour faire exister le

camion sans le filmer. Et si je fais ça, j'ai intérêt à faire passer en arrière-plan un élément jaune qui entre et sort du champ. Quand tu penses programmation, tu penses mise en scène. Est-ce que l'interaction extérieure m'intéresse ou pas ? Est-ce que les couleurs que j'ai à l'extérieur me plaisent ou pas ? Donc tu es obligé d'analyser ta pelure comme un élément de mise en scène, comme un décor.

JUSTINE COULMY : Mais pour pouvoir créer de l'interaction, de la stratification, du hors-champ, il faut que les metteurs en scène sachent ce qui est possible de faire avec l'outil technique. Sur *Un si grand Soleil*, pour chaque décor 3D, il y a à chaque fois des animations que l'on peut activer pendant le plan comme faire démarrer une voiture, ou faire passer un figurant... Mais les réalisateurs ne demandent jamais à s'en servir parce qu'ils ne savent pas qu'il y a ces possibilités. Alors sur un projet de long-métrage, si on crée les décors de zéro, il faut aussi recréer toutes ces animations. C'est long, et ce n'est pas comme sur une série où si on ne s'en sert pas sur un épisode, on pourra toujours s'en servir sur le suivant. Mais il ne faut pas que la technique soit trop effrayante pour que les metteurs en scène prennent conscience qu'ils peuvent tout demander...

PIERRE COTTEREAU : Tant que tu ne t'intéresses pas à ça, tu ne peux pas utiliser la technologie correctement. Ce qui est super chez Les Tontons Truqueurs, c'est que Christian Guillon est à la fois une mémoire des effets spéciaux en France, et il a une véritable culture de l'image et de la mise en scène. Il a travaillé avec des réalisateurs que ça intéressait. Moi c'est un truc que je ne comprends pas, pourquoi il n'y a pas plus de metteurs en scène que ça intéresse ? Je suis fan de Cameron, Spielberg ou Fincher pour ça, ils savent mettre tout ça au service de leur mise en scène. En quoi cet outil devient un outil d'expression supplémentaire ? Quand il fait Avatar, Cameron se pose la question de l'avant plan. Il sait que ça passe par là. Les plus belles séquences d'Avatar, ce sont des séquences d'avant plan comme la séquence de l'arbre. Tu es dans un environnement poétique où ton personnage est entouré de végétaux, donc toi aussi tu as l'impression d'être entourée de trucs... On en revient à la question essentielle de la représentation de l'espace dans un écran 2D. Donc les effets spéciaux ne servent qu'à ça. Fincher va placer un petit truc à droite parce qu'il sait que même si le spectateur ne va pas le regarder, il va y être sensible. Les mauvais metteurs en scène filment leurs acteurs directement. Il n'y a pas de profondeur, pas d'hors-champ, il n'y a rien. C'est vraiment culturel. Le retard qu'on a avec le fond vert et les productions virtuelles, c'est parce qu'on perdu notre culture du studio, notre culture de l'interaction, de la décoration en fonction du cadre. La plupart des chefs décorateurs français ne savent pas cadrer. Ils te présentent un décor en plan large, mais ils ne vont pas te dire, là il y a un plan, là il y a un plan et là il y a un plan. Le meilleur chef décorateur avec qui j'ai travaillé, un québécois qui travaille avec Villeneuve, il me disait "moi mon plaisir sur un tournage, quand je construis un décor, c'est le premier jour des rushes où je vois que l'opérateur et le décorateur ont mis la caméra exactement là où je voulais que mon décor soit filmé." Le cinéma français est un cinéma d'ensemblier. Tu es sans cesse en train de faire redescendre les tableaux, bouger les meubles, etc. Quand tu fais du fond vert, tu devrais avoir des chefs décorateurs, des metteurs en scène et des gens pour qui c'est le métier de créer du volume pour le retranscrire dans de l'espace 2D. Les opérateurs ne devraient pas demander d'avoir des profondeurs en plus dans le plan, c'est au chef décorateur de prendre ce travail-là en charge.

J'explique souvent quelque chose de très simple que les Américains connaissent bien. Dans le cinéma français, si tu dois filmer deux personnages, tu vas faire un plan large, et de gros plans des deux. Dans le cinéma américain, tu vas également faire un plan moyen, le fameux plan taille ou plan américain. Sur le gros plan, le décor est flou et sur le plan large, tout est net. Dans le plan moyen, tu as une interaction entre les personnages et le décor, car les deux prennent la même place dans la cadre. Dans le plan américain, ton décor est autant un personnage. Donc à la photographie, tu vas devoir guider l'œil parce qu'il va constamment circuler entre les deux. Il suffit d'avoir regardé un peu de peinture pour voir que pour dynamiser ton plan moyen, il va falloir créer des lignes de composition. Un tableau là, un autre luminaire ici, tu vas créer une diagonale, réfléchir comment poser un drap. Tu vas créer un avant plan

pour recréer une profondeur. Déplacer un élément pour créer du hors champ. Et d'un coup les interactions se créent. Derrière, je mets les éléments signifiants du décor. Au final, c'est le rapport de l'inscription d'un personnage dans un volume en 3D pour que le second plan fonctionne et dialogue de manière organique et dynamique avec les autres plans. Parce que le cinéma, c'est du mouvement et ça ne peut que se nourrir d'autres dynamiques. Le fond vert, c'est comme ça qu'il faut l'organiser. Il faut les penser comme un espace de composition du plan. Nous on les pense que comme des Américains, en termes de dynamique. Sauf Fincher.

Quand Fincher va enlever un volume, c'est pour mettre un triangle à la place du carré, pour faire que ce triangle t'amène à l'information qu'il ait envie que tu regardes. On est parti peut-être un peu loin de la question des écrans virtuels, mais en même temps, c'est la question si on veut aller plus loin c'est celle de l'immersion. Et la question de l'immersion passe par la question de la composition. Si tu ne penses qu'en termes d'attraction purement technique, l'éclairage dynamique et tout ça ne prendra jamais. Il y aura toujours un problème technique.

L'interaction qu'on a choisie sur *Une belle Course*, c'est une interaction de bordel. C'est une interaction d'anarchie. Ce sont des gens qui sont dans leur salon - la voiture - qui sont protégés d'un monde qui est derrière et chaotique. Moi j'avais besoin pour que ce soit chaotique de filmer une pelure qui soit chaotique, de la vraie vie. Et profiter de ce chaos. La 3D, c'est un outil génial pour faire de la composition, pas pour faire du chaos. Parce que le chaos, c'est la vie.

Annexe 2 : Entretien avec Nathalie Durand

Cet entretien a été réalisé le 30 mars 2022 à Paris. Durant cette discussion, Nathalie Durand revient sur sa première expérience en plateau virtuel lors du tournage du premier long-métrage de Noémie Lefort, Mon Héroïne.

JUSTINE COULMY : Comment es-tu venue à travailler avec Neoset ? Tu en avais entendu parler ?

NATHALIE DURAND : C'est venu par la réalisatrice bizarrement. Noémie Lefort, avec qui j'ai fait ce film. C'était un premier film, mais il se trouve qu'elle est assez copine avec Louis Leterrier, qui venait de tourner une séquence avec des poursuites de voitures, où ils avaient fait appel à Neoset. Elle est allée voir et elle s'est dit qu'il fallait absolument qu'elle tourne là.

Il y a eu ça, et puis le fait qu'on tournait un film qui était censé se passer à New York, et qu'à l'époque, on ne pouvait pas aller à New York ! Et pour le genre de film, son budget, c'était trop cher de tourner les intérieurs du taxi à New York : on s'est dit qu'on allait le faire à Neoset.

On a fait trois scènes d'intérieur taxi, et puis on un autre setup de passage de temps dans le film où la comédienne était sur le plateau et ce qui se passait derrière elle n'allait pas à la même vitesse. Elle progressait au ralenti et ce qui passait derrière elle était à vitesse normale. C'était un 360°, avec un changement de costume, de lieu, avec un volet qui passait...

JUSTINE COULMY : Noémie Lefort avait déjà écrit son film au moment où elle a découvert Neoset ?

NATHALIE DURAND : Oui parce que le scénario datait de 5 ans environ. Il se trouve qu'elle est tombée là-dessus et que ça commençait à devenir intéressant. Elle a eu envie d'utiliser ce système. Sinon on l'aurait fait sans doute, soit en projection frontale, soit en fond vert. On aurait repris les chemins classiques !

JUSTINE COULMY : Et toi c'était la première fois que tu utilisais ce genre de système ?

NATHALIE DURAND : Oui c'était vraiment la première fois, avec un petit peu d'appréhension, comme c'est nouveau, et c'est là que j'étais très contente d'être en lien avec Neoset. Parce que nous on a tourné sur un plateau qui appartient à TSF, avec des murs LED de chez PRG. Neoset fait vraiment l'interface entre la production et le plateau. Et pour le coup c'est bien de pouvoir s'appuyer sur des gens qui connaissent bien le système, ses avantages et ses inconvénients. Ils se sont surtout occupés de la préparation des plates.

Encore une fois c'était un peu compliqué, comme c'était une période où on ne pouvait pas aller sur place. L'idéal aurait été que moi, ou quelqu'un d'autre allions aux États-Unis, à New York, tourner les plates dont on avait besoin, ce qu'on n'a pas pu faire. Et puis on n'avait pas trop le temps ni les moyens. Donc on a délégué, c'est-à-dire qu'il y avait une production exécutive à New York qui a trouvé un opérateur et une caméra pour faire les plates et à qui on a envoyé un cahier des charges en précisant tout ce dont on avait besoin. Ils ont fait ça... comme ils pouvaient ! Du coup il y a eu beaucoup de travail de Neoset pour trouver les bons moments dans les plates, savoir ce qu'on pouvait utiliser faire des stiches. Eux conseillent de faire les plates avec un objectif japonais super grand angle, avec un à l'arrière et un à l'avant, sur des RED Helium, un capteur super 35, mais avec beaucoup de définition, 8K. C'est ce

qu'ils préconisent. Pour nous je pense qu'ils ont fait ça avec des appareils photo, ou des Komodo, mais ils ne l'ont pas fait très bien fait. Parce qu'il y a plein de problèmes avec la voiture. Avec ce système-là, ça marche quand la voiture est à une certaine distance, mais souvent comme les caméras sont devant et derrière, il ne faut pas que la caméra qui tourne les plates soit trop proche du véhicule devant ou du véhicule derrière. Il faudrait presque mettre une remorque, parce que sinon ça déforme trop les perspectives et les voitures deviennent énormes. Il y a quelques contraintes à avoir en tête, je pense. C'est pour cela qu'il aurait été de pouvoir faire les plates.

JUSTINE COULMY : Si toi tu avais pu les faire, tu aurais utilisé un autre découpage ?

NATHALIE DURAND : Oui, déjà parce qu'il y avait des trucs écrits dans le scénario qui étaient un peu particuliers : des embouteillages, d'autres moments où ça devait aller très vite, zigzaguer... On a dû faire un peu avec ce qu'on pouvait. A New York, ils ont fait des plates qui étaient en morceaux, ce qu'on appelle le "stitch". Donc ils ont eu un peu de travail à faire là-dessus. Evidemment on a dû demander les plates trois semaines avant, et elles sont arrivées deux jours avant le tournage.

Après sur le plateau en lui-même, c'est très agréable déjà pour la mise en scène. Parce que le réalisateur il a juste à se lever pour aller parler aux comédiens. C'est aussi agréable pour les comédiens, parce qu'ils sont dans un environnement qui pourrait ressembler à ce qu'ils verraient s'ils étaient vraiment dans une voiture. Nous on avait 11m de base incurvée. Sur le plateau il y a aussi le sol, mais on ne s'en est pas servi. Ils ont aussi une dalle pour faire le plafond, notamment pour les reflets sur le parebrise avant. Je ne crois pas qu'on s'en soit servi non plus finalement. En revanche on a fait des trucs sur la vitre latérale par exemple, sans écran supplémentaire, juste en bougeant la voiture. Elle est sur vérins, on peut la bouger comme on veut.

La limite aussi que j'ai trouvée par rapport aux voitures, c'est qu'il ne faut pas en avoir des trop courbées. Par exemple une Audi TT, ce n'est pas bon du tout. Vu qu'on est limité par la hauteur de l'écran qui faisait 3m, quand tu veux jouer sur des reflets sur la vitre, tu te retrouves assez vite coincé par ça.

JUSTINE COULMY : Vous aviez quoi comme voiture ?

NATHALIE DURAND : Un taxi, genre new-yorkais, donc pas de problème.

JUSTINE COULMY : Vous aviez trois séquences de voiture, c'est ça ?

NATHALIE DURAND : Il y en avait trois, et finalement il y en a une qui a sauté. Donc deux, les deux de jour. On avait une nuit, mais on ne l'a pas faite en studio. On a pu la faire à New York, puisqu'on a pu y aller ensuite.

JUSTINE COULMY : Ces deux séquences, vous les avez tournées en combien de temps ?

NATHALIE DURAND : En une journée. Parce que c'est cher ! Au début on avait prévu deux jours, mais on nous a dit que c'était 40 000€ la journée.

JUSTINE COULMY : Et la séquence time lapse, c'était le même jour ?

NATHALIE DURAND : Oui, c'était une grosse journée, mais on a tout fait le même jour. La séquence à deux vitesses c'était pas mal. J'ai un peu regretté les limites du système, on ne pouvait aller qu'à 50 i/s. On aurait aimé que le ralenti soit un peu plus prononcé.

JUSTINE COULMY : Par rapport à la fréquence de l'écran ?

NATHALIE DURAND : Oui. Par contre, je n'ai jamais eu de problèmes de moiré. Ça, ça tient à la taille des LED, parce qu'il existe plusieurs types de dalles. Sur ce plateau, c'étaient des LED assez fines.

Ce que j'ai pas mal utilisé, c'est leur espèce de projecteur virtuel. C'est-à-dire qu'ils peuvent programmer sur ce qu'il projette. Une dalle blanche quoi, qui peut bouger, venir, s'en aller, qui peut refaire un projecteur. Il y a moyen de rééclairer par le mur de LED, hors champ.

JUSTINE COULMY : Du coup ça c'est toi qui décides avec eux ce dont tu as besoin ?

NATHALIE DURAND : Oui, ils faisaient des propositions, et je validais.

JUSTINE COULMY : L'idée, c'était de faire comme si des voitures passaient à côté par exemple ?

NATHALIE DURAND : Oui, pour avoir des changements de luminosité, ou même un truc fixe, qui te permet de redonner une direction. Parce que c'est vrai que ça éclaire un peu les LED, mais ce n'est jamais assez, il faut toujours rééclairer.

JUSTINE COULMY : A part ce projecteur virtuel, qu'est-ce que tu utilisais pour rééclairer ?

NATHALIE DURAND : On a utilisé pas mal des SL1, Skypanels, principalement des projecteurs LED. Des plus petits panneaux pour l'intérieur des voitures. Un peu comme ce qu'on ferait pour une vraie séquence de voiture sauf que tout est sur pied. Dans une vraie voiture, il faut installer une structure avec des tubes, et on accroche les projecteurs.

JUSTINE COULMY : Est-ce que l'extérieur était suffisamment éclairé par le mur ?

NATHALIE DURAND : Oui, pour tout ce qui concerne les reflets. Dans notre cas, on n'en a pas trop eu ça, parce que c'était un taxi jaune, et on n'a pas filmé tant que ça à l'extérieur du taxi. On a fait un plan à l'extérieur, mais on était vraiment que sur la vitre, avec un bout de montant jaune. Il y avait les reflets du mur qui passaient, et on avait un peu rééclairé en contre. Tu peux faire rentrer un peu la lumière par la vitre arrière, par le côté qui t'intéresse. Là, avec ce taxi, c'est assez sombre à l'intérieur. C'est noir, assez grand, il y a une vitre en le chauffeur et le passager. Il y avait quelques difficultés comme ça, on a mis des tubes, du genre Hélios.

JUSTINE COULMY : En termes de découpage, le fait d'être dans une configuration sur plateau pour faire du rouling, ça vous a amené à découper différemment ?

NATHALIE DURAND : En l'occurrence sur ce projet, pas trop. Mais oui je pense que cela peut donner lieu à des plans plutôt intéressants et marrants. Après c'est toujours la même limite qui est de ne pas dévoiler le dispositif. Mais c'est sûr que ça donne envie de faire des choses un peu plus rock'n'roll.

Mais au final, tu n'as jamais 360°, ça limite le terrain de jeu. De mémoire, tu peux avoir dans les 160° d'utilisable. On est souvent à la limite de cadrer le haut, de sortir sur mur, faut toujours composer avec. Mais oui, Leterrier s'est pas mal amusé.

On avait aussi la voiture sur vérins, avec un machino qui pouvait la bouger. Sinon pour le 360°, avec le passage de temps, il y avait 4 tableaux, 4 saisons, 4 mois. Il y avait un décor de maison, un autre de salle à manger, une boîte, la fac, la chambre... A chaque fois, l'actrice était sur le plateau. Nous on avait tourné les plates avec une caméra, c'était un peu compliqué en raison des décors qui étaient assez petits. Et la réalisatrice voulait que ça panote et que ça bouge un peu tout le temps. Donc on avait une petite tête motorisée. On avait tourné dans chaque décor un plan un peu large. On a tourné ces plans-là à 25 i/s, eux les projetaient à 50 i/s, et sur le plateau la caméra était à 50 i/s. En plus du mur LED et de la comédienne, il y avait devant elle un plateau tournant sur lequel il y avait des objets avec lesquels elle interagissait et qui venaient boucher la caméra, ce qui nous permettait de passer au tableau suivant.

Pour moi, le gros problème c'était la profondeur de champ, les vitesses, savoir à quelle focale je devais passer pour être à la bonne valeur sur elle, et en même temps, il fallait être un petit peu net sur l'arrière-

plan par ce que ça nous intéressait, mais pas trop pour ne pas sentir le mur de LED. Et à quelle distance devaient être les objets pour qu'ils masquent correctement la caméra. Tout ça était un petit casse-tête.

JUSTINE COULMY : Quelles optiques avez-vous utilisées ?

NATHALIE DURAND : Pour les optiques anamorphiques, on était en Master Anamorphic de chez Zeiss, et en sphérique on était aussi en Master Prime, ou Ultra Primes. On ne les a pas utilisées beaucoup. Dans la voiture, je les ai un peu utilisées, parce que le problème avec les optiques anamorphiques, c'est leur distance minimum de point. Et pour la caméra on était en Arri Alexa Mini.

JUSTINE COULMY : Quelles questions t'es-tu posées concernant les couleurs ?

NATHALIE DURAND : Ce qui est bien c'est qu'il y a un rendu qui est immédiat sur le plateau. Après en étalonnage, comme les deux couches sont déjà superposées, on se retrouve sans doute avec moins de latitude qu'en fond vert ou on peut gérer différemment ce qu'on incruste sur le fond vert. Ici pour toucher à l'extérieur, il faut faire des masques, baisser les hautes lumières.

Pour la couleur, comme ce sont des séquences d'extérieur jour, on a réussi à jouer sur la couleur, même à l'étalonnage. Aux rushes c'était assez bleu et froid, et on a réussi à revenir vers une image équilibrée.

L'exposition aussi, c'est comme dans n'importe quelle séquence d'intérieur avec une découverte. Quoique sur le mur de LED ils peuvent jouer avec sa luminosité. On peut, avec le rapport de contraste qu'on veut, aller vers la surexposition, ou avoir une lumière bien posée. On revient toujours au fait de ne pas aller au-delà de ce qu'il est possible de faire dans une situation véridique, afin de garder l'illusion.

JUSTINE COULMY : Pierre Cottureau avait écrit qu'il avait fait toutes ses plates en Venice, parce que le film était en Venice. Qu'en penses-tu ?

NATHALIE DURAND : Pierre a fait ça de manière plus rigoureuse. Et aussi ils ont tourné plus longtemps, au moins quatre semaines, je crois. Effectivement, si j'avais eu tout le film à faire, et pas seulement deux séquences, je me serais tournée vers des dispositifs plus rigoureux. Mais au final, de ce que j'ai pu voir de notre film, il y a quelques plates qui ne sont pas très justes. Je le vois, mais je ne pense pas que le spectateur ne le verra pas.

J'avais lu cet article de Pierre, qui parlait de faire les plates à la Venice. Comme je te l'ai dit, nous on a fait les plates à la Komodo, je crois. Par contre, quand on fait la séquence à 360°, là, on a tourné avec l'Alexa, la caméra du film. Et on a un peu étalonné les plates avant le tournage. Sur le plateau, on a rééclairé la comédienne, comme si elle était dans le cadre de ce qui se passait derrière elle.

JUSTINE COULMY : Sur cette séquence, comme les décors tournaient, est ce que vous faisiez aussi tourner la lumière avec ?

NATHALIE DURAND : Non, les décors tournaient très peu en réalité. Je ne suis même pas sûre qu'on ait la sensation du mouvement dans le résultat final. Un petit peu, mais c'est très lent. Cela nous permet de balayer un peu plus de décor.

JUSTINE COULMY : Si c'était à refaire, pour des scènes de rouling sur de futurs projets, tu reprendrais le même genre de dispositif ?

NATHALIE DURAND : Je prépare un film, avec une scène de rouling en tracteur, et je me suis dit que ça serait pas mal. Mais encore une fois, ça coute très cher. Et sur ce projet, je pense que la réalisatrice aimera tourner en vrai, sur le tracteur. Mais j'y ai pensé. Si à l'avenir, je sens que ça peut être utile à la narration, je proposerai. C'est un bel outil quand même. Et ça va se démocratiser, je pense.

JUSTINE COULMY : On présente ça comme la solution idéale pour le rouling. Toi, tu as pu faire d'autres types de séquences, comme celle avec le défilement du temps. Est-ce que tu vois d'autres utilisations ou ce dispositif serait pertinent ?

NATHALIE DURAND : Je sais pas, un voyage sur la lune ? Quoique c'est un peu comme du rouling, mais en fusée. Ou des trucs sous l'eau, un sous-marin ? Au final on revient surtout aux mêmes applications que la projection frontale. Cette séquence de 360°, c'était un peu différent. Si on n'avait pas eu le mur LED, on l'aurait fait avec un fond vert typiquement.

Après tu ne peux pas faire le point sur le mur, donc tu peux pas faire un plan ou tu passes le point du comédien à l'extérieur. Ça reste assez limité. Je pense que c'est surtout un gros confort pour la mise en scène et les comédiens. Pour l'image aussi. Ça simplifie le travail, on peut aller chercher un drapeau, le mettre sur un pied, c'est tout simple. Mais je pense que le gros plus, c'est surtout pour le jeu et la mise en scène. Il faudrait interroger des réalisateurs qui ont été confrontés à ça, je pense qu'ils voient les bénéfices.

Partie pratique de mémoire

Spécialité cinéma, promotion 2019-2022

Soutenance de juillet 2022

Rendre la lumière « interactive »

Cas pratique de deux décors virtuels chez *Les Tontons*
Truqueurs

Justine COULMY

Directeur interne de mémoire : Laurent STEHLIN, Directeur technique.

Directeur externe de mémoire : Pierre COTTEREAU, Directeur de la photographie.

Présidente du jury cinéma et coordinatrice des mémoires : Giusy PISANO, Professeure des Universités et Directrice de la recherche.

Sommaire

NOTE D'INTENTION	109
MOYENS TECHNIQUES EMPLOYES	112
SYNTHESE DE LA PARTIE PRATIQUE	113

Note d'intention

Les questions abordées dans la partie théorique de mon mémoire ont très vite trouvés leurs limites dans une pratique personnelle. En effet, comme les productions virtuelles nécessitent la mise en œuvre de technologies récentes et onéreuses, il m'est impossible de réaliser des essais pertinents dans le cadre de l'école ou de tournages étudiants. Par conséquent, j'ai décidé de réaliser un stage chez *Les Tontons Truqueurs* (LTT), société spécialisée dans la prévisualisation *on set* et l'association de décors physiques et virtuels en temps réel.

Je travaille aux côtés de Nicolas HAYAT, responsable du pôle recherche et développement en optimisation et interactivité. Son rôle est de transformer les scènes 3D pour qu'elles soient plus facilement manipulables au moment du tournage et que leur rendu puisse être calculé en temps réel. Dans le cadre de mon stage, j'ai la responsabilité de rendre interactifs deux décors. Le premier représente une rue dans un style new-yorkais, il est destiné à la réalisation d'essais pour de potentiels clients qui viendraient tourner une série d'anticipation. Le second est un prolongement de décor pour les scènes de commissariat de la série *Un si grand Soleil*, diffusée sur France 2.

Rendre une lumière interactive, c'est la rendre facilement contrôlable et ajustable au moment du tournage pour que les opérateurs puissent rapidement raccorder la lumière du décor virtuel avec la lumière du décor physique. Cela nécessite d'anticiper les besoins du tournage et donc de comprendre comment la lumière du plateau sera construite. Ce travail lié à l'interactivité peut être découpé en cinq étapes. Pour chacune d'entre elles, je souhaiterais documenter ma pratique autour des projets confiés par LTT, questionner la place du chef opérateur dans les prises de décision, et saisir les avantages et limites des technologies actuellement employées.

- **Lighting du décor 3D**

Les décors 3D sont conçus par des graphistes qui réalisent des constructions les plus proches possibles des décors réels. Une fois ces scènes terminées, il faut venir les éclairer pour différentes configurations : jour, nuit, intérieur, extérieur... Ce premier travail, appelé *lighting*, cherche à la fois à répondre à des critères esthétiques (comment rendre la scène la plus belle et la plus réaliste possible) et des critères d'optimisation. En effet, contrairement au cinéma d'animation où les rendus peuvent être calculés en différé, les productions virtuelles exigent un rendu en temps réel de chaque image.

Comment construire une lumière photoréaliste sans accaparer toutes les ressources graphiques des ordinateurs qui vont les calculer ? Comment simplifier les reflets et les rebonds de lumière ? Quelles différences entrent en jeu entre la conception d'un éclairage physique et celle d'un éclairage virtuel ?

- **Configuration des commandes du décor 3D**

Une fois le *lighting* terminé, il faut choisir quels paramètres doivent être ajustables sur le plateau. Contrairement à une lumière physique, une lumière virtuelle permet la dissociation et le contrôle individuel de toutes ses caractéristiques : intensité du faisceau, de sa surface de propagation, de sa diffusion, température de couleur de la source, émissivité de l'ampoule, couleur de l'ampoule... Est-il plus pertinent de lier ces paramètres à l'aide de coefficients pour n'avoir qu'une seule commande globale photoréaliste rapidement modifiable, ou est-il préférable de laisser la commande de chaque pour avoir un contrôle plus précis ?

A l'échelle d'un décor, comment regrouper les différentes lumières ? Par style de lampe ? Par type de lumière produite ? Par espace du décor ? Est-ce pertinent de laisser les commandes pour chaque lampe du décor ou vaut-il mieux créer une commande globale ?

- **Configuration du *controller* pour le plateau**

Lorsque les commandes de lumière ont été définies et codées dans le moteur 3D pour pouvoir être ajustables, il faut les importer dans le *controller*, c'est-à-dire l'interface qui va permettre de les piloter sur le plateau. En effet, les logiciels de graphisme sont complexes, et leur utilisation est difficilement compatible avec la rapidité d'exécution que requiert un tournage. LTT a ainsi créé une interface, *U Change The World*, qui permet de regrouper uniquement les commandes nécessaires à la manipulation de la scène 3D sur le plateau.

L'implémentation des commandes est donc une étape clé : il faut les nommer et les classer de telle sorte à ce que l'opérateur puisse instantanément les identifier et accéder le plus rapidement possible à la commande qu'il cherche. Il sera donc question, lors de cette troisième étape, de réfléchir à la meilleure nomenclature et classification possible pour optimiser l'utilisation de l'interface.

Sur un plateau de tournage, il est essentiel que tout le monde se comprenne et parle le même langage. Le nommage des paramètres est donc une étape cruciale, et trouver des termes communs à tous est une tâche complexe. Pour ces raisons, ce travail de nommage fera l'objet d'un sondage que je compte créer et partager à l'ensemble des étudiant·e·s et personnels enseignants et administratifs de l'ENS Louis-Lumière. Le questionnaire aura pour objectif de statuer sur la pertinence des termes choisis pour nommer les paramètres dans le *controller*. Tous les paramètres modifiables seront présentés à travers de courtes vidéos, et pour chaque, la personne interrogée devra donner le mot qui lui viendrait spontanément pour le qualifier.

- **Mise en œuvre sur le plateau : raccord de la lumière réelle avec la lumière virtuelle**

Lorsque la préparation de la scène 3D et de son interface de pilotage s'achève, une phase de test sur le plateau est effectuée pour s'assurer qu'il n'y a pas de bug ou d'erreurs de code. Si tout se passe bien, le décor peut être livré pour le tournage. L'observation de son utilisation au moment du tournage sera donc pour moi l'occasion d'évaluer la qualité de mon *lighting* et la pertinence de mes choix lors de la construction de l'interface.

Le tournage sera également un temps d'observation des interactions entre les opérateurs du décor virtuel, le directeur de la photographie et le réalisateur. La lumière du décor virtuel s'adapte-t-elle au fur et à mesure que celle du plateau se construit, ou la lumière du plateau cherche-t-elle à recréer celle de la scène 3D qui lui a été livrée ? Comment améliorer ces échanges et pousser plus loin les possibilités d'interactivité ?

Moyens techniques employés

Tous les moyens ont été mis à disposition par Les Tontons Truqueurs.

- **Logiciels :**

Le décor du Palais de Justice a été modélisé par Doriane Lopez sur **Unreal Engine 4.26**. Tout le travail graphique que j'ai eu à opérer a également été réalisé sur Unreal Engine. Des plugins créés par des développeurs de la société ont permis de créer les commandes nécessaires à l'utilisation des décors sur le plateau. On peut notamment citer le « **Kyk Color Pipeline** » développé par Olivier Patron afin d'étalonner des zones du décor en temps réel, ou encore le plugin de Stéphane Lesmond, « **U Change The World** » qui permet de créer le Controller.

Sur le plateau, le tracking, le keying et le compositing étaient réalisés grâce à l'interface du logiciel d'**Halide** développé par Lightcraft.

- **Plateau :**

Les essais du décor de rue new-yorkaise ont été réalisés sur le plateau D des studios de France Télévision à Vendargues. Le studio de 600m² est entièrement recouvert d'un fond vert, éclairé par **46 projecteurs fos/4 panels**.

La caméra utilisée est une **Varicam**, équipée d'un zoom **Fujinon Cabrio 19-90mm T2.9**. Les informations de l'optique (focale et mise au point) sont relevées par des palpeurs, eux-mêmes connectés au tracker de la caméra. Le tracker analyse des mires avec des QR codes placés sur le plafond du studio. Tout ce système de tracking est développé par la solution **Halide** de Lightcraft.

Une direction principale de lumière a été recrée grâce à un projecteur **Arri M18**, et **divers panneaux LED** étaient utilisés en appoint. Plusieurs, **cadres, floppys et drapeaux** venaient sculpter cette lumière.

- **Enquête :**

Pour le sondage en ligne, les images ont été réalisées sur **Unreal Engine 4.26** et le questionnaire a été conçu et diffusé grâce à la plateforme **Typeform**.

Synthèse de la partie pratique

- **Lighting du décor 3D**

Dans un premier temps, j'ai réalisé un lighting pour le Palais de Justice en essayant d'être la plus « neutre » possible. Les différents modèles de lampes avaient tous la même intensité et la même température de couleur le long des murs. L'espace était éclairé uniformément afin de rendre le décor visible. Je pensais que livrer un éclairage « neutre » laisserait la liberté au chef opérateur de le modifier à sa guise. Mais la réalité du plateau est très différente. Pris dans le rythme du tournage, peu habitués aux décors virtuels et n'ayant pas conscience du contrôle de ces lumières 3D, les chefs opérateurs n'intervenaient jamais pour retravailler le lighting. Au final, l'éclairage des extensions du Palais de Justice restait assez lisse à l'issue du tournage.

Un second lighting a donc été travaillé, offrant plus de relief au décor et aux images. Les températures des sources étaient différentes d'un modèle de lampe à l'autre, et chaque type de source était amélioré par l'intégration d'un profil IES afin de modeler le faisceau.

Les performances du moteur graphique ont été un enjeu beaucoup plus important que les directions de lumière. Il est impossible de superposer la lumière de plus de quatre sources, ce qui limite très vite les possibilités et marque le début d'un long casse-tête. Dans un couloir, la lumière d'une lampe croise nécessairement la lumière de la lampe à sa gauche, celle à sa droite et celle qui lui fait face afin de ne pas laisser de zone d'obscurité entre deux sources. Dès lors, on obtient une superposition de quatre zones de lumière, et rajouter une source supplémentaire rendrait le calcul des rebonds impossible. La complexité de ces considérations techniques rend d'autant plus importante la présence d'un regard extérieur, qui, loin des calculs de performances, peut se concentrer sur la part artistique du travail d'éclairage.

- **Retours sur le sondage réalisé à propos du nommage des paramètres**

Afin de déterminer les termes les plus parlants pour désigner les paramètres d'une lumière 3D, la scène suivante était présentée cinq fois aux participants du sondage. Chaque vidéo mettait en valeur la variation d'un paramètre différent (*Light Intensity*, *Volumetric Intensity*, *Emissive Intensity*, *Light White Balance*, *Emissive White Balance*).



Les consignes leur étaient présentées ainsi :

« Le vocabulaire employé pour qualifier les propriétés d'une lumière varie beaucoup entre le monde du graphisme 3D et celui du cinéma. Or, les productions virtuelles réunissent ces deux mondes sur un même tournage, et il est important que tout le monde se comprenne sur un plateau. Lorsque l'on éclaire un environnement virtuel en 3D, on peut se défaire de toutes les lois de la physique. Il vient alors à nous manquer des mots pour décrire des phénomènes lumineux que l'on ne retrouve pas dans le monde réel.

Dans la suite de cette enquête, un éclairage 3D va vous être montré plusieurs fois. Chaque fois, un paramètre différent variera. A vous de nommer spontanément ce paramètre. Le but de l'étude est d'évaluer la pluralité des termes possibles pour désigner un même paramètre, et de déterminer le vocabulaire le plus commun pour en parler.

Pour le bien de l'enquête, il ne vaut mieux pas chercher à nommer avec une précision scientifique le phénomène lumineux, mais plutôt à exprimer le premier mot qui vous vient en tête. »

Les réponses des participants devaient respecter les deux conditions suivantes :

Règle 1 : Formulez votre réponse en 1 seul mot.

Règle 2 : Sur les cinq vidéos que vous allez voir, n'utilisez jamais deux fois le même mot pour répondre.

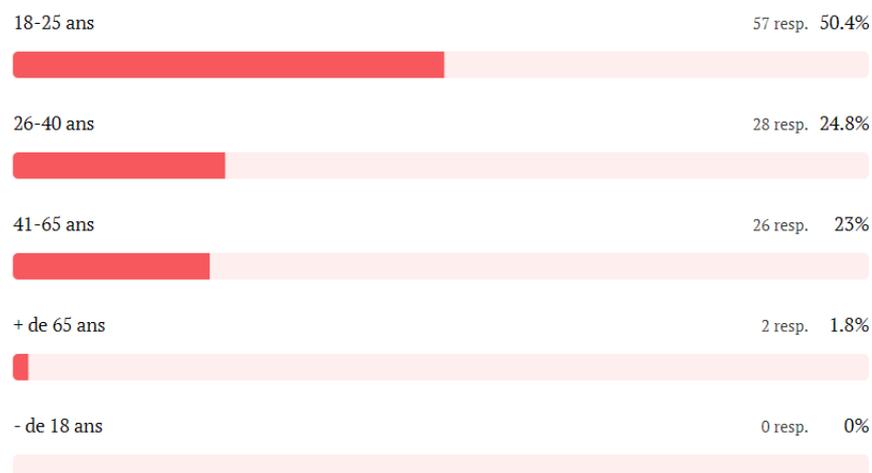
Les participants pouvaient revenir en arrière à tout moment et corriger leurs réponses en naviguant d'une vidéo à l'autre avant de soumettre leurs réponses finales.

Tout d'abord, intéressons-nous aux participants ayant répondu à l'enquête :

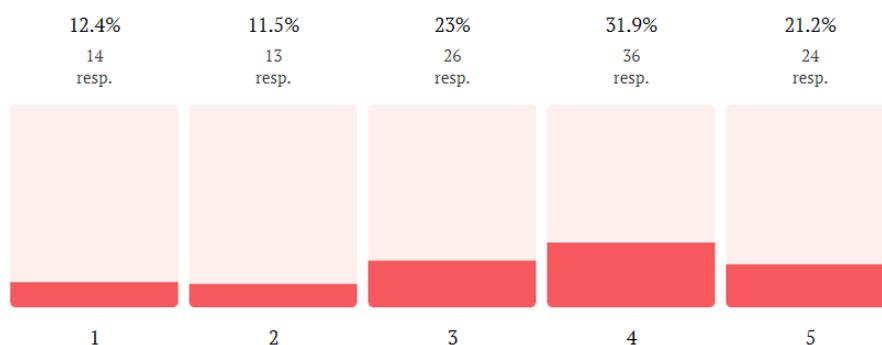
- o Réponses à la question « Avez-vous déjà participé à un tournage ?



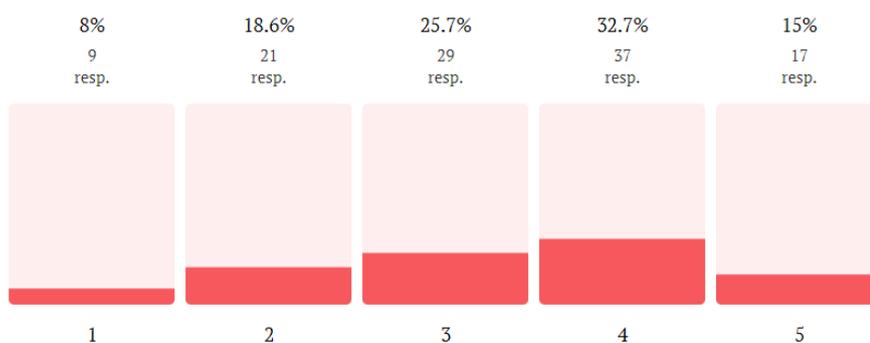
- o Tranches d'âge des participants :



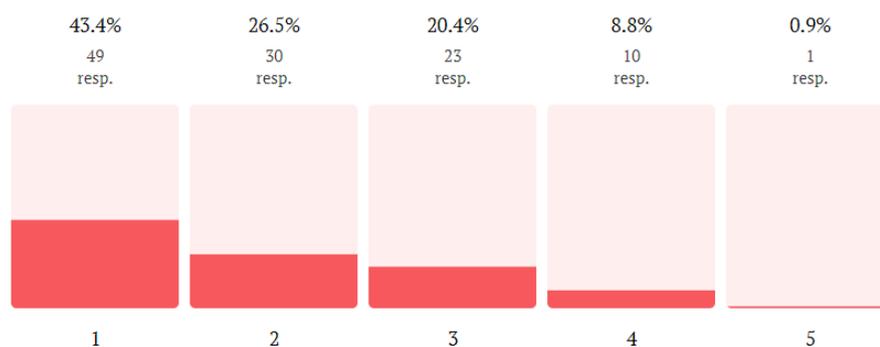
- Auto-évaluation des participants sur leurs connaissances en image numérique sur une échelle de 1 (aucune connaissance) à 5 (pratique professionnelle) :



- Auto-évaluation des participants sur leurs connaissances en lumière sur une échelle de 1 (aucune connaissance) à 5 (pratique professionnelle) :



- Auto-évaluation des participants sur leurs connaissances en graphisme 3D sur une échelle de 1 (aucune connaissance) à 5 (pratique professionnelle) :



Les participants de cette enquête sont donc majoritairement de jeunes actifs ou des étudiants travaillant dans l'industrie audio-visuelle. La plupart ont de bonnes connaissances en image numérique et en lumière, mais très peu en graphisme 3D. Les réponses à cette enquête sont donc d'autant plus intéressantes que les participants ne connaissent pas les termes utilisés par les moteurs graphiques pour nommer les paramètres qui leur sont présentés.

Paramètre n°3 présenté aux participants

Nom du paramètre dans le logiciel 3D :
Emissive Intensity

Captures d'écran de la vidéo présentant le paramètre :



Représentation des réponses obtenues (plus le terme est récurrent dans les réponses, plus le mot est gros dans le nuage) :



Paramètre n°4 présenté aux participants

Nom du paramètre dans le logiciel 3D :
Light White Balance

Captures d'écran de la vidéo présentant le paramètre :



Représentation des réponses obtenues (plus le terme est récurrent dans les réponses, plus le mot est gros dans le nuage) :



prolongement de décor ou des lampes réelles seraient suivies par leurs répliques en virtuel. Dans ce cas précis, un contrôle fin de l'émissivité des ampoules et du faisceau émanant des lampes serait très pertinent pour raccorder réel et virtuel. Dans les autres cas, il vaut mieux lier les paramètres.

En se penchant sur les réponses des personnes ayant le moins de notions de lumière et de 3D, il est intéressant de relever le caractère très visuel des termes proposés (« jaune », « vague », « fumée » ...). Comme l'avait suggéré l'opérateur Elie Fischer durant mon stage, implémenter les commandes du *controller* en les identifiant par des symboles ou des petits dessins plutôt que des termes à rallonge serait plus parlant pour les utilisateurs sur le plateau et offrirait une meilleure ergonomie d'utilisation au moment du tournage.

- **Configuration des commandes du décor 3D et du *controller* pour le plateau**

Plus les commandes sont nombreuses, plus les menus à implémenter dans le *controller* sont complexes, et moins les opérateurs peuvent s'en servir facilement sur le plateau. Il vaut donc mieux lier au maximum les paramètres des lumières à contrôler, coder pour créer des commandes générales par zone et ne dissocier des commandes que si cela est pertinent pour la mise en scène.

Les commandes doivent être les plus simples possibles, en cohérence avec la Global Illumination qui n'aura pas le temps d'être recalculée au moment du tournage : cela n'a pas beaucoup d'intérêt de pouvoir changer la température de couleur d'un projecteur si les rebonds de lumière émanant de cette source gardent la même température de couleur initiale.

L'usage du *grading par zone* est beaucoup plus utile pour modifier globalement l'intensité et la température de couleur d'une zone du décor. Le plus efficace est de pouvoir étalonner séparément chaque espace (pièces, couloir, extérieur) afin de maîtriser les rapports de contraste. Dans un même espace intérieur, il est pertinent de séparer le sol, les murs et le plafond et d'en faire trois zones à étalonner séparément afin de raccorder plus finement le décor réel au décor virtuel.

- **Conclusion générale**

Le travail sur les extensions de décor du Palais de Justice et le décor entièrement virtuel de rue m'ont permis d'affiner mon approche du lighting 3D et de son ergonomie de contrôle sur le plateau. Comme nous l'avons longuement développé dans la partie théorique, avoir le contrôle sur les commandes de tous les paramètres ne sert à rien si l'on n'a pas conscience des paramètres sur lesquels il est possible de jouer.

Au fil des retours des expériences plateau et tant que le lien entre le chef opérateur et les lighters ne sera pas plus développé, il me semble plus pertinent de livrer au tournage un décor avec un lighting travaillé, des variations de couleur et d'intensité et du relief. L'interactivité doit rester simple et efficace : le *grading par zone* reste une des meilleures solutions pour cela.

