

LE LIVRE BLANC DU RELIEF (3Ds)

AU CINEMA ET A LA TELEVISION

Document réalisé sous l'égide de la Ficam,
la CST, UP3D, le HD-Forum et l'AFC

Coordination éditoriale : Marc Bourhis (Ficam)

*Pilotes du groupe de travail Livre blanc du relief (3Ds) :
Olivier Amato (Smartjog) et Philippe Gérard (3DLized)*

LA RECHERCHE MÉDICALE AU SERVICE DU CONFORT VISUEL DE LA 3Ds



Depuis le début de l'année 2011, « 3D Comfort & Acceptance » regroupe des chercheurs, médecins et industriels du secteur de l'audiovisuel et du cinéma autour d'un projet de recherche visant à mesurer l'impact des défauts de fabrication et de diffusion de la 3D stéréoscopique sur le confort visuel du téléspectateur. Un domaine de recherche médicale et psychovisuelle encore peu exploré...

Un consortium multidisciplinaire

Compte tenu de la complexité du sujet et de son caractère fortement multidisciplinaire, cette plate-forme d'acceptabilité des effets 3Ds regroupe des acteurs nationaux majeurs de la chaîne de fabrication des images 3Ds :

- > La société 3DLized, qui, depuis le début de son existence est concernée par le confort de la 3Ds a pris la coordination de ce groupe de travail. Elle a la charge de créer des contenus à façon pour les besoins de l'étude, afin d'analyser les règles de grammaire qui régissent la création de contenus 3Ds confortables. Cette création d'images 3Ds tentera d'envisager les inconforts propres à chaque type de contenus que l'on peut s'attendre à voir arriver en 3Ds sur les écrans.
- > La Ficam assure la promotion du projet auprès de l'ensemble des industries techniques de la création
- > Un laboratoire de la vision et deux CHU mettent en place les protocoles de tests cliniques.



Les objectifs de 3D Comfort & Acceptance

- > Un premier objectif sera de trouver des garde-fous techniques mesurés de manière scientifique permettant in fine aux réalisateurs de réussir à faire passer les émotions souhaitées en 3Ds tout en conservant l'esthétique de l'oeuvre et le meilleur confort visuel possible.
- > Un second objectif vise à mesurer l'impact sur des populations à risque afin de pouvoir fournir, notamment via la Ficam partenaire de ce projet, des recommandations pratiques ou techniques aux instances publiques mais aussi aux prestataires techniques et diffuseurs TV en vue de définir des Prêts à Diffuser 3Ds (PAD 3Ds).

Pour toute information supplémentaire, contacter Philippe Gérard (3DLized) : philippeg@3dlized.com

3D Comfort & Acceptance est soutenu par



Les partenaires de ce livre blanc :



La Ficam (Fédération des Industries du Cinéma, de l'Audiovisuel et du Multimédia), présidée par Thierry de Segonzac, est une organisation professionnelle qui regroupe 180 entreprises dont l'activité couvre l'ensemble des métiers et du savoir-faire technique de l'image et du son. Véritable force de proposition, la Ficam représente, promeut et défend les intérêts nationaux et internationaux de la filière des Industries Techniques de la Création.



La Commission Supérieure Technique de l'Image et du Son (CST), présidée par Pierre-William Glenn est une association de professionnels du cinéma, de l'audiovisuel et du multimédia, de techniciens et d'artistes techniciens. La CST réunit aujourd'hui près de 700 membres. Elle a pour buts de défendre la qualité de la production et la diffusion des images et des sons, défendre la créativité, l'innovation technologique et artistique du cinéma et de l'audiovisuel et défendre l'indépendance, la liberté d'action et d'expression dans nos activités professionnelles.



UP3D (union des professionnels de la 3Ds) est une association professionnelle dont les objectifs sont : Fédérer et dynamiser la communauté des professionnels de la 3Ds, informer et communiquer sur les métiers, les savoir-faire et les matériels spécifiques à la 3Ds, promouvoir et structurer le développement de la 3Ds en Europe.



Originellement composé de 17 membres, le HD Forum, présidé par Jean-Pierre Lacotte, compte aujourd'hui 51 membres, tous professionnels conformément à ses statuts. La diversité des questions à régler autour de la HD a conduit le HD Forum à créer deux commissions : la « commission technique » et la « commission communication et marché », elles-mêmes divisées en groupes de travail qui collabore régulièrement aux travaux de la Ficam et de la CST.



L'AFC (Association Française des Directeurs de la Photographie Cinématographique) présidée par Caroline Champetier, regroupe la plupart des directeurs de la photographie français présents au plus haut niveau artistique et technique des productions françaises et étrangères. L'AFC défend l'existence d'une image cinématographique de qualité, teste les nouvelles techniques et affirme la compétence du Directeur photo en tant que collaborateurs de création des réalisateurs, dans la meilleure tradition du débat culturel et artistique français.



Des remerciements plus particuliers à :

A Pascal Buron (président délégué de la Ficam en charge de la *Commission technique, Recherche et Innovation*) pour l'ensemble de son travail de coordination sur ce sujet comme sur tant d'autres.

Un grand merci à Yves Pupulin (Binocle) pour sa contribution sur les grands principes et les fiches métiers liés à la stéréographie.

Merci aussi à David Steiner et Cédric-Alexandre Saudinos (Parallèl Cinéma) pour leur contribution concernant les techniques de pré-production et de tournage, ainsi qu'à Franck Montagné (Directeur de postproduction, Image&Magie) ainsi qu'à Philippe Ros (directeur photo AFC).

Merci à Alain Derobe (stéréographe et directeur photo) pour avoir accepté la reprise de sa contribution faite à la CST concernant l'adaptation de la 3Ds à la taille d'écran de diffusion, ainsi qu'à Rip O'Neil et Alain Besse de la CST pour leurs contributions entre autres sur la partie projection 3Ds au cinéma.

Merci à Laurent Verduci (stéréographe) pour ses fiches pédagogiques sur la 3Ds qui nous ont servi de fil rouge.

Merci à Marc Léger et Francis Mahieu (INA Sup) pour la rédaction avec Olivier Amato du chapitre sur les codecs et les modes de distribution.

Merci également à Alain Chaptal (Sonovision) et Thierry Gruszka (NDS), Eric Martin (Quinta Industries), Charles de Cayeux (France Télévisions), Pascal Charpentier (UP3D), Benoit Michel (stereoscopynews.com) pour leur participation active à l'élaboration de ce livre.

Enfin, merci à tous pour la relecture attentive du document finalisé.

SOMMAIRE

📄 POURQUOI UN LIVRE BLANC SUR LA 3D STÉRÉOSCOPIQUE ?	PAGE 6
📄 PRINCIPES DE LA 3Ds	PAGE 8
📄 RIGS ET CAMÉRAS STÉRÉOSCOPIQUES	PAGE 14
📄 POSTPRODUCTION 3Ds : CORRECTIONS ET WORKFLOW	PAGE 16
📄 LE CONFORT VISUEL DE LA 3Ds	PAGE 22
📄 CONVERSION 2D/3Ds : LA NÉCESSITÉ D'UN SAVOIR-FAIRE	PAGE 20
📄 LA PROJECTION 3Ds AU CINÉMA	PAGE 24
📄 L’AFFICHAGE TV 3Ds	PAGE 27
📄 ADAPTER LE RELIEF À LA TAILLE DE L’ÉCRAN DE DIFFUSION	PAGE 30
📄 GLOSSAIRE DE LA 3Ds	PAGE 33
📄 ANNEXE 1 : DÉFINITION DES MÉTIERS DE LA 3Ds	PAGE 36
📄 ANNEXE 2 : TECHNIQUES DE TOURNAGE EN RELIEF	PAGE 38
📄 ANNEXE 3 : CODECS ET MODES DE DIFFUSION	PAGE 43

POURQUOI UN LIVRE BLANC SUR LA 3D STÉRÉOSCOPIQUE* (3Ds) ?

Un an après l'explosion de l'équipement des salles de cinéma en projecteurs « 3D » numériques, de nombreux longs métrages « 3D » sortent dans les salles avec des qualités de traitement souvent disparates. Le marché de la télévision a lui aussi décidé de répondre rapidement à l'appétence du public pour les images en relief. Les fabricants de téléviseurs, prompts à participer à cet emballement technologique, fabriquent désormais à grande échelle des téléviseurs à écrans plats équipés de systèmes d'affichage « Relief » permettant de visionner les programmes TV 3Ds dans des conditions de confort visuel tout à fait acceptables.

Pendant, le marché des équipements de diffusion TV et cinéma est très en avance, chronologiquement parlant, sur la production de contenus 3D stéréoscopiques. Il n'existe pas à ce jour suffisamment de contenus produits nativement en 3Ds pouvant alimenter l'ensemble des canaux de diffusion ad hoc. La barrière est principalement économique et technologique, mais relève aussi souvent d'un manque d'informations sur les conditions pratiques dans lesquelles il est possible aujourd'hui de produire des images en relief pour la télévision et le cinéma.

Face à la carence actuelle en contenus 3Ds, on constate aussi que nombre d'œuvres et de programmes diffusés en relief dans les salles de cinéma ou sur les premières chaînes de télévision 3Ds utilisent des procédures de mise en relief d'images 2D automatisées. Celles-ci ne tiennent pas suffisamment compte des grands principes du confort visuel chez le spectateur et interrogent sur la notion de respect de l'oeuvre originale.

Face à cet emballement actuel autour du relief, il est donc apparu nécessaire aux différentes organisations professionnelles de la filière technique cinématographique et télévisuelle (Ficam, CST, UP3D, AFC, HD-Forum...) de réaliser un livre blanc dressant l'état des lieux de la 3D stéréoscopique. Ce livre blanc a l'ambition de pointer du doigt les différentes problématiques techniques et narratives liées au tournage, à la postproduction, au confort visuel, à la conversion 2D/3Ds et à l'affichage sur un écran de cinéma et/ou de télévision.

La 3D stéréoscopique est un dispositif artistique et technique qui nécessite une reconstruction mentale des images. Celle-ci est choisie par le réalisateur et contrainte par les règles physiologiques propres à la plupart des spectateurs.

A ce titre, il est crucial de mettre en place à toutes les étapes de la chaîne de fabrication des procédures de contrôle de la qualité du relief supervisées par un personnel qualifié et formé à cette nouvelle manière de produire et de postproduire. En fait, la 3D stéréoscopique, si elle ajoute des possibilités nouvelles sur le plan narratif, comporte aussi des obligations nouvelles sur le plan technique liées à l'acceptation cérébrale des spectateurs ou téléspectateurs. C'est pourquoi dans ce livre blanc de la 3Ds, notre objectif n'est pas de brider la créativité des réalisateurs qui doivent rester libre de leurs contenus artistiques, mais de fixer un cadre permettant de mieux se repérer dans l'addition des possibilités de mise en scène propres à la 3D stéréoscopique.

Il est important aussi de préciser que l'étude de la stéréoscopie, déjà ancienne, a permis de définir clairement des zones de confort visuel à l'intérieur desquelles un spectateur n'aura aucune gêne et encore moins de maux de tête. Nous disons aussi que l'art de la 3Ds n'en est qu'à ses débuts. Il y aura sans doute la possibilité pour des réalisateurs de films ou d'émissions de télévision de dépasser ce cadre technique, au moins ponctuellement, afin de provoquer des émotions toutes nouvelles chez le spectateur.

Enfin, on remarque que la perception de la profondeur d'un objet dans une scène 3Ds est modifiée suivant la taille d'affichage des images in fine (écrans de cinéma ou téléviseurs). Ce livre blanc décrit donc les différentes technologies d'affichage et définit les contours techniques des futurs programmes 3Ds livrés à la télévision et au cinéma.

En fait, si l'on devait résumer l'objectif principal de ce livre blanc, nous dirions qu'il consiste à informer suffisamment les professionnels de l'audiovisuel et du cinéma sur les possibilités de la 3Ds, afin qu'ils s'approprient le plus largement possible ce nouveau langage et que puisse être évitée une désillusion du public pour ce nouveau champ artistique et technique, comme cela a pu être le cas lors de la première vague d'engouement pour le relief au cinéma dans les années 1950 et 1960.

Ce document est un état de l'art en mai 2011. Il sera amené à évoluer en fonction des développements technologiques et artistiques à venir. Vous trouverez donc des versions mises à jour de ce livre blanc téléchargeables sur l'ensemble des sites web partenaires.

*** Plutôt que d'employer les termes relief ou «3D» assez imprécis pour l'un et source de confusion avec les images de synthèse pour l'autre, nous recommandons d'utiliser le terme 3Ds pour 3D stéréoscopique.**

☒ PRINCIPES DE LA 3Ds

La différence fondamentale entre les tentatives du passé et l'essor actuel de la 3Ds découle de la maîtrise technique du relief sur l'ensemble de la chaîne de fabrication et de diffusion des images, permise par les technologies numériques.

L'utilisation des outils numériques et les possibilités de modifications de l'image, pixel par pixel, depuis la prise de vue jusqu'à la diffusion sont autant d'étapes désormais incontournables en constante évolution. Ils garantissent la qualité de l'image 3Ds nécessaire au confort visuel du spectateur.

Les outils numériques participent à la maîtrise de la mise en scène stéréoscopique. C'est fort de ce constat que nous souhaitons aujourd'hui favoriser l'émergence d'un nouveau langage cinématographique ou télévisuel lié à l'usage de la 3Ds.

Une conception purement technique de la 3Ds est un pari risqué. Il est préférable de s'appuyer sur le savoir-faire à la fois technique et artistique des techniciens ou entreprises de prestations techniques spécialisés, qui ont à la fois une connaissance théorique solide et une expérience empirique de la 3Ds avant de se lancer dans cette aventure.

La mise en scène d'une séquence en 3Ds ne peut se résumer à un algorithme de mise en relief automatique, aussi parfaitement calibré soit-il, ou se passer de l'expérience de terrain d'un intervenant spécialisé en matière de 3Ds qui s'adapte aux conditions de tournage le plus souvent pleines d'imprévues. La réalisation d'une scène 3Ds, si l'on souhaite obtenir un confort visuel chez le spectateur, nécessite une mise en scène parfaitement réglée et des angles de caméras parfaitement maîtrisés. Si les équipes de production ne s'entourent pas de compétences allant dans ce sens, elles risquent de limiter leurs possibilités de générer des émotions chez le spectateur spécifiquement liées à la profondeur ou au jaillissement du relief, ou même dans certains cas « extrêmes » évoqués dans ce livre blanc, générer un inconfort visuel dans le public.

La stéréoscopie : un nouveau langage de réalisation

La création au cinéma ou à la télévision n'est pas liée à la seule évolution des techniques de production ou de diffusion, mais également au rapport émotionnel que ces images entretiennent avec le cerveau humain. De ce point de vue, la 3Ds rend nécessaire de reconsidérer ce rapport, afin d'adapter les conditions de création d'une œuvre cinématographique ou télévisuelle à cette problématique. La 3Ds induit une rupture dans les pratiques de mise en scène qui nécessite de réinventer une interprétation de l'espace décidé par le réalisateur. On constate aussi, en étudiant certains paramètres de tournage tels que la lumière ou le cadre que si rupture il y a entre la 2D et la 3Ds, elle se situe plus du côté de l'acceptation du cerveau du spectateur que du côté de la pratique artistique.

En 2D comme en 3Ds, le réalisateur reste donc le principal juge de l'utilisation du relief afin de servir son récit, qu'il s'agisse de film, de téléfilm ou de programme télévisé. De la même manière qu'il décide de la mise en scène en 2D, il formulera une demande particulière au stéréographe qui veillera à sa concrétisation. Le travail commun du réalisateur et du stéréographe vise donc à établir une « conduite relief » (modulation de la gamme stéréoscopique), matérialisée par un graphique ou des annotations sur le script ou sur un story-board, qui servira de guide à l'équipe de tournage. Un relief trop fort risque d'amener un inconfort visuel sur la durée ; de même qu'un relief trop faible risque de frustrer le spectateur. C'est principalement à l'intérieur de ces limites, que le réalisateur pourra choisir ses intentions de profondeur.

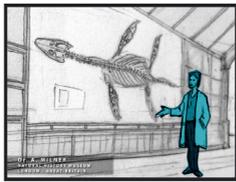
Le stéréographe traduira ces intentions avec les outils dont il dispose et dont il supervisera la maîtrise physique. De ce fait, il est responsable des réglages de l'angulation et de l'entraxe, et par conséquent du placement du plan de convergence (voir annexe 2).

Notons que la taille de l'écran de contrôle 3Ds sur le tournage ne correspond pas forcément à celle de l'écran de diffusion final. Le stéréographe devra clairement informer l'équipe de production des différences de sensation de profondeur suivant la dimension de l'écran de des-

LA SCÉNARISATION D'UNE SCÈNE EN RELIEF

Dès l'écriture, on peut prendre en compte le relief et l'utiliser comme un outil narratif. Il est possible d'imaginer des scènes dont l'intensité dramatique sera amplifiée si l'on joue avec la profondeur, le jaillissement ou les effets de gigantisme et de miniaturisation. Les scénaristes peuvent réfléchir aux effets relief à l'avance, parfois en intégrant directement leurs idées dans le scénario.

Celles-ci peuvent être indiquées en majuscules - dans le monde anglo-saxon, elles sont parfois précédées de la mention « 3DFX ». Néanmoins, la logique du processus de création d'un film invite à confier au réalisateur et/ou au stéréographe le contrôle des effets stéréoscopiques.



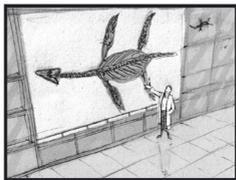
- 1 -

The remains of marine reptiles were known to fossil collectors for a long time before the first dinosaurs were discovered. (7"/7")



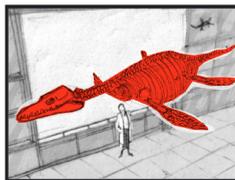
- 2 -

In the early XIXth century, Mary Anning was a child when she started to collect fossils around her home, along the Dorset coast in southern England. (->9"/16")



- 3 -

During her lifetime, with an amazingly sharp eye, she found some of the most famous fossil ichthyosaurs and plesiosaurs exhibited at the Natural History Museum. (->8"/26")

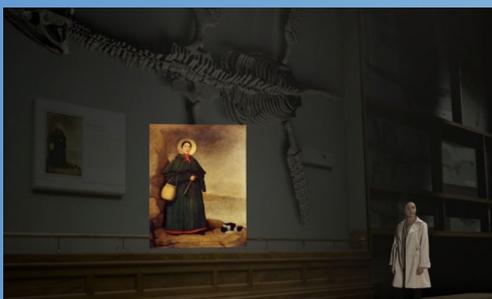


- 4 -

One of the most complete plesiosaur skeletons ever found was *Rhomaleosaurus*. This early Jurassic predator seems to be a part-way stage between the large headed

Pour exemple, dans *OcéanoSaures* (Sea Rex), film IMAX 3D écrit et réalisé par les français Pascal Vuong et Ronan Chapalain, les intentions de mise en scène stéréoscopique apparaissent dès le story-board. A noter que dans le cas de ce film, Pascal Vuong a réalisé lui-même le story-board et Ronan Chapalain a supervisé la stéréographie, permettant ainsi très tôt de concevoir chaque plan dans toute sa profondeur et non plus comme une image 2D.

Sur cet extrait de story-board, des indications colorées ajoutées au dessin initial permettent de repérer rapidement les éléments en jaillissement ou le positionnement du personnage par rapport au plan de l'écran. Ces indications de mise en scène stéréoscopique, ajoutées au choix de cadrage et de découpage permettent au réalisateur et à l'équipe du film de mieux préparer le tournage et la postproduction des images et d'éviter les écueils d'une stéréographie envisagée trop tardivement.



tionation de l'oeuvre, et justifier de son réglage non pas « visuel » mais « prévisionnel ».

De plus en plus de paramètres de la « profondeur » peuvent désormais être modifiés en postproduction. De ce fait, tout comme l'éta-lonnage couleur donne le ton des scènes d'un film, « l'éta-lonnage 3Ds » devient une étape importante après le montage. Il permet de donner une tonalité générale de perception du relief et de raccorder la 3Ds entre les plans en fonction de l'intention finale du réalisateur.

Penser la 3Ds en amont du tournage

Si l'on souhaite obtenir un effet de relief de qualité, il peut être utile de vérifier au préalable la pertinence du choix de la 3Ds sur telle ou telle oeuvre ou programme de télévision dès l'écriture du synopsis ou du scénario. Ainsi, un récit se déroulant dans l'univers aéronautique, aérien ou aquatique se prête totalement au relief de jaillissement, car les objets peuvent être de manière illusoire « décollés » de tout support, comme en lévitation dans un fluide ou le vide.

D'autre part, des plans plus longs et/ou des mouvements plutôt lents et fluides des objets et des caméras favorisent aussi la perception d'un relief plus confortable. Ils laissent le temps au public de le découvrir et de rentrer dans la profondeur de l'image. De même, des plans larges avec des cadrages en plongée ou en contre-plongée favorisent l'effet de relief et intensifient les sensations de vertiges. Les formes géométriques, de bâtiments par exemple, sont plus rapidement identifiées par notre cerveau et favorisent la rapidité d'immersion dans le relief.

Concernant les programmes de flux, aujourd'hui parmi les premières expérimentations de re-transmissions sportives en 3Ds, le football fait figure de favori du fait de son audience très importante et de son public potentiellement intéressé par le fait de visionner les matchs en relief. Pour autant, la mise en scène actuelle de ce sport à la télévision, axée sur des travellings latéraux et une profondeur de champ souvent difficile à maîtriser, n'est pas forcément la mieux adaptée à une retransmission en relief, à moins de repenser complètement les axes caméra et les travellings par rapport

à une retransmission 2D. A l'inverse, certains sports en salle comme le basket-ball où l'on peut être plus proche de l'action, offrent un relief qui renforce l'émotion du spectateur.

La préproduction

La préparation est essentielle pour la réussite d'un tournage en 3Ds. Des repérages particulièrement minutieux (relevé des distances, vérification des lointains, prise en compte de l'encombrement du rig 3Ds) permettront de prévenir beaucoup de problèmes à l'avance. La réalisation d'un story board 3Ds est conseillée.

Sans assistance logicielle, ce storyboard pourra présenter, pour chaque plan au moins deux vues pour les cas les plus complexes :

- Le plan lui-même, comme dans un film classique. Idéalement, le storyboarder devra réaliser un story board optiquement correct.
- Une vue « de côté » matérialisant l'emplacement du plan de l'écran, afin de bien distinguer les objets qui devront être en avant du plan de l'écran (= en jaillissement) et ce qui devra être en arrière de celui-ci (= en profondeur).
- Dans les cas les plus complexes, une vue de dessus, avec l'emplacement du plan de l'écran, pourra également être utile.

Au-delà de ces règles générales, il peut être opportun d'utiliser un logiciel de prévisualisation qui simule ce que sera le plan pour définir ses axes et mouvements de caméra en 3Ds. Un tel logiciel permet de reconstituer précisément, en images de synthèse, chaque lieu de tournage et la position caméra (quelle que soit le type du rig). Il permet de calculer et prévisualiser le cadre, l'entraxe et l'angulation appliqués lors du tournage ou en postproduction. Tous les paramètres tels que la focale, le diaphragme, la profondeur de champ, les mouvements, etc peuvent être également prédéterminés.

L'importance du repérage des volumes

Lors des repérages ou en préparation d'un film en 3Ds, il est nécessaire que le réalisateur et le directeur de la photographie repèrent les cadres en tenant compte de l'évolution et de la répartition des volumes dans la profondeur. Ils peuvent s'appuyer sur le stéréographe qui les

aidera dans la recherche d'une homogénéité des choix d'axes et de focales relativement à la 3Ds. Cette étape doit permettre de déterminer la position du sujet au sein de la « boîte scénique » contenant les volumes de la scène en trois dimensions. Ce repérage est capital.

A ce stade, il est utile de faire remarquer qu'en règle générale, le relief s'apprécie mieux lorsqu'on est en mouvement, près du sujet et plutôt en courtes focales. Toutefois, il est difficile de réaliser tout un film sans plan serré. Pour les plans recourant aux moyennes et longues focales, le repérage du positionnement des masses du décor devient encore plus décisif pour déterminer la place des comédiens et le point de vue de la caméra dans la profondeur et en bordure de cadre. La sensation de relief obtenue, in fine, même si elle paraît réaliste ou admissible pour un plan, peut ne plus l'être lors du montage de plusieurs plans dans leur continuité. Par exemple, lors d'un tournage en 2D, il est courant de « tricher » la position des comédiens (pour faciliter une prise de vue ou une perspective). Cette pratique doit susciter la plus grande vigilance en 3Ds.

Le cadre

La précision du cadre cinématographique est l'un des paramètres essentiels de la prise de vues 2D. Or, dans la stéréoscopie, où nous sommes plus proches des bas et/ou hauts reliefs, le cadre présente une légère indécision en rapport avec les deux champs filmés qui ne se recouvrent exactement que dans le plan de convergence ou plan de l'écran. Par ailleurs, la notion d'immersion du spectateur est souvent mise en exergue, avant même la notion de cadrage pour

certains spectacles stéréoscopiques, en IMAX[®] par exemple. Mais, pour la plupart des productions cinématographiques, le cadre reste l'un des paramètres fondamentaux. C'est ce qui se passe à l'intérieur du champ ou hors-champ qui justifie le mouvement de caméra selon le choix du réalisateur. Dans les programmes de flux, le cadre est beaucoup plus déterminé par le suivi de l'action qui, pour le sport par exemple, est généralement centrée.

Une caméra en mouvement

Les plans en mouvement renforcent la perception de la succession des volumes dans la scène. Cette mise en valeur des volumes s'obtient bien sûr par le mouvement entre les comédiens et les objets dans le cadre. Elle est également accentuée par le déplacement du point de vue de la caméra qui renforce la présence des comédiens. Peut-être un nouvel espace entre cinéma et théâtre ?



Capture d'écran d'un logiciel de prévisualisation 3Ds

La lumière en 3Ds

Si dans la cinématographie en 2D, la lumière et son contraste ne sont limités que par la normalisation de la projection et dans ce cadre, la puissance du projecteur, il en va tout autrement de la stéréoscopie. Les forts contrastes, plus particulièrement en bordure du champ, à travers des feuillages en contre-jour ou entre les différentes composantes du sujet peuvent entraîner une véritable gêne cérébrale pour le spectateur.

L'abaissement du contraste est souvent conseillé sans que nous ne sachions encore le quantifier précisément aujourd'hui.

De ce fait, les prises de vues pour lesquelles les niveaux d'éclaircissement et de contraste ne sont pas maîtrisables, demandent des capteurs cou-

vrant une grande dynamique, afin d'obtenir des images capables de conserver du modelé dans les hautes et basses lumières. Cela permet également un meilleur ajustement du contraste lors de l'étalonnage des films stéréoscopiques ou des programmes TV.

De même, il est conseillé de faire attention à l'écrêtage des hautes lumières, car celles-ci peuvent produire une disparité de forme entre les deux images stéréoscopiques, comme lors d'un arrière-plan flou sur des feuillages éclairés en contre jour.

Se servir des indices visuels de profondeur pour la mise en scène 3Ds

Construire un plan en relief ne signifie pas seulement savoir régler la stéréoscopie, c'est aussi se servir des indices qui vont faciliter la compréhension de la profondeur de l'image.

Il faut donc savoir utiliser les indices stéréoscopiques mais aussi les indices non-stéréoscopiques.

La peinture et la photographie nous rappellent qu'en 2D, de nombreux facteurs permettent au cerveau d'analyser et de comprendre la profondeur d'une image. On conserve d'ailleurs cette faculté lorsqu'on

ferme un oeil. L'utilisation de ces indices non-stéréoscopiques va faciliter la compréhension de l'espace et participer à la sensation de relief. Parmi ces facteurs, on peut citer :

- Un objet proche masque un objet lointain. Cet effet qui peut être obtenu par le mouvement des comédiens ou des objets dans la profondeur est renforcé par le mouvement du point de vue caméra. Les travellings, mouvements de grue ou

de steadicam ou déplacements d'une caméra à l'épaule soulignent la position relative des objets les uns par rapport aux autres.

- La taille des objets décroît avec la distance. On peut utiliser cela pour « tricher » certains plans, sous condition de garder une vraisemblance des effets de réduction si on veut conserver une image réaliste.

- La gradation des textures : briques, herbes, pavés, etc., deviennent moins définis avec la distance.

- La « dispersion atmosphérique » (effet de brume) : elle est due à la pollution du milieu traversé en fonction de son épaisseur. Elle joue pour

les infinis comme pour une pièce enfumée.

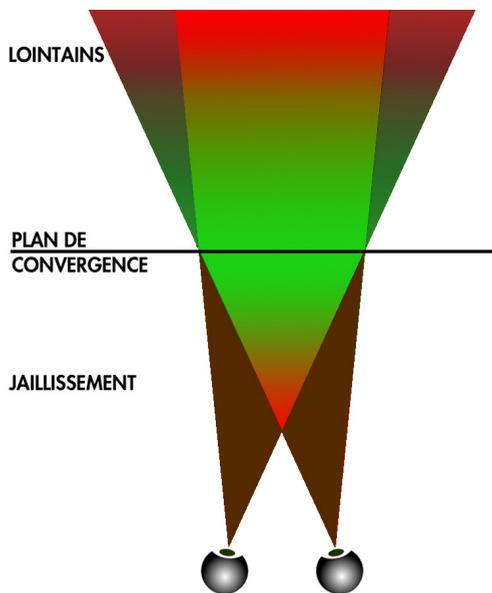
- L'effet de perspective est un indice très important : notre regard recherche de manière permanente les lignes de fuite d'une scène pour comprendre sa perspective en utilisant les routes, les voies ferrées, les immeubles.

- Le relief est avant tout comparatif. Le cerveau est plus performant pour comparer par exemple les couleurs que les analyser. Il en va de même pour la stéréoscopie. Une répartition des volumes dans la profondeur favorisera l'impression de relief. Il aura plus de peine s'il n'y a qu'un élément au premier plan détaché d'un autre élément placé

à l'infini sans volume intermédiaire. Par exemple : une abeille en jaillissement sur un fond de montagnes lointaines à l'infini ne favorisera pas l'impression de relief.

- Par ailleurs, on préfère parfois placer les titres en jaillissement sur fond texturé plutôt que sur un fond noir.

- Les textures et les ombres sont des objets stéréoscopiques, des « indices » supplémentaires



Visualisation de la zone de confort visuel qui fait référence en matière de 3Ds

LA GESTION DE L'EFFET DE JAILLISSEMENT

Le jaillissement est l'un des effets propres au relief. Il donne la sensation que les objets sortent de l'écran en direction du spectateur.

Toutefois, il y a des règles à respecter pour que cet effet ne produise pas d'inconfort visuel. Les éléments ou parties d'éléments jaillissants doivent être contenus dans le champ des caméras. La vitesse d'apparition du jaillissement doit être ni trop lente, ni trop rapide. Il faut laisser un temps suffisant au spectateur pour que son cerveau s'habitue à cette apparition. Celle-ci peut être rapide si l'intensité de l'effet est faible

et lente si l'intensité est forte, pour préserver le confort visuel. Un même jaillissement peut être d'une intensité variable et réalisé en deux temps : faible puis fort, afin de renforcer l'effet final. La durée totale du jaillissement ne peut être trop longue, afin de préserver le confort visuel. Toujours pour des raisons de confort visuel et de souci d'équilibre narratif, la fréquence des jaillissements au long d'un film ou d'un programme TV doit être un savant dosage suivant la durée du film entre la répétition des jaillissements et leurs différences d'intensités. Enfin, on constate de manière

empirique qu'il y a un phénomène d'apprentissage du spectateur dans sa capacité à « lire » avec confort les effets jaillissement : au début d'un film il faut environ 3 secondes pour que le cerveau se plie au décalage entre convergence et accommodation qu'on lui impose, tandis qu'au bout de dix minutes d'un film en 3D stéréoscopique, ce temps d'accommodation est réduit à 1/2 sec. Il est donc fortement déconseillé d'abuser des effets de jaillissements brutaux en début de film, car ils pourraient devenir douloureux et mal interprétés par le cerveau des spectateurs.

pour comprendre la profondeur. C'est pourquoi certains chefs opérateurs préfèrent utiliser des lumières plus directionnelles qu'en 2D, pour marquer les ombres. Les régions non détaillées de l'image : un ciel complètement blanc, un intérieur avec des zones totalement noires, sont moins favorables à la compréhension au relief qu'un ciel nuageux ou un intérieur dans lequel la pénombre laisse voir la subtilité des détails.

- Il faut également veiller à la cohérence des profondeurs, et éviter les « collisions » d'un tirage placé sur le plan de l'écran avec un objet en jaillissement. L'« erreur de fenêtre » caractérise, elle, la collision entre un bord d'écran et un objet en jaillissement.

Il est important d'utiliser l'ensemble de ces indices pour enrichir les paramètres de mise en scène stéréoscopique.

La gamme stéréoscopique et la modulation des gammes stéréoscopiques

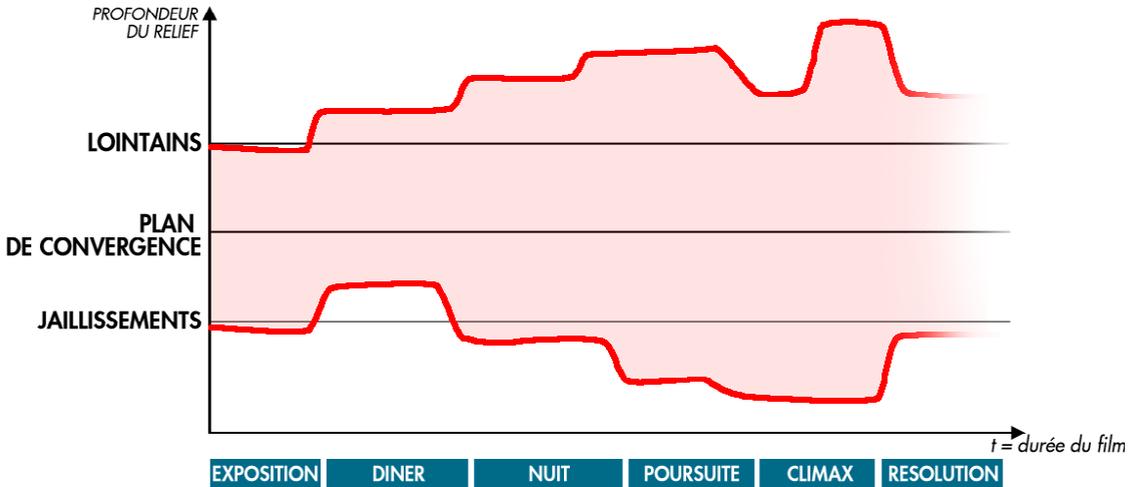
La gamme stéréoscopique est une mesure de la quantité de relief d'une image. Il s'agit de la différence entre le décalage de l'objet le plus loin et le décalage de l'objet le plus proche dans un plan.

La gamme stéréoscopique est amenée à varier à l'intérieur d'un plan, entre deux plans et sur la durée d'un film. Dans l'ensemble de ces cas, on peut parler de « modulation des gammes stéréoscopiques ».

La gamme stéréoscopique est une donnée mathématique mesurable pour chaque image en pourcentage de sa largeur ou en pixels.

Le terme « budget stéréo », traduction de l'anglais « depth budget » est parfois utilisé pour désigner, soit la gamme stéréo, soit la modulation des gammes stéréos, ce qui peut prêter à confusion.

Cette mesure mathématique (la gamme stéréoscopique) donne une impression de relief variable selon taille de l'écran : une même gamme stéréo peut donner une impression de relief faible sur un petit écran, plus importante sur un écran de cinéma et très puissante sur



Exemple de modulation de la gamme stéréoscopique sur la durée d'un film

un géant de type IMAX®. L'acceptation par le spectateur d'une gamme stéréo choisie pour un écran donné est, de plus, variable selon les individus.

Des études scientifiques sont toutefois en cours en France (3D Acceptance & Comfort) et aux Etats-Unis (BanksLab, Université de Berkeley) pour éclaircir les rapports entre gamme stéréoscopique et confort visuel.

Sans repères fiables à 100 % dans ce domaine, nous préconisons de tester au cas par cas, lors de la réalisation d'un teaser ou d'un test, les plans litigieux qui vont s'écarter des limites « acceptables » de la stéréoscopie.

Généralement, l'usage veut que l'on modère le dépassement de ces limites au profit de la mise en scène.

A noter qu'il existe déjà des recommandations techniques définissant les limites acceptables des gammes stéréoscopiques pour la diffusion 3Ds en télévision (ex: BSkyB 3D). L'établissement de recommandations techniques est en cours d'étude en France.

Assurer la continuité de la modulation de gamme stéréoscopique tout au long d'un film

Il est indispensable de penser un film ou un programme TV en 3Ds dans sa continuité.

Pour le cinéma en 3Ds, comme en 2D, on modifie souvent l'ordre des séquences et des plans aux différentes étapes de la fabrication d'un film et en particulier au montage.

La modulation de la gamme stéréoscopique risque d'être modifiée par l'inversion des plans lors du montage. Par exemple, un gros plan très en jaillissement raccordera mal avec un plan large de paysage très en profondeur : cette alternance fatigue le spectateur. Donc, il faut prendre garde dans l'agencement des plans à assurer des transitions de profondeur en douceur pour le public.

▣ RIGS ET CAMÉRAS STÉRÉOSCOPIQUES

On appelle rig, les supports réglables sur lesquels peuvent être agencées et réglées les caméras. Il en existe de deux types, selon que l'on place les caméras « côte à côte » ou en coïncidences dans un « miroir ». On les appelle donc naturellement rig « côte à côte » et rig « miroir ». C'est la nécessité d'obtenir ou non des entraxes faibles ou importants qui détermine le choix d'un rig. Si l'on veut de grands entraxes, généralement pour une prise de vue sur hélicoptère ou pour des plans lointains on utilise un rig « côte à côte ».

La sophistication des rigs côte à côte ou miroir n'est pas liée au dispositif mais à la définition faite par le fabricant. Chez certains constructeurs, les rigs sont versatiles et sont simplement assemblés différemment pour être installés en côte à côte ou en miroir.

Le rig côte-à-côte (side-by-side)

Les deux caméras identiques sont placées l'une à côté de l'autre sur des rigs mécaniques ou électroniques plus ou moins rudimentaires.

L'avantage de ce dispositif est d'être souvent plus rigide et d'éviter les aberrations liées au miroir.

Son inconvénient est qu'il favorise les grands entraxes d'où résulte l'effet « maquette » lié à la miniaturisation apparente des objets filmés. On ne sait pas éviter cet effet aujourd'hui, mais, obtenu dès lors que l'on dépasse l'entraxe visuel humain, il peut être subi ou recherché selon la volonté de mise en scène du réalisateur.

Dans tous les cas, il n'y a pas d'autre solution quand on filme de loin, avec des objets premier plan situés à grande distance de la caméra, et que

l'on veut obtenir du relief. C'est par exemple le cas pour les prises de vues depuis un hélicoptère.

Le rig à miroir semi-transparent

Les caméras sont placées verticalement à 90° l'une de l'autre et se trouvent en coïncidence optique dans un miroir semi aluminé. Ce miroir, appelé également « lame séparatrice », permet pour l'une des caméras de filmer au travers et pour l'autre de filmer en réflexion sur le côté réfléchissant.

Pour cette application, la transmission et la réflexion des miroirs sont égales à 50 % afin que la perte de un diaphragme qui est induite pour chacune des caméras soit identique ou proche. Le miroir permet donc de filmer avec un entraxe égal à zéro et de s'affranchir ainsi des problèmes liés à l'encombrement des caméras et des optiques.

On peut donc réduire l'entraxe jusqu'à 0 mm, ce qui permet d'aligner parfaitement les caméras. Le rig miroir permet principalement d'obtenir de petits entraxes indispensables pour filmer près du sujet, ce qui est le cas de la grande majorité des plans d'une fiction.

On utilise les rigs miroir sur steadicam, crosse d'épaule et la plupart des machineries classiques. Les rigs miroirs présentent deux types de conception ou d'agencement quand il peuvent être retournés autour de l'axe optique :

- la première, dite zénithale, favorise la protection du miroir. La caméra verticale est placée en dessous de l'axe optique et dirigée vers le haut. Ce dispositif permet une protection plus simple des lumières parasitant le miroir.

- La seconde dite « position grue » présente l'avantage, ayant sa caméra verticale placée au dessus du miroir, de pouvoir rapprocher l'axe optique très près du sol et par conséquent d'effectuer des contre-plongées verticales importantes.

DR



Deux types de rigs côte-à-côte



DR

Deux exemples de caméras 3D intégrées

La caméra 3Ds intégrée

Apparaissent aussi sur le marché des caméscopes professionnels qui enregistrent deux vues d'une même scène à travers deux axes optiques intégrés dans le même corps caméra. Ce type de technologie tout intégrée a le mérite de limiter les problèmes de disparité entre les deux points de vues stéréoscopiques que l'on souhaite fusionner, notamment les problèmes d'alignement, de différences de mise au point et de zoom... Toutefois, la caméra 3Ds intégrée a l'inconvénient de ne proposer généralement qu'un seul réglage de l'écart interaxial et un réglage de vergence limité. Des restrictions qui engendrent des contraintes fortes quand il s'agit de filmer une scène en relief de près et plus généralement qui ne permettent pas la maîtrise de la mise en scène de la stéréoscopie grâce aux réglages des deux paramètres que sont l'entraxe et la vergence.



Exemple de rig semi-transparent installé sur un steadicam

Le progrès des rigs 3Ds et le contrôle des disparités

Depuis la fin des années 90, les Industries Techniques de la Création ont vu l'essor de rigs motion control capables d'être opérés

électroniquement avec précision via un ordinateur. Plus récemment, des instruments d'analyse des images 3Ds émergent avec notamment la possibilité de réaliser un traçage temps réel précis des problèmes de disparité au sein d'un couple d'images stéréoscopiques et de les corriger en temps réel.

Tous ces facteurs font qu'aujourd'hui, on voit apparaître chez plusieurs équipementiers des solutions à la fois matérielles et logicielles de traitement en temps réel de la prise de vues 3Ds qui permettent d'automatiser une partie des corrections telles que les disparités verticales, la détection des problèmes de rotation et de déformation trapézoïdale. Certains logiciels permettent également d'automatiser l'ajustement de l'écart interoculaire et de convergence...

Des solutions de ce type conçues en France ou à l'étranger, permettant de corriger ces problèmes ou de maîtriser ces paramètres en temps réel, sont d'ores et déjà utilisées sur les lieux de tournage, notamment dans la production sportive en direct. Les correcteurs de relief sont également intégrés dans des outils de visualisation utilisés en fiction ou en captation afin de juger des effets obtenus sans fatigue cérébrale pour l'équipe.

MÉTHODES POUR ALIGNER, SYNCHRONISER LES CAMÉRAS 3Ds

Pour réaliser une prise de vues stéréoscopique parfaite à l'aide d'un rig ou d'une caméra 3Ds intégrée, les deux optiques émanant des deux caméras doivent, bien évidemment, être identiques en tout point. L'alignement parfait, au pixel près, des caméras, est crucial pour le confort visuel du spectateur final. La moindre disparité verticale doit être éliminée, car elle force un œil à regarder en haut, et l'autre en bas. . .

De nombreux autres facteurs peuvent provoquer des disparités verticales gênantes :

- Problème de hauteur entre les caméras
- Problème de panoramique vertical entre les caméras
- Problème de rotation entre les caméras
- Différence (même infime) entre les focales des caméras, qui est une des raisons expliquant la difficulté pour zoomer en relief
- Aberrations optiques différentes entre les optiques

Une solution consiste à minimiser ces problèmes de disparité au tournage (même si c'est quasiment impossible dans la pratique), en mettant les caméras à 0 cm d'entraxe et en utilisant des mires et le moniteur 3Ds pour régler finement l'alignement.

De même, on veillera à ce que la colorimétrie et la luminosité des caméras soient identiques. Le vectorscope du moniteur 3Ds permet de contrôler cela avec précision.

Enfin, la synchronisation des caméras est nécessaire, au timecode (pour le monteur), mais surtout au balayage près, sous peine de fatigue visuelle chez le spectateur due au décalage temporel entre les balayages des CCDs. Pour le timecode, il faut connecter les caméras, et mettre une caméra en TC « master » et l'autre en « slave ».

Pour les balayages, mettre une caméra en Genlock master et l'autre en Genlock slave n'est pas assez précis, sauf exception comme avec certaines paluches ou des caméras conçues à cet effet. On préfère donc avoir recours à un boîtier de synchronisation externe en Tri-level Sync, connecté sur les entrées Genlock des caméras.

Les caméras dépourvues d'entrée Genlock, comme les appareils photo numérique sont problématiques. Certains moniteurs 3Ds permettent toutefois de visualiser les balayages et de tenter une synchronisation « à la main » ou « à la volée » en déclenchant les caméras simultanément. Mais, ceci ne présente pas les garanties indispensables à un projet de long métrage ou de direct à la télévision.

POSTPRODUCTION 3Ds : CORRECTIONS ET WORKFLOW

Réaliser une postproduction en 3Ds n'est pas très différent d'une postproduction traditionnelle, si ce n'est qu'elle nécessite de gérer des volumes de fichiers deux fois plus importants. Il est également nécessaire d'assurer une continuité de la profondeur des scènes 3Ds, à la fois en soignant l'enchaînement de leur gamme stéréoscopique et en corrigeant les disparités entre les deux images gauche et droite.

Le visionnage des rushes 3Ds au cœur du process

La postproduction des images relief oblige à revenir à des méthodes de travail plus rigoureuses qu'auparavant et à une définition plus précise des tâches de chacun, de la préparation du tournage à la postproduction. Ces précautions, prises en amont des différentes opérations, permettent de limiter l'alternance de séquences relief incohérentes entre elles.

Toutefois, même si un stéréographe a parfaitement réglé les rigs et pris garde de limiter les « mauvais » raccords de plan, le monteur devra vraisemblablement, comme c'est le cas en 2D, changer l'ordre du montage prévu à l'origine. De ce fait, il sera nécessaire de vérifier à nouveau les raccords de plan lors de chaque visionnage des rushes ou du montage 3Ds.

Par ailleurs, suivant la méthode de postproduction envisagée et le budget de production, il pourra être utile de consacrer du temps aux corrections de disparités involontaires entre les images. Il s'agira de corriger ces disparités géométriques et colorimétriques involontaires, même indiscernables, résultants inévitablement des dispositifs de prise de vue, entre les images gauche et droite de sorte que chacun des pixels correspondant soit situé à la même altitude. Attention, ces corrections faites obligatoirement en direct pour une captation deviennent une opération de post-production pour la fiction.

Cette opération pourra se faire sur les rushes avant montage mais elle se fait généralement après montage aujourd'hui, pendant ou juste avant l'étape de l'étalonnage du relief du film. Elle sera l'œuvre d'un technicien stéréographe connaissant les outils de correction sous

la direction du stéréographe du film ayant déjà oeuvré au moment du tournage.

Les raccords de plans lors du montage d'images 3Ds

Le rythme des plans montés en stéréoscopie est logiquement plus lent que celui d'un montage à partir d'images 2D car il faut environ une seconde au cerveau pour apprécier, au moment du changement de plan, le nouvel univers à explorer. Un apprentissage du spectateur pourrait toutefois réduire le temps d'accommodation nécessaire à chaque changement de plan. Mais, à ce jour ce n'est qu'une supposition.

Afin de limiter la gêne cérébrale et raccourcir le temps d'adaptation entre chaque plan, il est également possible d'utiliser le principe de « fondu au relief » qui permet d'adoucir le passage d'un plan à l'autre pour des reliefs manifestement trop différents.

Du fait de ces contraintes, il serait dans l'absolu plus pratique que le montage stéréoscopique se fasse « on-line » directement à partir des images stéréoscopiques déjà corrigées. Toutefois, pour des raisons de fatigue visuel sur la durée mais également d'économie et/ou de non-disponibilité des outils de montage 3Ds on-line, ce n'est que rarement le cas.

Par conséquent, lors des montages « off-line » de films ou programmes 3Ds, il est impératif de visualiser les montages 3Ds et de les valider régulièrement sur un écran stéréoscopique d'une taille proche de celle qui sera utilisée lors de la diffusion finale. Ainsi, il sera possible d'identifier d'emblée les gênes visuelles qui résultent des disparités stéréoscopiques non corrigées ou de valeurs de relief différentes entre les plans.

Si possible, il est même souhaitable que les raccords de plans soient étudiés lors de la préparation du tournage, afin d'harmoniser les espaces relief en amont et aval de la transition en réduisant au maximum les différences d'écartement et de convergence des caméras. Néanmoins, des ajustements seront souvent à prévoir en postproduction par translation horizontale des images gauche et droite.

Le changement de localisation dans l'espace du point d'accroche du regard, d'un plan à l'autre, peut également entraîner un inconfort visuel. D'où la nécessité d'une écriture adaptée et d'un

« étalonnage relief » spécifique, en harmonisant la gamme stéréoscopique de la fin du plan précédent et du début du plan suivant.

Type de relief en fonction des entrées de champ

Le spectateur ressent un inconfort visuel si l'un de ses yeux voit trop longtemps une partie d'élément que l'autre œil ne perçoit pas encore dans l'entrée de champ latérale. Un savant dosage entre intensité du relief et vitesse d'entrée de champ sera donc à déterminer. Cela ne pose en revanche pas de problème quand cette entrée de champ se fait soit au niveau du plan de convergence (plan de l'écran) soit verticalement (par le haut ou le bas de l'écran), car dans ces cas les deux yeux voient apparaître le même élément au même instant.

Vitesse, accélération et trajectoire des caméras

Les mouvements doivent être de préférence fluides, lents, avec de faibles accélérations ou décélération et des trajectoires en courbes larges. Si le scénario impose des effets rapides éloignés de telles préconisations, on optera pour un relief plus faible : à l'extrême, les axes optiques des caméras gauche et droite pourront peu à peu être confondus de manière à filmer en quasi monoscopie, préservant ainsi le confort visuel.

Chasse aux contrastes trop forts

Les systèmes de diffusion 3Ds (filtres et lunettes polarisants, lunettes à cristaux liquides...) n'ayant pas un pouvoir séparateur absolu, chaque œil perçoit plus ou moins le fantôme de l'image destiné à l'autre œil. Il faut donc limiter le contraste trop fort entre les éléments en avant et en arrière plan, en fonction de l'intensité des effets relief et des disparités horizontales créées.

Réglage de la lumière pour un jaillissement

Pour renforcer la sensation d'immersion, il faut remplir le champ visuel du spectateur. Le mieux est d'estomper progressivement les zones de l'objet jaillissant qui coupent les bords du cadre. Pour cela, une méthode consiste à diminuer la lumière d'une scène progressivement vers les bords de l'écran. Le volume de la scène filmée semble alors être entièrement centré sur le

spectateur.

Le matte-painting en 3Ds

Le matte-painting est une technique qui peut toujours être utilisée en 3Ds pour des décors au loin, en arrière-plan vers l'infini, là où le paramétrage relief est au plus près de la vision humaine, sans perception véritable du relief. Il est toutefois indispensable dans ce cas de figure de créer un matte-painting s'intégrant très précisément dans l'espace en trois dimensions « composité ».

Le discernement par le spectateur d'éléments 3D stéréoscopiques composites est en effet bien plus fin qu'au cœur d'une image 2D. Une composition imprécise de l'image en relief sera tout de suite repérée comme une incohérence par le spectateur, et ceci d'autant plus que la taille de l'écran de diffusion sera importante.

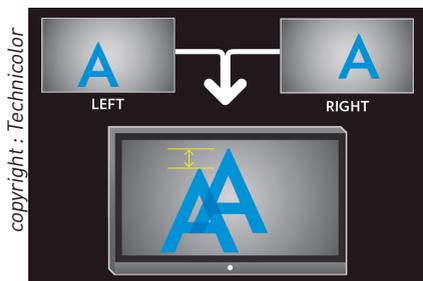
Le compositing en 3Ds

Afin de composer précisément les différents éléments de la scène finale, il va falloir se doter d'outils permettant en temps réel de visualiser et de modifier les paramètres de chaque élément. Et, si possible sur une taille d'écran la plus proche de la taille définitive de diffusion, afin de tenir compte du facteur de grandissement.

Le truquiste doit donc être formé au relief et savoir mesurer et placer précisément les différents éléments d'une image composite dans une scène en 3D stéréoscopique. Le placement de ces éléments devra être nécessairement très précis. L'objectif de l'effet visuel est de modifier la perception de l'espace relief de chaque élément à intégrer par :

- La translation horizontale des images gauche et droite, modifiant le point de convergence et donc la localisation en profondeur de chaque objet dans la scène. (« horizontal shifts »).
- Le redimensionnement de la taille des images après suppression des parties non communes aux vues gauche et droite (« crop » and « resize »).
- La correction des disparités verticales, notamment les effets de trapèze (« keystones ») dus à la convergence des deux caméras.

Régler la convergence en postproduction



copyright : Technicolor

Exemple de correction de disparités géométriques

Il est important de noter que les convergences 3Ds peuvent être réglées en postproduction et ceci tout particulièrement pour les séquences truquées contenant des effets visuels. Dans ce cas, le tournage s'effectue souvent en mode « parallèle » et c'est en postproduction qu'est réalisée la convergence, ce qui est beaucoup plus simple. Notons qu'une faible partie latérale des images sera perdue, alors que la vergence sur le plateau amènera plutôt une légère perte en haut et bas de l'image lors de l'élimination des effets de trapèze.

L'adaptation de convergence et le montage : le raccord relief entre 2 plans

En 3Ds, la convergence entre deux plans successifs doit être ajustée. Généralement, on rapprochera en postproduction les plans de convergence au moment de la coupe, s'ils sont trop différents. Sinon, le spectateur risque de ressentir un inconfort visuel.

La durée de cet ajustement peut également varier. Des expériences menées durant la production de *Legend of the Guardians: The Owls of Ga'Hoole* (2010) ont permis de mettre en lumière que la transition la plus douce en 3Ds est obtenue lorsque la vergence des entrées de plans est ajustée progressivement en fonction du plan précédent. Dans ce film, la durée de l'adaptation de vergence entre les plans variait d'une séquence à l'autre de 8 à 40 images. Par ailleurs, plutôt que de faire en sorte que les caractéristiques de profondeur de chaque plan correspondent exactement au niveau du point de coupe, il a été constaté qu'il était possible sur la plupart des séquences d'éliminer seulement 50% de la

différence de profondeur entre les plans, et de laisser un léger sursaut de 3Ds à la coupe. Bien entendu, rien n'empêche d'utiliser un effet de raccord 3Ds brutal pour provoquer une sensation particulière chez le spectateur.

La gestion des fichiers 3Ds

De plus en plus de tournages en 3Ds utilisent des caméras qui enregistrent en « mode fichier ». Il devient alors très intéressant de récupérer les informations X et Y des caméras pour les intégrer aux métadonnées. En postproduction 3Ds, une des questions centrales est la gestion du stockage qui devient cruciale. Le mieux est d'opter pour une sauvegarde régulière des images au fur et à mesure de la production, car les quantités de données à traiter sont doublées.

La méthode qui consiste à réaliser le montage on-line directement en 3Ds est utilisée le plus souvent pour les programmes courts (publicité, films corporate, films documentaires...). Cette méthode suppose de disposer de stations de montage suffisamment performantes pour pouvoir traiter en temps réel des images 3Ds dans leur pleine résolution.

Un montage plus long

Le montage d'un projet 3Ds est réalisé dans certains cas à partir d'un seul point de vue, par exemple l'image gauche. Pour apprécier la cohérence du montage final, on sera amené à faire régulièrement des conformations en 3Ds, permettant au monteur de modifier la structure et le rythme du film selon les effets de relief obtenus.

Allongement de la durée d'étalonnage

Le calibrage de l'écran d'étalonnage 3Ds doit se faire en fonction des technologies de lunettes utilisées (passives ou actives). En outre, il est difficile d'envisager d'étalonner (colorimétrie et densité) avec des lunettes 3Ds de nombreuses heures consécutives, sous peine de fatigue oculaire. Généralement, on étalonne en 2D. Puis, lors du visionnage en 3Ds, on applique une correction sur l'écran de visualisation (LUT) pour compenser l'incidence de l'utilisation des lunettes sur la perception des images.

A cette étape, il sera nécessaire d'ajuster la gamme stéréoscopique du film appelée aussi « étalonnage du relief » ou de modifier l'étalon-

nage colorimétrique en fonction des contraintes de perception de la 3Ds.

▣ LA CONVERSION 2D/3Ds : LA NÉCESSITÉ D'UN SAVOIR-FAIRE

Choisir la conversion suivant les conditions de tournage
Aujourd'hui, quelques blockbusters américains qui sont diffusés dans les salles de cinéma en 3Ds sont le fruit d'une conversion d'images 2D en 3Ds à la postproduction. La raison principale est économique et tient à ce que les producteurs, face aux obstacles liés au tournage en 3Ds, préfèrent répondre à la demande du marché des salles numériques en relief via une conversion 2D/3Ds souvent plus facile à gérer quand il s'agit de films intégrant un grand nombre de plans truqués en numérique.

Il est par exemple possible pour les besoins d'une mise en relief de détourner des personnages qui ont été filmés sur fond vert, de retraiter en 3Ds un décor qui a été tracké par une caméra virtuelle... Généralement, ce décor aura été étendu en matte-painting avec des créatures en images de synthèse insérées dans la scène et, dans ce cas, le traitement en stéréoscopie au tournage peut revenir plus cher et plus lourd à gérer qu'une conversion 2D/3Ds en postproduction à partir d'un tournage 2D.

Il est aussi possible de mixer les techniques au sein d'un même film. De tels projets « composites » comportent alors des plans tournés en 3Ds et d'autres convertis de la 2D vers la 3D, lorsque ces séquences sont plus faciles à traiter en conversion 2D/3Ds plutôt qu'au tournage. C'est le cas par exemple des séquences tournées en longue focale en mode stéréoscopique qui peuvent donner un effet de « plaques » successives. Cet effet d'aplatissement lié au tournage en longue focale est particulièrement gênant si l'on tourne un portrait en plan serré. Le plus simple et le plus économique est alors de filmer la séquence en 2D et ensuite de redonner du modelé au visage grâce à une rotoscopie du personnage, de sorte que l'on donne au spectateur l'illusion qu'il voit deux points de vue différents.

Tourner en 2D en respectant les contraintes du relief

Toutefois, lorsqu'on filme en 2D en vue d'une conversion vers de la 3Ds en postproduction, il est impératif de tourner en extrapolant déjà les effets relief et en ayant en tête les contraintes propres au relief. C'est ainsi que les amorces de plan où les personnages sont la plupart du temps coupés lors d'un tournage 2D par les bords du cadre, peuvent empêcher d'utiliser des effets de jaillissement dans la scène. On peut tricher légèrement pour avoir un petit effet de jaillissement, mais avec le risque d'engendrer un début d'inconfort visuel sur une partie du public, surtout si ce choix est répété tout au long du film. D'une manière plus générale, des plans seraient superbes en jaillissement à condition de garder une certaine « aération » dans le cadre, ce qui nécessite de reculer le groupe caméra ou bien d'éloigner ou recentrer les personnages du premier plan.

Certaines transitions et certains fondus déjà en place dans un film ou un programme TV tourné en 2D vont devoir être adaptés aux contraintes des transitions entre espaces relief, sous peine de visualiser des volumes imbriqués les uns dans les autres sans cohérence spatiale.

Par conséquent, la mise en relief d'images 2D est un processus métier qui nécessite le plus grand soin si l'on ne veut pas générer un inconfort visuel, voire un rejet chez le spectateur et respecter un certain réalisme du relief. Lors d'une conversion 2D/3Ds, le relief devra être paramétré essentiellement pour assurer le confort visuel des spectateurs, avec de beaux effets de fenêtre mais avec peu de jaillissements efficaces et confortables vu la difficulté à bien les régler.

Corrections des disparités

La conversion 2D/3Ds réalisée de manière automatisée à l'aide de machines de postproduction est certes de plus en plus performante, mais il n'en demeure pas moins que des étapes manuelles et l'intervention d'un spécialiste, demeurent indispensables sans quoi on risque de proposer un confort visuel insuffisant. Nombres de disparités entre les deux points de vue image doivent être corrigées manuellement.

De même, lorsque les lointains sont flous dans l'image 2D d'origine, on devra redéfinir l'infini

dans l'image 3Ds reconstituée. Il est aussi nécessaire de recréer de la matière 3Ds sur les zones où l'effet relief est accentué...

La conversion 2D-3Ds automatique, une aberration...

La plupart des systèmes de conversion automatique actuels donnent à voir une stéréoscopie traitée uniquement dans le sens de la profondeur et de l'immersion sans jaillissement. Ces machines fonctionnent à l'aide d'algorithmes reposant entre autres sur un principe de reconnaissance des couleurs, avec une répartition organisée sur le fait que les tons chauds sont plutôt sur le devant d'une scène et les tons froids derrière dans les lointains. Le seul problème de cette règle soit disant « naturelle » est qu'elle comprend bien des exceptions, ne serait ce que dès que l'on est dans un univers éclairé artificiellement ou lorsqu'un personnage a un vêtement d'un ton froid au premier plan, alors qu'en fond, on observe des tons chauds. De ce fait, la conversion automatique génère beaucoup d'artefacts et d'ambiguïtés visuels. Ces ambiguïtés vont rapidement détourner le spectateur de ce type d'images qui donnent une vision tronquée de la réalité.

...nécessaire pour le traitement d'antenne 3Ds

Toutefois, les diffuseurs TV seront rapidement contraints à utiliser la conversion automatique de la 2D vers la 3Ds, afin de réaliser des raccords d'antenne en 3Ds suffisamment doux et acceptables pour le téléspectateur entre différents programmes, comme par exemple entre des bandes annonces et des publicités qui auront été réalisées avec des valeurs de relief différentes.

Animation en images de synthèse, matte-painting et stéréoscopie

Tous les plans d'un film ou d'un programme de télévision utilisant du matte-painting de décor en arrière-plan sont à étudier en préambule de la postproduction si l'on souhaite les convertir de la 2D vers la 3Ds. Il est notamment indispensable de déterminer quels seront les éléments de matte painting qui devront être recréés par des modèles d'image de synthèse 3D pour obtenir un deuxième point de vue caméra cohérent visuellement.

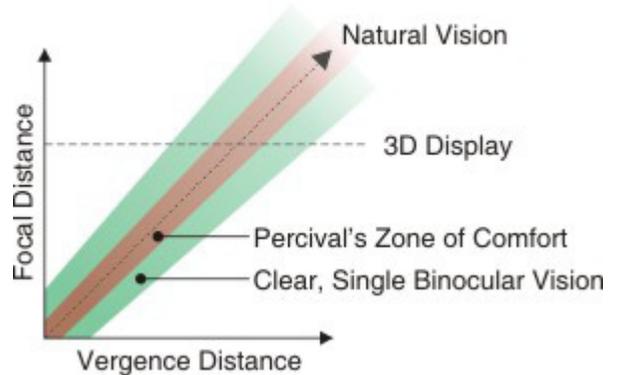
Pour des matte-painting de décors en arrière plan vers l'infini, il est en effet possible de « tricher » en créant du relief en compositing. Notre

perception humaine du relief vers l'infini est en effet quasi inexistante (à cause du faible espacement entre nos deux pupilles, comparé à la distance les séparant des objets observés). Il est donc possible de leurrer facilement le cerveau via ce type d'opération en compositing.

Pour les matte-painting et effets visuels numériques plus proches des caméras virtuelles stéréoscopiques, il faudra en revanche modéliser le décor en images de synthèse en 3D, afin d'avoir véritablement deux perspectives des objets (une pour l'œil gauche et l'autre pour l'œil droit). Sur ce type de plans précis, une sortie classique d'un film ou programme TV en 2D ne pourra plus être récupéré pour servir de base au relief. Il faut alors reprendre tous les fichiers 3D dans le compositing au niveau des matte-paintings et effets visuels numériques.

LE CONFORT VISUEL DE LA 3Ds

Lorsque ces inconforts sont faibles ils peuvent être quasiment imperceptibles mais ils produiront tout de même un gêne qui se cumulera dans le temps et produira des effets secondaires plus ou moins détectables par le spectateur (douleur ou gêne oculaire, maux de



Un ophtalmologiste britannique Archibald Stanley Percival a démontré dès 1920 dans l'ouvrage « The Prescribing of Spectacles » qu'il existait un lien direct entre la vergence, c'est-à-dire la distance mesurée par notre œil avec un objet donné et la faculté d'accommodation du cerveau qui ajuste en permanence la focalisation de nos yeux pour ajuster le regard à la bonne distance par rapport à cet objet. L'analyse de ce phénomène a permis de définir une zone de confort à mi-chemin entre la distance de vergence de nos deux yeux et la distance focale.

têtes, nausées, etc.). Un inconfort de plus forte amplitude pourra aller jusqu'à l'impossibilité de regarder le contenu, voire même entraîner un rejet de la technologie chez certains spectateurs. C'est pourquoi des études françaises et internationales sont en cours afin de fournir aux diffuseurs TV et producteurs de films et de programmes TV des éléments scientifiques pour juger la qualité du confort visuel.

La notion d'inconfort visuel face à des images 3Ds peut intervenir à n'importe quel niveau de la chaîne de perception et de reconstruction mentale de cet effet visuel permanent qu'est la 3D stéréoscopique. C'est pourquoi il est assez urgent de définir des procédures de mesures, de nouveaux outils pour effectuer ces mesures et pour corriger certains défauts, mais également d'effectuer des études psychovisuelles permettant de comprendre les règles de « grammaire » propre à une narration en 3D.

Ainsi, au niveau du tournage, il existe les erreurs liées aux imperfections mécaniques et électroniques des rigs de caméra 3Ds. Parmi l'inconfort les plus désagréable, mais aussi facilement mesurable, on peut citer l'inconfort lié à la présence d'un décalage vertical entre les deux axes optiques des caméras d'un rig. Puisque les capteurs d'une caméra sont indépendants, tout écart de géométrie, de coplanarité, de colorimétrie ou encore de vitesse et de synchronisation des « obturateurs » viendront altérer le confort du relief.

Quelques outils du marché permettent d'ailleurs déjà de corriger certains de ces défauts en temps réel. Les chaînes de production 3Ds européennes sont même équipées de matériels de correction à base d'un « feedback » mécanique automatique sur les rigs qui fonctionne sur la base d'une analyse en temps réel du contenu filmé.

Ces outils de correction destinés à la captation s'adressent principalement à des inconforts sur l'ensemble d'une image. Les inconforts les plus difficiles à détecter et à corriger sont probablement les inconforts locaux, souvent liés à des différences locales entre les deux images [exemple : effet de flare ou de reflets différents entre l'œil droit et l'œil gauche].

Le relief a ses règles de grammaire propres et les ignorer produira des inconforts certains. A mi-chemin entre la technique et la création, le suivi de ces règles impacte l'ensemble de la chaîne de création (mode de narration, mise en scène, entrée de champs des acteurs, cadrage, maquillage, costumes, montage, rythme, etc.). Par exemple, il est de mise dans la narration 2D d'utiliser des amorces, celles-ci sont souvent en bord cadre et il serait tentant de les faire sortir de l'écran en 3Ds. Cependant, des mesures psychovisuelles sur des audiences tests (source : projet 2020 3D Media) montrent que pour un effet de relief jaillissant moyen, un objet représentant quelques dizaines de pixels de large en bord cadre produit un inconfort sur les 2/3 de l'image. En d'autres termes, 2% d'erreur sur la fabrication d'une image 3D peut produire un inconfort sur 75 % de la surface de l'image.

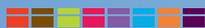
D'autre part, cet inconfort visuel a un effet de latence et produit un dommage de reconstruction mentale sur le ou les plans suivants. Comme il n'est pas concevable de brider la création 3Ds à venir, les éditeurs de contenus 3Ds ont entamé une réflexion poussée avec leurs partenaires habituels, comme la CST et la Ficam, sur la mise en place de services de contrôle qualité formés à la vérification des images TV3Ds sur la base de recommandations techniques claires adoptées par l'ensemble de la filière.

Les systèmes de projections ou d'affichage de contenus 3D ne sont pas non plus neutres en terme de génération d'inconforts visuels. Par exemple, il est particulièrement désagréable de visionner un contenu à forts effets de jaillissement sur un système à fort taux d'images fantômes résiduelles (voir chapitre la 3Ds dans les salles de cinéma).

La conversion 2D/3D répond à une forte demande de disponibilité de contenus 3D. On voit même émerger des solutions de conversion automatique intégrées sous forme de boîtiers pour les studios de postproduction et les régies de diffusion TV, mais également sous forme de composants électroniques dans certains téléviseurs. Il est toutefois nécessaire de se questionner sur la possibilité et l'intérêt de tout convertir en 3Ds. Y a-t-il un intérêt artistique et narratif à faire



Le flare : une source d'inconfort visuel



de la 3D sur certains contenus ? La grammaire d'un film existant est-elle compatible avec une remise en relief ? A partir de quel taux d'erreurs de reconstruction 3Ds est-il inacceptable pour un diffuseur ou un spectateur de diffuser une œuvre fruit d'une conversion 2D-3D ? Comment faire la distinction entre une remise en relief réelle où les images 3D finales sont proches de celles qui auraient pu être tournées en 3D et une génération de « faux » relief où seules certaines couches sont mises en profondeur sans notion de volume ? Il faut également se demander si tous les éléments captés en 2D sont vraiment transformables en relief (transparences, flous, profondeurs de champs, rythme, etc.) ?

Bien que plus aisée que la colorisation d'un film, la remise en relief nécessite une étape de contrôle de qualité (et dans certains cas de correction de défauts) et une interprétation artistique qui s'apparente un peu à l'étape de l'éta-lonnage et qui doit être effectuée avec la même rigueur technique et artistique. Puisqu'une certaine latitude dans l'ajustement du relief est

laissée lors de la phase « d'éta-lonnage relief », il est important d'utiliser cette étape comme une phase d'adaptation entre la grammaire existante du film 2D et celle de la 3D.

L'inconfort visuel sur la conversion 2D-3D est souvent lié à des erreurs de reconstruction, d'interprétation des profondeurs ou encore de qualité d'exécution. En général, les outils de conversion automatique génèrent un relief de profondeur (derrière l'écran) et procure un jaillissement très léger, voire inexistant. L'inconfort est donc potentiellement faible lorsqu'il n'y a pas (ou peu) d'erreurs d'interprétation des profondeurs dans une gamme d'effet relief réduit. Cependant, la sécurisation du confort visuel par la fabrication d'un relief faible peut décevoir le spectateur.

Les inconforts produits par des artefacts de mise en relief peuvent produire des incompréhensions partielles d'une scène filmée. Le plus flagrant est lié à la rupture franche de profondeur sur une zone continue de l'image : on voit ainsi un même élément sur deux niveaux différents de l'espace. Comme l'inconfort peut avoir des effets

▣ LA PROJECTION 3Ds AU CINÉMA

Actuellement, les technologies de projection 3Ds utilisées dans les salles de cinéma reposent sur l'envoi de deux flux d'images distincts et successifs, et un système permettant à chaque œil de ne recevoir que les informations qui lui sont destinées.

Trois solutions technologiques sont proposées pour réaliser cette séparation :

- la polarisation de la lumière,
- le filtrage spectral de la lumière,
- l'obturation active de la vision.

Elles se heurtent toutes à un vrai problème de rendement lumineux, car en moyenne, entre 75 et 85% du flux lumineux se perdent dans les systèmes (filtres, lunettes). Les puissances des brûleurs xénon étant limitées (aujourd'hui maximum 7.000W), les dimensions d'image éclairables en projection 3Ds avec un seul projecteur sont nécessairement limitées (14 à 15 m au format cinémascope). Au-delà, il est recommandé d'utiliser deux projecteurs superposés. La luminance des images est un facteur fondamental de la perception des effets stéréoscopiques.

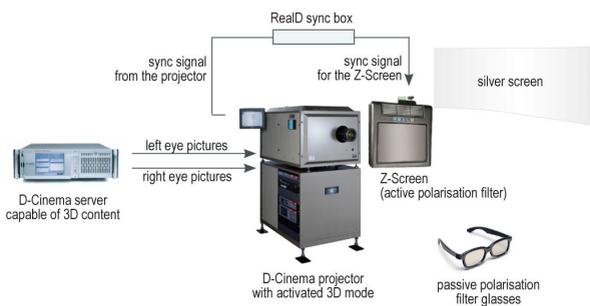
Autre difficulté : la fluidité de la projection. Afin d'améliorer ce point, et donc d'améliorer la perception du relief, chaque image est projetée 3 fois (triple flash) dans le créneau d'une image, soit au total 6 images en 1/24ème de seconde (3 images par œil).

Dernière difficulté de la projection relief : les réglages de synchronisation. Il est important, afin de ne pas fatiguer la vision, que la synchronisation de l'affichage des images avec les commutations des systèmes séparateurs par œil soit parfaite. Ces réglages sont à faire sur chaque installation.

La polarisation de la lumière

Pour mémoire, ce principe est également utilisé, depuis longtemps, en projection 35 mm.

Un système de polarisation de la lumière est placé devant l'objectif de projection. Il s'agit de polariser alternativement la lumière dans des états circulaires opposés. Toutes les images destinées à l'œil gauche sont donc projetées avec une polarisation dans un sens, et celles destinées à l'œil droit avec une polarisation inverse. Pour réaliser cela, on place devant l'objectif des systèmes de filtres à cristaux liquides



La polarisation de la lumière

(solution RealD) ou à disques rotatifs (MasterImage). Une liaison au port GP/IO du projecteur permet d'assurer la synchronisation de ces filtres avec l'affichage des images.

Il peut apparaître des problèmes au niveau du hublot de projection, la plupart des verres, pour traitement de sécurité (au feu notamment) intégrant des couches dépolarisant la lumière.

La lumière est réfléchié par la surface d'un écran de type « métallisé ». En fait, il s'agit d'un écran peint avec une peinture contenant des éléments d'aluminium. Cette peinture a la particularité de conserver la polarisation de la lumière lors de la réflexion. Ce n'est pas le cas des toiles blanc mat classique.

Par contre, ces toiles métallisées sont très directives, c'est-à-dire qu'elles réfléchissent l'essentiel de la lumière selon les axes incidences/réflexion. Il en résulte un « point chaud » dont l'emplacement est variable selon l'endroit où l'on se trouve dans la salle. On obtient donc des valeurs d'uniformité d'éclaircissement très inférieures aux normes récentes pour la projection numérique (ISO, Afnor). Acceptable en projection 3Ds, dont les caractéristiques qualitatives ne sont pas normalisées, cette particularité est très dommageable pour la qualité des projections 2D. Il est donc conseillé que les salles équipées ainsi soient dédiées à la 3Ds. Par ailleurs, cette méthode reste peu appropriée pour les salles larges et peu profondes.

Pour percevoir séparément les images, le spectateur porte des lunettes disposant d'un filtre sur chaque œil, chacun ne laissant passer la lumière qu'en fonction de sa polarité. Ce filtrage n'est pas parfait, et chaque œil perçoit

un petit peu de l'image destinée à l'autre œil, générant une image double légère appelée « ghosting ». Afin de pallier cette problématique, il est possible de disposer de fichiers DCP dits « ghostés », c'est-à-dire intégrant pour chaque œil une image inverse de l'image parasite. Les lunettes sont vendues au spectateur (coût très faible) qui peut les conserver et les réutiliser pour d'autres séances utilisant les mêmes technologies.

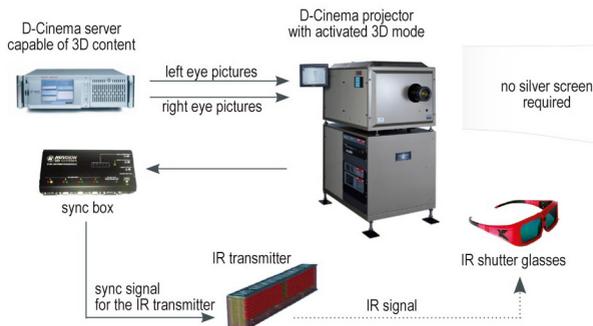
Les deux principaux fournisseurs de ce type de technologies sont RealD et MasterImage.

L'obturation active de la vision

Au niveau du projecteur, il n'y a pas de modification. On connecte simplement au port GP/IO un émetteur infra rouge, positionné en général derrière le hublot de cabine. Cet émetteur envoie un signal de synchro, réfléchi par la toile d'écran, ce qui permet de couvrir aisément l'ensemble des fauteuils. Plusieurs émetteurs peuvent être placés dans les grandes salles.

L'écran classique du cinéma peut être conservé. Moins le gain sera élevé, meilleur sera le résultat qualitatif (uniformité de luminance notamment).

Le spectateur dispose de lunettes dites actives. Ces lunettes sont équipées de cristaux liquides dont on peut modifier l'orientation. Selon l'œil et le signal de synchro envoyé par l'émetteur infra rouge, ces cristaux liquides vont alternativement obturer la vision, ou laisser passer la lumière. Chaque œil voit donc son image, et seulement son image (pas d'effet de « ghost »). Les lunettes doivent être alimentées électrique-



L'obturation active de la vision



Le filtrage couleur

ment pour activer les circuits de commandes des LCD. Ces lunettes sont relativement onéreuses, et également assez fragiles. Elles sont en général « louées » au spectateur le temps de la séance, ce qui nécessite une logistique de récupération et de nettoyage. Les principaux fournisseurs sont Xpand, Volfoni et E3S.

Le filtrage couleur

Le principe de ces technologies est d'effectuer un filtrage par bandes en peignes de longueurs d'ondes. Deux techniques sont développées, une par Dolby (sur origine brevet Infitec) et une par Panavision.

La solution Dolby insère dans le chemin de lumière, entre la lanterne et les matrices, une roue de filtrage couleur (3 bandes par œil, légèrement décalées pour chaque œil). La rotation de cette roue est synchronisée avec l'affichage alternée des images de chaque œil. Un traitement colorimétrique doit être effectué au niveau du serveur afin de renforcer la séparation chromatique des deux images. Cela nécessite de disposer d'un serveur apte à ce traitement.

La solution Panavision impose de remplacer l'objectif et d'insérer un filtre fixe derrière la lentille arrière. Ce filtre sépare les spectres lumineux pour chaque œil (5 bandes par œil).

L'écran classique du cinéma peut être conservé. Moins le gain sera élevé, meilleur sera le résultat qualitatif (uniformité de luminance notamment).

Les spectateurs sont munis de lunettes filtrant

le spectre lumineux et permettant à chaque œil de ne voir que les images formées à partir des triplets de couleur qui lui sont destinés. Ce filtrage doit être très précis et nécessite d'empiler une cinquantaine de couches de films plastiques colorés. De plus, comme ces filtres chromatiques exigent que la lumière les traverse avec un angle de 90°, les lunettes sont spécialement profilées pour permettre à l'œil de bouger sans perdre l'effet de relief.

Les lunettes représentent un coût important (moindre qu'en actif). Elles sont en général « louées » au spectateur le temps de la séance, ce qui nécessite une logistique de récupération et de nettoyage.

L'affichage des images

Pour tous ces systèmes, l'affichage des images gauche/droite est successif. Au niveau du projecteur, le même objectif peut être utilisé. Il est également possible d'afficher deux images en « top-and-bottom » ou en « side-by-side » sur la matrice (par exemple si elle est 4K). Dans ce cas, il est nécessaire de remplacer l'objectif par un système à double objectif. C'est la solution retenue sur les projecteurs Sony 4K. Les systèmes passifs polarisants sont utilisés devant ces doubles objectifs. Depuis peu, on peut également utiliser les lunettes actives.

La bataille technologique entre systèmes passifs et actifs

Les systèmes de projection 3Ds au cinéma utilisent une large variété de principes technologiques différents; c'est le signe d'un marché émergent qui, aujourd'hui, est en train de se resserrer autour d'une bataille entre le principe de projection passifs du type RealD ou Dolby et le système actif du type XpanD. Cette concurrence dans les salles de cinéma entre deux technologies concurrentes ayant chacune leurs avantages et leurs inconvénients sera sans doute influencée par l'arrivée de nouvelles sources de lumière dans les projecteurs D-Cinema (Laser), qui amélioreront nettement la qualité de confort des projections en relief. De même, la rivalité technologique dans les salles de cinéma risque d'être arbitrée sur le moyen terme par les choix opérés par les grands équipementiers électroniques du marché de la télévision grand

public qui, peu à peu, proposent des solutions techniques de plus en plus affinées et confortables pour le téléspectateur dans les deux technologies.

L’AFFICHAGE TV 3D

Avec le passage à la 3D stéréoscopique, l’évolution en termes de sensation visuelle pour le téléspectateur est largement plus marquante que lors du passage de la TV en définition standard à la TV Haute Définition. C’est le constat qu’on fait l’ensemble des fabricants de téléviseurs et qui explique la commercialisation très rapide en 2010 de téléviseurs 3D, même si les contenus n’existent pas encore en quantité suffisante aujourd’hui.

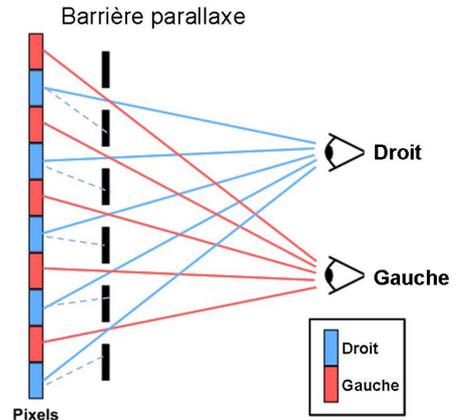
L’autre explication de l’essor des téléviseurs 3Ds tient à l’amélioration des performances des technologies d’affichage et notamment des fréquences de rafraîchissement des écrans plats qui permettent aujourd’hui de se situer au-delà des 200 Hz. Il est possible de ce fait de proposer un relief de qualité distillant un minimum d’effets indésirables chez le téléspectateur.

Toutefois, pour bien comprendre les problèmes de l’affichage des images en relief sur un téléviseur, il est nécessaire au préalable de faire un rappel sur les principales technologies et de donner des indications sur les règles spécifiques liées à ce nouveau mode d’affichage télévisuel.

Exit l’anaglyphe

En préambule, notons qu’il est possible de visualiser des images 3Ds sur un téléviseur traditionnel via la transmission d’une image anaglyphe filtrée en rouge et cyan. Cette possibilité déjà ancienne est parfois encore utilisée sur les téléviseurs actuels, mais la diffusion en anaglyphe n’a qu’un seul avantage désormais : de l’encodage de la vidéo jusqu’à son affichage sur le téléviseur, il n’est pas nécessaire de disposer d’une infrastructure de diffusion spécifique.

En revanche, cette technique souffre de sérieux limites sur le plan du confort visuel. Elle génère de manière intrinsèque une perte de fidélité des couleurs. On perd notamment des informations de profondeur dans les parties d’images de la même couleur que les filtres rouge-cyan. On



constate aussi un inconfort dû à la disparité de luminosité entre les deux filtres gauche et droit des lunettes. Pour être tout à fait complet, il faut souligner que le procédé anaglyphe a été affiné ces dernières années par des sociétés comme Trioviz et ColorCode, qui, grâce à un système de gestion de la séparation des couleurs permet de faire vivre quelques temps encore ce principe déjà ancien de créer des images stéréoscopiques à la télévision.

Dalles polarisées et lunettes passives

Le principe de lunettes TV3Ds passives avec une surface d’écran polarisée placée sur une dalle LCD classique est une technologie utilisée par certaines marques d’électronique grand public. Son principe d’affichage repose sur un filtre ayant une polarisation circulaire dans un sens pour les lignes paires et une polarisation dans le sens inverse pour les lignes impaires. Ainsi, chaque œil ne voit que les lignes qui correspondent à son sens de polarisation.

Le principal atout des lunettes passives réside dans le fait qu’elle n’embarque aucune électronique, puisque les verres disposent juste d’une polarisation « statique ». Ces lunettes sont légères, le rendu des couleurs est tout à fait correct et il n’y a pas de flicker (effet de clignotement). En revanche, avec des lunettes passives, chaque œil ne reçoit qu’une demi-image sur le plan de la résolution verticale.

En outre, les effets de diaphonie dès qu’on incline la tête par rapport à l’écran du téléviseur apparaissent avec cette technologie d’affichage comme avec celle utilisant des lunettes dites

« actives ». Ici, la polarisation circulaire permet de pencher la tête jusqu'à un certain point jusqu'à ce que la polarisation de la lumière entraîne des effets de perte de luminosité ou de changements colorimétriques.

TV3Ds avec des lunettes actives

En 2010, la plupart des constructeurs de téléviseurs ont retenu une technologie d'affichage TV3Ds utilisant des lunettes actives. Cette technologie repose sur des écrans plats ayant au moins une double fréquence de rafraîchissement (voire des fréquences de 400 ou 600 Hz), qui sont combinés avec des lunettes 3D actives. La fréquence d'obturation des lunettes actives est synchronisée avec l'affichage des images sur l'écran plat. Ainsi, chaque œil du téléspectateur ne voit alternativement que l'image qui lui est destinée.

Cette technologie est pour l'instant quasiment la seule à offrir une image relief en pleine résolution sur les téléviseurs, même si des sociétés comme RealD et JVC commercialisent désormais une technologie TV3Ds passive Full HD proche du système Z-Screen utilisé dans les salles de cinéma. Cette nouvelle approche devrait permettre d'alterner le sens de polarisation sur la totalité de l'image et ainsi proposer un système polarisé Full HD pour la TV...

Seul bémol de la technologie lunettes « actives » : si par exemple le mécanisme de synchronisation des lunettes est défectueux, des images doubles (ghosting) gênantes pour le téléspectateur peuvent en résulter. La gêne se traduit aussi par une diaphonie des informations d'image de l'œil gauche sur l'œil droit et inversement, tandis que des durées d'ouverture trop courtes pour chaque œil peuvent conduire à une réduction de la luminosité.

L'autostéréoscopie

Le principe de l'autostéréoscopie repose sur deux procédés distincts :

- Une dalle LCD sur le devant de laquelle on positionne un réseau lenticulaire de manière à ce qu'un observateur n'aperçoive pour chaque œil qu'une colonne de pixels à la fois. Il suffit alors de matricer deux images ensemble (un pixel sur deux) pour que chaque œil reçoive une image différente en temps réel et que l'effet stéréoscopique soit produit.

- La barrière de parallaxe est l'autre grande technologie autostéréoscopique. Son principe est essentiellement le même que l'autostéréoscopie à réseau lenticulaire, à la place duquel un filtre (la barrière) distribue en alternance les points de vue destinés à l'un ou l'autre des deux yeux. Contrairement au cas des réseaux lenticulaires, les positions latérales pour bien voir l'image entière sont toutes à la même distance du plan de l'image. Elle permet ainsi de basculer plus facilement du mode 2D au mode 3Ds, ce qui n'est pas forcément évident avec un réseau lenticulaire physique.

Ces deux technologies représentent un fort potentiel de développement dans l'avenir en matière d'affichage de la TV3Ds dans la mesure où elles permettent de s'abstraire du port de lunettes. L'autostéréoscopie, en tant que relief visible immédiatement sans lunettes, représente d'ailleurs d'ores et déjà un médium convaincant pour des applications marketing et communication : lieux publics, affichage dynamique, musées, hall d'aéroport,...

En revanche, l'autostéréoscopie est encore pour l'instant réservée à la communication événementielle et corporate ou bien encore à l'affichage vers un seul individu (consoles de jeux vidéo ou téléphones, Smartphone...). Elle cumule en effet deux contraintes majeures : le spectateur doit être en face de l'écran et/ou ne pas trop bouger face à l'écran pour garder un effet stéréoscopique confortable. En outre, pour permettre un libre positionnement des spectateurs face à un écran autostéréoscopique, il est nécessaire d'afficher 8 points de vue caméra différents imbriqués en une seule image. Cela suppose donc de fabriquer des images 3D complexes à mettre en œuvre et limite de facto pour le moment sur le plan technique et économique la production de contenus dans ce mode d'affichage.

Une seule connectique pour la 3Ds, le HDMI 1.4a

La nouvelle connectique HDMI 1.4a (High Definition Multimedia Interface) définit de nouveaux formats et timings pour les informations d'images stéréoscopiques fournies aux téléviseurs par des lecteurs ou décodeurs. La norme HDMI 1.4a, lancée le 4 mars 2010, a amélioré plusieurs fonctionnalités des connecteurs HDMI, dont la possibilité de véhiculer la plupart des signaux 3D stéréoscopique utilisés aujourd'hui en diffu-

sion. Parmi ces signaux, citons les modes « Frame Compatible » et basés sur des résolutions d'image classiques. Les deux images partagent alors la résolution horizontale (Side-by-Side) ou verticale (Top-and-Bottom) (fig. 1).

Ces modes de distribution sont surtout destinés à la transmission TV de contenus 3D, l'infrastructure existante pouvant être utilisée pour la transmission en haute-définition (HD). Ainsi, là où le HDMI 1.3 permet de passer seulement 1 image HD, soit tous les modes de distribution de type Side-by-Side, Top-and-Bottom, Checkerboard, c'est-à-dire de la 3Ds avec une perte de résolution, la norme HDMI 1.4 permet de passer 2 images HD soit de la 3Ds en full HD.

A titre d'exemples, on peut énumérer quelques formats d'images compatibles avec l'interface HDMI 1.4a : le 3D Field Alternative (entrelacé), le Frame Packaging (format Top-and-Bottom en pleine résolution par vue), l'alternance complète des lignes, le Side-by-Side half, le Side-by-Side full, le principe de diffusion 2D + des métadonnées de profondeur et le principe de diffusion 2D + des métadonnées de profondeur. A noter que le HDMI 1.4 fonctionne avec des écrans plats 3D qui supportent des définitions et fréquences de diffusion aussi différents que le 720p50, le 1080p25 ou le 720p60 et le 1080p24, mais aussi le mode Side-by-Side horizontal en 1080i50 ou en 1080i60, de même que le Top-and-Bottom en 720p50, 1080p25, 720p60 et 1080p24.

La conversion 2D/3D dans le téléviseur

Avant que les contenus TV3Ds fabriqués nativement en relief se généralisent il va s'écouler plusieurs années, du fait notamment des surcoûts de production et de postproduction importants générés par cette nouvelle technologie. Dès lors, les fabricants de téléviseurs, très en avance sur le marché de la production de contenus 3Ds natifs, ont décidé d'intégrer dans leur dernière génération de téléviseurs des convertisseurs temps réel d'images 2D vers la 3D stéréoscopique.

En général, cette fonction de conversion chez le téléspectateur est accessible à l'aide d'une simple télécommande. Elle agit uniquement dans le sens de la profondeur de l'image via une sensation accrue d'immersion dans les scènes. La conversion 2D/3Ds dans le téléviseur n'est pas conçue pour produire des effets de jaillissement d'objets sur le devant de l'écran. Une telle

conversion automatique 2D-3D dans les foyers provoque également des artefacts fréquents, sorte d'exagérations du relief sur des parties d'image qui risquent de générer rapidement une fatigue visuelle du téléspectateur.

Ainsi, même si aucune étude épidémiologique ne l'a pour le moment démontré, on sait d'ores et déjà avec certitude qu'une telle conversion à la volée 2D/3Ds de sources vidéo qui n'ont pas été conçues nativement ou en postproduction pour une diffusion en relief (rapidité du montage, raccords de plans, objets parasites en avant-plan...) induisent suffisamment d'effets parasites pour que l'interprétation du relief par le cerveau humain devienne rapidement inconfortable, avec les maux de tête qui s'en suivent à la longue.

Réglage de l'intensité du relief dans le téléviseur

Dans la mesure où le relief créé par un réalisateur est plus ou moins confortable pour le téléspectateur en fonction de sa propre perception visuelle et de la taille de son écran, certains fabricants de téléviseurs et de décodeurs 3Ds commencent à proposer un ajustement manuel ou automatique de la profondeur des scènes 3Ds. Quel que soit le système électronique utilisé, il est clair qu'un tel ajustement chez le téléspectateur ne pourra être proposé à un niveau de relief allant au-delà de celui conçu au départ par la réalisation du programme, le niveau minimal étant bien entendu une image plane en 2D.

Le positionnement des sous-titres et l'habillage antenne

Le positionnement des sous-titres et des éléments graphiques dans un programme de télévision en relief est une donnée technologique et artistique qu'il est nécessaire de prendre en compte en amont de la diffusion TV. Il est conseillé de bâtir des scénarios de placement des sous-titres et/ou des éléments graphiques, basés sur l'analyse de la perception humaine afin qu'ils n'interfèrent pas avec le plan des effets visuels 3Ds d'un programme. Deux options sont possibles : soit les sous-titres sont toujours insérés devant le contenu vidéo (position fixe en profondeur) et le reste de la scène est transféré en arrière plan, soit leur position s'adapte de manière dynamique à la stéréographie du programme pour être toujours devant le contenu en évitant un trop grand parallaxe scène et texte.

ADAPTER LE RELIEF À LA TAILLE DE L'ÉCRAN DE DIFFUSION

Il existe quelques phénomènes et règles qui régissent la vision des images 3D stéréoscopiques que nous avons résumés dans les schémas suivants et qui doivent servir de fil rouge au moment de réaliser la préproduction d'un programme TV ou d'un film.

La profondeur représentée à l'écran : une « boîte scénique »

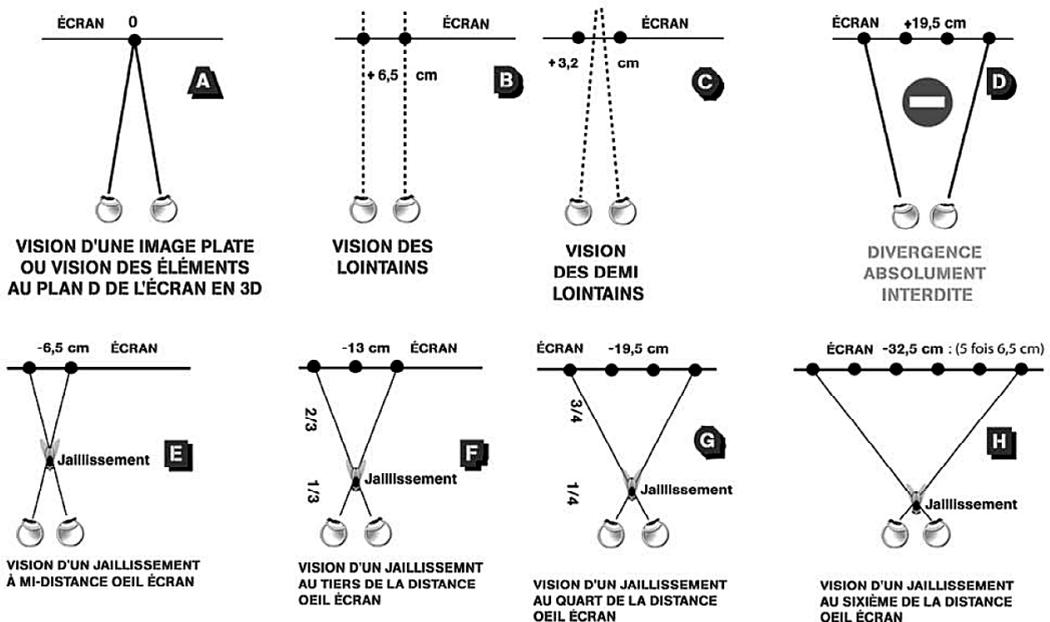
La profondeur réelle et la profondeur représentée à l'écran dans une oeuvre en 3Ds sont des choses bien différentes et chercher à respecter à l'écran les dimensions du sujet est complètement vain. On appelle « boîte scénique » la profondeur représentée. Elle obéit à des lois propres à la représentation en salle de cinéma ou sur un téléviseur et surtout à la largeur de l'image représentée (voir schémas ci-dessous). Attention tout de même, car partager les avant-

plans (ou jaillissements), et les arrière-plans (profondeurs, lointains) par la position précise du plan de convergence n'est valable que pour une largeur d'écran donnée. En particulier, ce plan de convergence n'a plus aucun sens avec les écrans géants du type Imax, car avec eux, l'ensemble du volume représenté ne peut être que dans la salle elle-même. En effet, 6,5 cm sur un écran de 30 m de base est si dérisoire qu'on n'en tient plus compte (0,2 %, soit 8 pixels sur une image de 4K). L'importance et la position exacte du plan de convergence diminuent régulièrement avec l'augmentation de la taille de l'écran.

A l'inverse, les petits écrans sont parfaitement localisés en profondeur, et par conséquent s'accommodent d'une grande partie de l'image en arrière de la surface. Cela entraîne une fenêtre stéréoscopique plus en avant dans le volume de la boîte scénique, tout comme au tournage l'aurait fait une convergence un peu plus proche de la caméra. Il sera donc possible d'effectuer une recalibration d'ensemble de la stéréoscopie d'une oeuvre en réalisant un simple décalage latéral des images stéréoscopiques.

DEMONSTRATION GRAPHIQUE DE LA PROFONDEUR ET DES JAILLISSEMENTS SUR ÉCRAN.

Les décalages sur l'écran doivent s'évaluer en fraction ou multiple de l'écartement oculaire.



Calibration du relief suivant

la taille de l'écran de projection

Si l'on considère que la perception du relief dépend de la taille de l'image et de la position du spectateur, il faut affiner les réglages de profondeur ou de jaillissement du relief selon qu'on regarde un écran de cinéma ou un écran de télévision.

Dans une image stéréoscopique, l'espace est subdivisé en deux volumes, une partie en avant de l'écran et une autre en arrière. Entre les grandes salles de cinéma et le salon de Monsieur Tout-le-Monde par exemple, cette proportion entre l'avant et l'arrière change. Faut-il pour autant « calibrer » le relief en fonction de la taille d'un écran de télévision ou de l'écran de cinéma ? Faut-il adopter une valeur médiane d'écran pour l'un et l'autre de ces vecteurs de diffusion ? Faut-il aussi tenir compte d'une distance « idéale » du téléspectateur par rapport à l'écran de télévision ?

Une première règle de base consiste à calibrer le relief d'un programme TV ou d'un film en fonction de la plus grande taille des écrans susceptibles de diffuser le film, car un contenu fabriqué pour un grand écran sera toujours regardable sur un écran plus petit, même si le relief sera plus doux, tandis qu'à l'inverse, un contenu prévu pour un petit écran ne pourra pas être visionné sur un grand écran sans provoquer un inconfort visuel dû à la divergence.

Ainsi, un film prévu pour un écran de 20 mètres de base pourra toujours être projeté sur un écran de 2 mètres de base, au prix d'un relief très faible mais l'inverse engendre des écarts horizontaux gauche-droite trop importants ne permettant plus de fusionner le relief et créant nécessairement un inconfort visuel.

Ainsi, si l'on souhaite projeter le même film sur un écran plus grand, la distance entre les points « homologues » des « lointains » (éléments discernables les plus éloignés vers l'infini) va augmenter de manière quasi-proportionnelle par rapport à la base de l'écran et donc dépasser l'écart interoculaire moyen chez les êtres humains (65 mm).

La limite réside dans le fait que les points homologues des objets placés sur deux images stéréoscopiques les plus éloignés vers l'infini ne doivent pas être distants de plus de 65 mm, sous peine de provoquer une divergence oculaire chez le spectateur.

Monitoring professionnel en relief

Le monitoring sur un écran de petite taille est utile pour valider des erreurs de mise en relief simples comme l'inversion de l'œil gauche et de l'œil droit, mais en aucun cas il ne peut servir d'élément d'appréciation sur le relief d'un film de long métrage.

Il est nécessaire que l'ensemble des graphistes et techniciens en charge d'un projet audiovisuel ou cinématographique puisse s'approprier les techniques de réalisation stéréoscopiques et visualise régulièrement les rushes de leur œuvre, notamment au moment du montage pour ajuster le relief et régler les problèmes de « raccords profondeur », qui induisent des « retakes » de cadrage. L'idéal consiste donc à ce qu'un écran relief soit disponible pour chacune des grandes étapes de production et de postproduction d'une œuvre, afin de pouvoir valider l'avancement du travail. Il est également indispensable de faire régulièrement des tests sur des écrans de taille « réelle » équivalents à ceux que vont utiliser les spectateurs, car là encore l'impact des effets de relief dépend directement de la taille de l'écran sur lequel on va les regarder.

Exemple : sur un moniteur de montage d'un mètre de large et que l'on regarde à 2 mètres de distance, si l'on règle le décalage des lointains de 40 à 50 pixels (2,5 %), l'image relief peut sembler agréable à regarder, mais aboutit à un réglage trompeur en fonction de la taille de l'écran que va regarder in fine le public dans la salle de cinéma ou dans un salon. Les images seront alors impossibles à fusionner pour les yeux du spectateur qui regarde un écran de 13 m (50 pixels au lieu des 10 pixels recommandés dans le tableau ci-dessus représentent cinq fois l'écart interoculaire idéal, soit 32,5 cm sur l'écran). Toutefois, il faut noter aussi que les chiffres du tableau représentent une moyenne observée et dépendent de la qualité de restitution et de l'environnement. Ainsi, la très bonne résolution d'un moniteur permettra de dépasser légèrement les chiffres du tableau.

Rapport entre la parallaxe de la 3Ds et la taille de l'écran

La CST en collaboration avec Alain Derobe a réalisé en 2009, un tableau établissant la moyenne du calibrage des lointains observés sur diverses largeurs d'écran : en pourcentage, fraction, décalage écran, mesuré en cm ou en nombre de pixels de l'image 2K.

Les expérimentations ont été conduites pour un rendu des lointains, le plus agréable possible à une audience de spectateurs, aux distances d'observations habituellement pratiquées.

Par exemple si un film est calibré pour un écran de 10 m de base comportant par conséquent des lointains décalés au maximum de 16 pixels, il faudra à l'aide d'un « offset » général de l'image, les réduire de 10 pixels pour une présentation valable sur un écran de 26 m de base; et à l'inverse augmenter le décalage de 11 pixels pour pouvoir passer sur un écran de 4 m de base. Nous préconisons donc pour l'exploitation cinématographique, moyen terme qui minimisera les ajustements en salle.

Explication du tableau

Sauf pour les petits écrans, le tableau est basé sur le point de vue d'un spectateur moyen qui se place à une distance égale à la largeur de l'écran pour voir un champ « normal ». Ainsi, à titre d'exemple, les premiers éditeurs de chaînes de télévision à diffuser du relief considèrent une taille d'image moyenne du téléviseur de l'ordre de 42 pouces avec une distance de visionnage d'environ 3 mètres.

Une véritable proportionnalité entre le décalage des lointains et la taille d'écran n'est rigoureuse que pour un écran d'une base d'environ 6,5 mètres. Avec les écrans plus grands, on pourra tolérer un décalage des lointains un peu supérieur, ce qui n'entraînera une divergence que d'une fraction de degré, même pour les premiers rangs de la salle de cinéma.

Pour un écran au-dessous de 6,5 mètres de base, un autre phénomène entre en jeu, la synchronie qui lie la convergence à l'accommodation des yeux. Ce phénomène va contrecarrer systématiquement l'effort de parallélisme qui permettrait de voir au-delà de la surface de l'écran, de sorte que les décalages de lointains s'en trouvent limités à un maximum de 2,5 % de la largeur de l'image.

Largeur d'écran (base)	% de décalage	Mesure du décalage des lointains	Correspondance pixels
Ecran de 26 m	¼ %	De 6,5 à 10 cm sur l'écran	5/7 pixels 2K ou HD
Ecran de 19,5 m	1/3 %	De 6,5 à 9 cm sur l'écran	7/8 pixels 2K ou HD
Ecran de 13 m	½ %	De 6,5 à 8 cm sur l'écran	10/12 pixels 2K ou HD
Ecran 9;85 m	2/3 %	De 6,5 à 7 cm sur l'écran	15/16 pixels 2K ou HD
Ecran de 6,5 m	1 %	6,5 cm mesuré sur l'écran	20 pixels 2K ou HD
Ecran de 5 m	1,1 %	De 5,6 à 6 cm sur l'écran	22 pixels 2K ou HD
Ecran de 4 m	1,3 %	De 5 à 5,5 cm sur l'écran	27 pixels 2K ou HD
Ecran de 3m	1,6 %	De 4,8 à 5,3 cm sur	32 pixels 2K ou HD
Ecran de 2 m	2 %	De 4 à 4,5 cm sur l'écran	40 pixels 2K ou HD
Ecran de 1,5 m	2,25 %	De 3,4 à 4 cm sur l'écran	45 pixels 2K ou HD
Ecran de 1 m	2,5 %	De 2,5 à 3 cm sur l'écran	50 pixels 2K ou HD
Ecran de 65 cm	2,3 %	De 1,5 à 3 cm sur l'écran	45 pixels 2K ou HD
Ecran de 50 cm	2,2 %	De 1 à 1,3 cm sur l'écran	42 pixels 2K ou HD
Ecran de 30 cm	2,25%	6 millimètres sur l'écran	40 pixels 2K ou HD
Ecran de 26 cm	2,3 %	5 millimètres sur l'écran	46 pixels 2K ou HD
Ecran de 13 cm	2,5%	3 millimètres sur l'écran	50 pixels 2K ou HD

GLOSSAIRE DE LA 3Ds

Accommodation : modification de la courbure du cristallin de l'oeil, sous l'action des muscles ciliaires, afin de former sur la rétine une image nette des objets observés à des distances différentes.

Acuité binoculaire : limite de résolution de la profondeur perçue par nos deux yeux. Représente la capacité à distinguer plusieurs plans de profondeur rapprochés, plans définis par des angles différents de parallaxe également très proches.

Affichage plano-stéréoscopique : affichage où les images 3D destinées aux yeux gauche et droit se forment sur la même surface de cet écran.

Aire de fusion de Panum : région virtuelle située autour de l'horoptère où les disparités rétinienne peuvent être fusionnées par le système visuel en une image tridimensionnelle. En dehors de cette région la fusion n'est plus possible, les images semblent dédoublées (en réalité image gauche et image droite non fusionnée) et l'on perçoit donc en diplopie.

Angle de parallaxe : angle partant du point de convergence observé par nos deux yeux et formant un triangle avec eux.

Autostéréoscopie : visualisation 3Ds sans lunette, à 2 points de vue.

Automultiscopie : visualisation 3Ds sans lunette, à N points de vue (N supérieur à 2).

Base stéréoscopique : distance entre les axes optiques des deux objectifs d'une seule caméra ou des objectifs de deux caméras, en prises de vue stéréoscopiques.

Convergence : rotation des deux yeux (convergence binoculaire) ou de deux caméras, visant le même point de l'espace 3D.

Cristallin : lentille biconvexe de l'oeil, derrière la pupille, participant à la convergence des rayons lumineux vers la rétine et réalisant la mise au

point sur les objets observés, proches ou lointains.

Cross-talk : dissociation physique imparfaite des images destinées respectivement à l'oeil gauche et à l'oeil droit lors d'observation de contenus 3D sur un écran plano-stéréoscopique.

Diplopie : trouble de la vue caractérisé par une absence de fusion des images perçues par les deux yeux et provoquant une vision double de l'objet observé.

Disparité : distance entre les points homologues d'un même objet observés sur les images et les rétines gauche et droite.

Disparité croisée : disparité rétinienne correspondant aux croisements des rayons optiques de chaque oeil sur l'avant de l'horoptère, ou du plan de convergence.

Disparité non-croisée : disparité rétinienne correspondant aux croisements des rayons optiques de chaque oeil en arrière de l'horoptère, ou du plan de convergence.

Disparité rétinienne : disparité entre points homologues d'un même objet formée sur la rétine de chaque oeil.

Disparité angulaire : voir angle de parallaxe.

Distance inter-oculaire : distance entre les pupilles de nos deux yeux. Généralement considérée par défaut pour un adulte mâle autour 63 mm. La plage totale s'étend d'environ 52 mm à 72 mm (enfant, adulte).

Distance inter-axiale : voir base stéréoscopique.

Dioptrie : unité de vergence homogène à l'inverse d'une longueur.

Effet de fenêtre : effet relief où les objets de la scène sont perçus derrière l'écran physique de diffusion, les bords de l'écran formant une fenêtre ouverte vers l'infini. Cela correspond à une parallaxe positive.



Effet de jaillissement : effet relief où les objets sont perçus devant l'écran physique de diffusion. Cela correspond à une parallaxe négative.

Effet keystone ou effet trapézoïdal : conséquence d'une prise de vue avec deux caméras en convergence,

Effet de maquette : effet relief où les objets sont perçus, lors de la diffusion 3D, comme étant plus petits que dans le monde réel. Cette sensation est due à l'importance de la base stéréoscopique choisie. Les caméras étant écartées au-delà de la distance inter-oculaire, nous regardons alors le monde réel au travers des yeux d'un géant et les humains observés ressemblent à des fourmis.

Facteur de grandissement : rapport entre les dimensions de l'image rendue ou capturée et la taille finale de cette image sur l'écran de diffusion.

Fantômes : « ghosting », perception du phénomène physique de « cross-talk »

Fenêtre stéréoscopique : région 3d dans laquelle l'image en trois dimensions peut être vue dans le plan physique de l'écran de diffusion (points-objet avec parallaxe nulle). Un shift horizontal entre les vues gauche et droite modifie la perception de cette fenêtre stéréo mais également la profondeur du relief de la scène.

Focalisation : opération qui consiste à concentrer les rayons lumineux provenant d'un point en un autre point.

Fusion stéréoscopique : phénomène qui combine au niveau du cerveau les vues provenant des deux yeux et qui permet la perception d'une unique image tri-dimensionnelle.

Horoptère : arc de cercle virtuel de notre environnement visuel formé par tous les points de convergence provenant de l'observation d'objets-points situés à la même distance de nos yeux. Tous les points situés sur cette courbe correspondent à des emplacements identiques sur les deux rétines. La disparité rétinienne est donc nulle sur

cette courbe. La disparité des objets observés à l'intérieur de l'horoptère s'appelle « disparité croisée », celle des objets situés à l'extérieur s'appelle « disparité non-croisée ».

Hyperstéréoscopie : stéréoscopie réalisée à partir d'une large base stéréoscopique, généralement bien au-delà de la distance inter-oculaire.

Macro-stéréoscopie : stéréoscopie obtenue à partir d'une base stéréoscopique faible, en dessous de la distance intra-oculaire, virtuellement de quelques millimètres entre chaque caméra.

Motion control stéréoscopique : asservissement des caméras gauche et droite notamment pour modifier la base stéréoscopique, la convergence, la mise au point, le zoom, la synchronisation temporelle, le calibrage des assises etc...

Orthostéréoscopie : position idéale du spectateur par rapport à l'écran de diffusion, où l'image 3D des objets filmés est conforme aux objets réels. Le relief est perçu sans distorsion de profondeur. (aplatie ou étirée).

Parallaxe : déplacement de la position apparente d'un objet dû au changement de position de l'observateur. C'est aussi l'écart entre les points homologues gauche et droit d'un même objet observé sur un écran plano-stéréoscopique. Cet écart est dû à l'écartement des points de vue de la scène observée.

Parallaxe négative : objets 3D perçus en avant de l'écran de diffusion. (pour le système visuel rétinien on parle de « disparité croisée »).

Parallaxe positive : objets 3D perçus en arrière de l'écran de diffusion. (pour le système visuel rétinien on parle de « disparité non-croisée »).

Parallaxe zéro : surface plane représentée physiquement par l'écran de diffusion et sur laquelle sont situés tous les points homologues gauche et droits confondus des objets de la scène.

Plage de profondeur : perception des limites de

profondeur d'un contenu 3D, provenant d'images gauche et droite planes affichées sur un écran ou une projection stéréoscopique.

Plan de convergence : plan de « profondeur » que l'on détermine en faisant coïncider les points homologues d'un objet de la scène, dans le cas de prise de vues stéréoscopique où les caméras ont les axes optiques en parallèle. Positionnement réalisé par déplacement horizontal des deux caméras ou par shift horizontal en postproduction.

Plano-stéréoscopique : écran dont la perception de profondeur 3D provient de l'affichage des points de vue pour l'œil gauche et pour l'œil droit exactement sur la même surface plane de cet écran.

Point de convergence : point de l'espace à l'intersection des axes optiques des yeux ou des caméras convergeant vers celui-ci.

Points homologues : points correspondants d'un même objet vus par l'œil gauche et par l'œil droit dont les écarts de distance affichés sur les rétines constituent la disparité rétinienne. Ces points correspondants du même objet sont aussi présents sur les images gauche et droite affichées sur le plan de l'écran de diffusion et dont les écart de distance constitue la parallaxe.

Pseudoscopie : inversion des images gauches et droites destinées respectivement à l'œil gauche et à l'œil droit. L'œil gauche percevant l'image destinée à l'œil droit (et *vice-versa*) le relief est inversé et les objets situés normalement en arrière de la scène sont visualisés en avant ce qui crée un inconfort visuel.

Rivalité binoculaire : perception de différences entre vue gauches et vue droite notamment en as-

symétrie géométrique, colorimétrique.

Shift horizontal : translation horizontale des caméras stéréoscopiques mis en parallèle au tournage ou translation des deux images gauche et droite en postproduction pour paramétrer une parallaxe nulle et ainsi recomposer la profondeur de la scène.

Spectateur (le) : l'observateur, adulte ou enfant. De par la différence de leur distance interoculaire respective, les adultes et les enfants n'ont pas la même perception de profondeur de relief et ne ressentent pas les mêmes sensations d'inconfort visuel. Il faudrait donc tenir compte d'une distance à l'écran différente (enfants plus près d'un écran 3D qu'un adulte), distance à préciser suivant la technologie de séparation vues gauche et droite spécifique à chaque type d'écran 3D et vérifier les hypothèses de distances intra-oculaires prises en compte par chaque fabricant.

Stéréopsis : sensation de profondeur apportée par la vision binoculaire.

Stéréoscopie : principes et méthodes qui permettent l'observation ou/et la restitution de la vision binoculaire. Permet la création de couples d'images gauche et droite et la perception du relief en diffusion.

Stéréoscopie à l'infini : la distance la plus éloignée entre l'objet et l'observateur en vision binoculaire où l'effet de profondeur est encore discernable, habituellement estimé à 200 mètres.

Vergence : grandeur caractérisant les propriétés de focalisation d'un système.

ANNEXE 1 : DÉFINITION DES MÉTIERS DE LA 3Ds

Avec l'accroissement de l'expérience « Relief » des équipes sur les lieux de tournage ou en postproduction, ainsi qu'au fil des formations successives à la stéréographie des professionnels, le stéréographe sera de moins en moins nécessaire à la formation de chacun sur le plateau. Toutefois, le stéréographe restera celui qui assure la continuité du relief sur un film ou un programme de télévision en relation avec toute l'équipe au service d'une réalisation.

Lors de la postproduction, le stéréographe assure également le suivi de la correction relief, le positionnement du plan de convergence en fonction du montage, ainsi que la gestion des fenêtres flottantes.

A noter que la définition des postes des responsables relief vont différer selon les genres (long métrage, directs, programmes TV). La méthodologie et surtout les équipes seront amenées à varier selon le budget alloué à la production. C'est là toute la difficulté de l'exercice qui consiste à plaquer des définitions de postes trop définitives. Nous nous sommes malgré tout attelés à cet exercice afin de permettre une meilleure compréhension de ces nouveaux métiers.

Sur les programmes de stock TV et longs métrages :

« Stéréographe » ou « Directeur de la stéréographie »

Sur un long métrage, le stéréographe a le plus souvent un rôle de « stéréo-superviseur » qui détermine avec le réalisateur le « plan relief » et l'amplitude de la profondeur qui convient à chaque séquence pour l'ensemble d'un film. Il détermine également avec le directeur photo le matériel le plus approprié au tournage. Sur les productions ayant un budget et des ambitions artistiques importants, le stéréographe peut être épaulé par un « technicien stéréographe » dédié à la gestion opérationnelle des réglages et du monitoring 3Ds ainsi qu'à la gestion des rushes 3Ds.

Le stéréographe doit assurer la « garantie de bonne fin » stéréoscopique d'une production. La hiérarchie reste inchangée, mais le stéréographe est l'équivalent d'un directeur des effets spéciaux au service du réalisateur et du directeur de la photographie.

- Avec le réalisateur, il étudie les variations stéréoscopiques sur l'ensemble du film.

- Avec le chef opérateur, il étudie la demande de celui-ci pour garantir le bon usage des outils pour répondre aux demandes spécifiques du directeur de la photographie. Il participe également à la conception de la captation comme personnel extérieur et au choix des emplacements caméra. Ensuite, il supervise le travail d'installation et de réglages des caméras et modules stéréoscopiques.

- Avec la production, il étudie les moyens nécessaires à mettre en œuvre en termes d'équipe et de matériel.

- Avec l'ensemble des techniciens de la production, il répond à leurs demandes précises sur l'adaptation de leurs métiers au relief.

- Avec le responsable de la postproduction, il étudie les demandes spécifiques liées au workflow. Pour assurer la cohérence d'ensemble du relief, il peut être amené à superviser des étapes en postproduction telles que la correction des erreurs de convergence, les raccords de profondeur des plans, le compositing, l'étalement, la correction des disparités, etc...

Technicien-stéréographe

Quand les moyens d'une production le permettent, le stéréographe peut être assisté par un technicien-stéréographe en charge de l'ajustement physique du ou des systèmes relief utilisés à la prise de vue. Il prend alors l'initiative des réglages du rig et de la caméra, de la vergence, de l'entraxe, et de tous les problèmes de disparités involontaires. Lorsqu'il y a plusieurs équipes de tournage sur un long métrage ou plusieurs caméras sur un même plateau, les différents techniciens-stéréographes peuvent apparaître en tant que « stéréographes » au générique, car ils jouissent dans ce cas de bien plus d'autonomie que dans un environnement de captation habituel.

Postproduction 3D superviseur

Le « postproduction 3D superviseur » ou « postproduction stéréo-superviseur » appartient à l'équipe du laboratoire. Il est en charge de l'exécution des réglages sur les machines de postproduction numérique. Il va se retrouver aux côtés du stéréographe ainsi que du monteurt et/ou de l'étalement au moment de l'étalement

relief (« depth grading »). Il arrive aussi que le stéréographe intervienne sur un film en tant que « superviseur du relief » d'un bout à l'autre de la chaîne de production et donc assume cette tâche de supervision des contrôles de la cohérence du relief à différentes étapes de la postproduction. Rappelons qu'en postproduction, il est nécessaire de corriger à la fois les « disparités visuelles » (keystone, alignement, aberrations optiques...) et d'apporter des « corrections de valeurs stéréoscopiques » résultant d'erreurs au tournage, mais aussi de variations de relief brutales introduites lors du montage par une inversion des plans prévus à l'origine.

Sur les tournages « live » :

Stéréographe

Sur les tournages 3Ds de programmes TV de flux, le stéréographe est généralement employé au même titre que le réalisateur ou le directeur photo. Il conçoit les options de stéréographie

générale en collaboration avec la production, la réalisation et le directeur photo et/ou chef caméraman (le superviseur cadre). Il participe également à la conception de la captation comme personnel extérieur et au choix des emplacements caméra. Ensuite, il supervise le travail d'installation et de réglage des caméras et modules stéréoscopiques. Il dirige et supervise le travail des « convergence-pullers » (aussi parfois appelés « assistants-stéréographes ») afin d'obtenir une cohérence du relief entre les caméras. Il assiste aussi la réalisation dans les choix qui influencent le relief. A côté du stéréographe, on a parfois un ou plusieurs techniciens-stéréographes qui effectuent le réglage des rigs et des ingénieurs vision 3D en régie.

L'ingénieur vision 3D

Basé dans la régie, l'ingénieur vision 3D s'occupe de la vision relief et du contrôle des outils de mise en scène du relief. Il travaille sous la direction du stéréographe et a en charge le contrôle de l'angulation et de l'entraxe via des comman-

Cas d'un film avec effets spéciaux lourds

Concernant les défauts géométriques et colorimétriques, il y a un seuil de tolérance au-delà duquel le spectateur fatigue, on admet donc une certaine imprécision dans la correction de ces défauts. Par contre, le calage des différents éléments d'une image composite doit être réalisé avec une « tolérance zéro ». C'est la raison pour laquelle le superviseur SFX prendra en charge toutes les manipulations relief de l'image :

- 1-Corrections des défauts géométriques et colorimétriques, ainsi que mise en parallèle simultanée de l'image tournée en convergent.
- 2-Création et assemblage des éléments de l'image composite.
- 3-Calage relief de ces éléments, notamment dans le cas d'un assemblage entre live et image de synthèse.
- 4-Mise en convergence de l'image composite et étalonnage relief pour l'écran de projection.

Remarque importante: dans le cas d'un tournage pour une image composite (effets spéciaux) il n'est pas recommandé de corriger les défauts de l'image relief avant trucage, car cette étape produit un « filtrage » destructif qui nuit à la qualité du trucage final.

Outre le superviseur SFX, on peut identifier un certain nombre de postes dont les méthodes de travail doivent être adaptées à l'image relief :

- rotoscopie
- tracking
- compositing
- matte paintig et tout travail de retouche à la palette
- image de synthèse

Les infographistes en charge de ces travaux doivent être labellisés « 3D ready » afin de garantir la qualité et la productivité de leur travail.

des déportées, en utilisant des outils d'appréciation du relief. Il ne faut pas le confondre avec l'ingénieur vision image traditionnel qui assure le contrôle de l'image, en accord avec le directeur photo, en agissant sur les voies de commandes des caméras (diaph, niveau de noirs, blancs, et gammas, corrections de détail et de contour, matrices...).

Le technicien stéréographe

Sur une captation multicaméras 3Ds conséquente (cinq à six rigs), il y a généralement un

stéréographe qui supervise l'ensemble du tournage, deux ingénieurs vision 3D en régie et un technicien stéréographe par rig actif (ou pour plusieurs rigs). L'ingénieur vision a un rôle est très proche de celui qu'il a en 2D, sauf qu'il doit en plus apparier (« matcher ») les deux caméras d'un même rig... Il faut noter que les technologies évoluant très vite en matière de prises de vue relief, les réglages de convergence dédiés aujourd'hui au technicien stéréographe risquent à terme de devenir des opérations de plus en plus automatisées.

ANNEXE 2 : TECHNIQUES DE TOURNAGE EN RELIEF :

D'APRÈS « **TOURNER EN RELIEF: LE COURS COMPLET ET INTERACTIF** », PARALLELL CINEMA

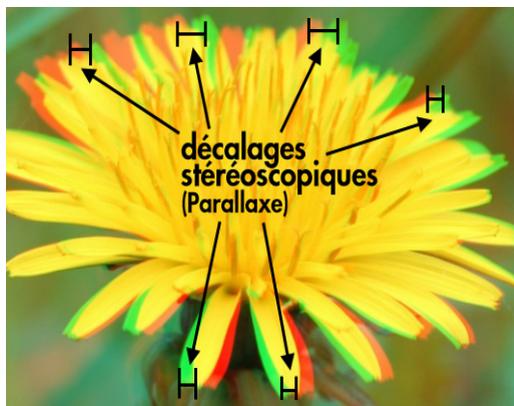
Le décalage stéréoscopique

Des décalages stéréoscopiques apparaissent quand on superpose l'image filmée par la caméra droite et l'image filmée par la caméra gauche. Le décalage stéréoscopique d'un objet ou parallaxe, est la distance à l'image entre l'image gauche et l'image droite d'un objet. Il s'exprime en pourcentage de la largeur de l'image, ou en pixels : un décalage est dit positif quand l'image de gauche d'un objet est à gauche, et son image de droite à droite. Dans ce cas, l'objet semble loin, derrière le plan de l'écran, « en profondeur ».

On dit qu'un décalage est nul (0%) quand les deux images d'un objet sont parfaitement superposées. Dans ce cas, l'objet apparaît sur le plan de l'écran (= exactement à la profondeur de l'écran de projection).

On dit qu'un décalage est négatif (-1 % par exemple) quand l'image de gauche d'un objet est à droite, et son image de droite à gauche. Dans ce cas, l'objet semble proche, devant le plan de l'écran, « en jaillissement ».

A noter que les décalages peuvent être exprimés

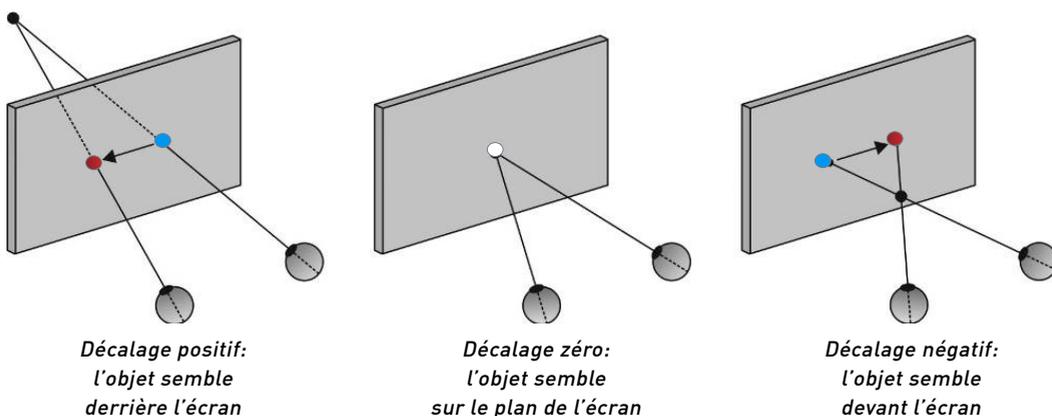


en pourcentage ou en nombre de pixels de large.

Première étape du tournage : le réglage des lointains

L'une des règles de base à respecter lors d'un tournage en relief est de s'assurer que le spectateur aura bien la sensation qu'un objet placé en arrière-plan d'une scène est réellement positionné dans les « lointains » à l'écran. Par exemple, l'espace qui existe entre les deux yeux est en moyenne de 6,5 cm pour un homme adulte. Donc, si l'image d'un objet lointain destinée à l'œil gauche est décalée de 6,5 cm par rapport à l'image destinée à l'œil droit, alors les yeux regarderont droit devant eux, de manière strictement parallèle.

En revanche, si les deux images à l'écran sont maintenant décalées de 13 cm, alors l'œil gauche doit regarder à gauche... et l'œil droit, à droi-



te: le regard entre en divergence. Or, cette situation n'est pas naturelle pour l'œil humain, et au mieux elle est fatigante, au pire elle est douloureuse, et provoque nausées et maux de tête.

On en déduit qu'un décalage (positif) à l'écran de 6,5 cm entre les deux images d'un objet est le maximum que nous puissions tolérer.

Pour cette raison, cette valeur de décalage est souvent nommée « horizon artificiel ».

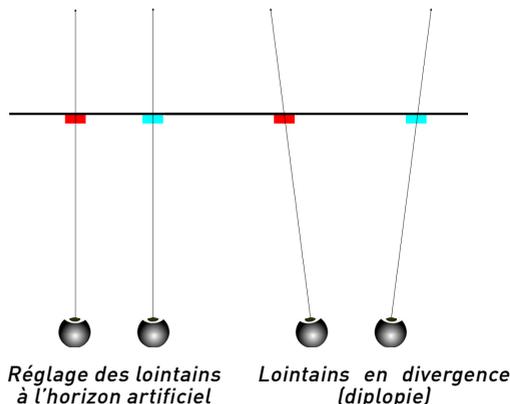
Naturellement, il s'agit d'une valeur absolue; ce qui signifie qu'un même film n'est pas forcément adapté à toutes les tailles d'écran. Sur un petit écran (exemple: 1m de large), si un décalage est, par exemple, de 1cm (soit 1% de la largeur de l'image) il sera de 13cm lorsqu'il sera projeté sur un écran de 13m. Il sera de 26cm sur un IMAX de 26m de base.

Ainsi, des lointains décalés de +1% de la largeur de l'image seront parfaitement adaptés à un

écran de 6,5m (puisque nos +1% feront exactement 6,5cm), mais ils seront souvent pénibles sur un écran de 13m. Ils donneront une sensation de profondeur plus faible sur un écran de 2 ou 3m.

Régler les lointains en fonction de la taille d'écran prévue est donc très important dès le tournage, même s'il est possible d'effectuer des ajustements en postproduction.

- L'horizon artificiel d'un écran de 6,5m est donc de +1% (le « + » signifie un décalage positif).
- L'horizon artificiel d'un écran de 13m est donc de +0,5%.
- L'horizon artificiel d'un écran de 26m est donc de +0,25%.



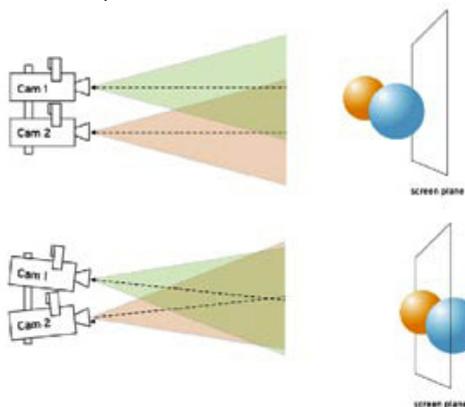
Le cas des petits écrans est particulier : en effet, l'expérience montre que la majorité des spectateurs tolèrent plus facilement un horizon artificiel situé entre +1,8% et +2,5%; cette dernière valeur étant déjà assez importante. Au-delà, le plan devient en général trop long à fusionner. L'horizon artificiel d'un petit écran est donc d'environ +2% (en photo, les tolérances sont supérieures car l'image ne bouge pas).

A noter que dans les décalages négatifs (qui régissent les jaillissements), il n'existe pas vraiment d'horizon artificiel, la convergence posant moins de problèmes que la divergence. Toutefois, il faut garder en tête qu'un décalage de -1% fait sortir un objet à 1/2 de la distance écran spectateur sur un écran de 6,5m, et aux 2/3 de cette distance sur un 13m – un effet très puissant.

Le tournage en parallèle strict

Le tournage en parallèle strict, sans angulation ni décalage d'une image par rapport à l'autre en postproduction, ne se pratique quasiment plus que pour le format IMAX, où il est bien adapté. Pour tous les écrans plus petits (cinéma, télévision), ce type de tournage donne généralement des résultats décevants, puisqu'il se caractérise par l'absence de décalages positifs : tout est en jaillissement, rien n'est derrière l'écran, et les lointains sont sur le plan de l'écran.

En parallèle strict, sans décalage postproduction ni angulation, dès lors qu'on regarde le film sur une taille d'écran plus petite que l'IMAX les jaillissements sont peu confortables, à cause de la proximité de l'écran, qui force les yeux à prendre des angles de convergence assez importants – donc fatigant.



Incidence de «l'angulation», ou «vergence» sur le positionnement de la boîte scénique par rapport au plan de l'écran

Le tournage en parallèle avec décalage en postproduction (« shift »)

Pour cette raison, sur des écrans plus petits que l'IMAX il est nécessaire de décaler (« shift ») une image par rapport à l'autre, pour créer des décalages positifs : on va repousser tout le relief, d'un seul bloc, vers l'arrière, sans toucher à la quantité de profondeur : tout semble plus loin. Cette méthode est utilisée pour adapter l'image relief à différentes tailles d'écran : on fera glisser (« shifter ») une image par rapport à l'autre jusqu'à obtenir des lointains en accord avec l'horizon artificiel de chaque taille d'écran, soit :

- Environ +2% pour les petits écrans ;
- +1% pour les écrans de 6,5m
- +0,5% pour les écrans de 13m
- +0,25% pour un IMAX de 26m

Il est pratique de déterminer au tournage l'effet relief obtenu en prévisualisant l'effet du décalage à l'aide d'un moniteur 3D qui permet de faire glisser une image par rapport à l'autre.

Turner en convergent

Il existe une autre méthode pour régler les lointains, qui est préférée par certains stéréographes car elle permet d'éviter de perdre une bande de quelques pixels à gauche et à droite de l'image quand on fait glisser une image par rapport à l'autre en postproduction :

Plutôt que de faire glisser (décaler, ou « shifter ») une image par rapport à l'autre, on peut choisir d'anguler une caméra ou les deux, c'est-à-dire de lui/leur faire effectuer un petit panoramique de moins d'un degré : on appelle également cela la vergence des caméras.

Quand on angle une caméra, on lui fait faire un petit panoramique, or contrairement à un travelling, dans un panoramique la perspective ne change pas.

Il s'agit donc, mathématiquement, de la même chose qu'un décalage post-prod (« shift ») : dans une angulation, comme dans un décalage post-prod, on décale tous les pixels de l'image vers la gauche ou vers la droite. C'est pourquoi tourner en parallèle avec décalage post-prod et tourner en convergeant sont mathématiquement équivalent – même si les deux méthodes ont des différences pratiques (problèmes de keystone ou de pertes de pixels à gauche et à droite de l'image).

Quand on tourne en convergent, puisqu'une caméra est angulée, en réalité une caméra filme un rectangle et l'autre, en comparaison, un trapèze. On introduit donc de légères déformations de perspectives dans les angles de l'image, appelées « keystone ». Ces déformations, négligeables dans la majorité des plans, obligent toutefois à corriger certains plans en postproduction avec des effets de morphing pour « rattraper » les déformations de perspectives, qui sinon créeraient de la fatigue visuelle.

Il existe deux types de rigs: ceux qui ne conver-

gent que sur un axe et ceux qui convergent sur les deux, afin de répartir l'effet de trapèze ou « keystone » sur les deux images.

La convergence des caméras définit le plan de l'écran et ajuste les lointains. Il est nécessaire de repérer l'objet le plus loin de sa scène sur un moniteur 3D et d'angler une caméra jusqu'à ce que les deux images de cet objet aient le décalage voulu : par exemple +1%.

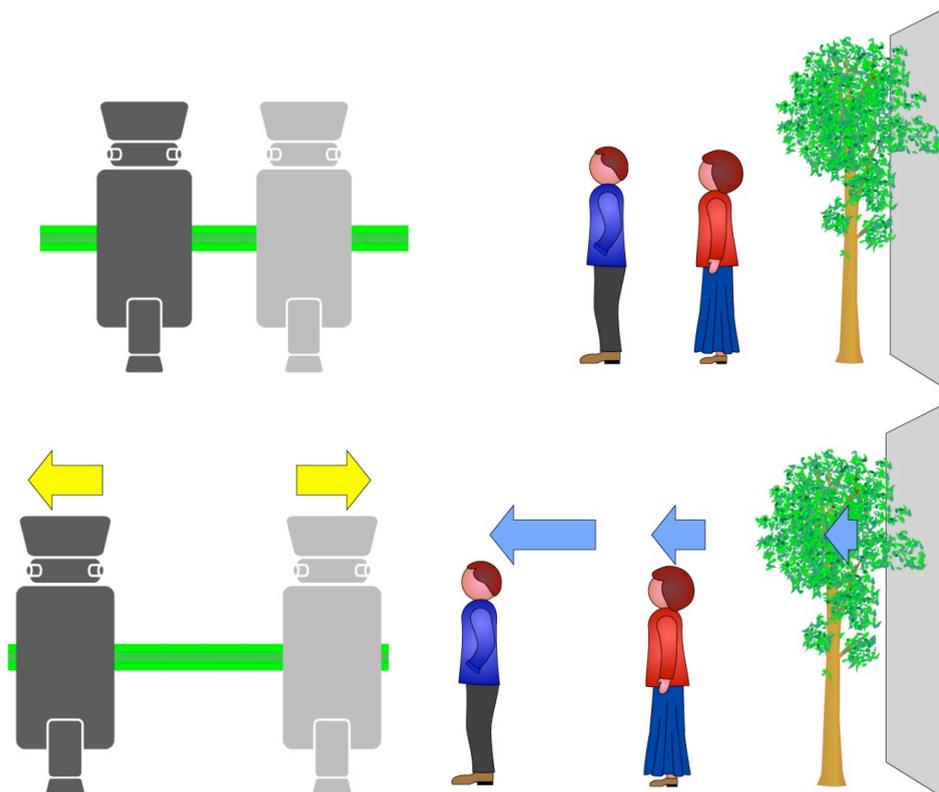
Deuxième étape : régler l'entraxe

L'entraxe se règle souvent une fois que les lointains ont été ajustés. L'entraxe est la distance qui sépare les centres des optiques des deux caméras. Il ne faut pas la confondre avec la distance interoculaire, qui sépare les axes optiques des yeux (6,5 cm en moyenne). Interoculaire et entraxe sont indépendants, l'entraxe servant à ajuster la « gamme stéréoscopique » d'une ima-

ge, qui dépend également de la focale et du positionnement du premier et du dernier objet.

L'entraxe varie selon les plans : quand on a besoin de larges entraxes (plans de paysages, effets de miniaturisation), on utilise des rigs côte-à-côte. Mais ceux-ci ne permettent pas de rapprocher beaucoup les caméras. Quand on a besoin de petits entraxes (pour la plupart des plans), on utilise des rigs à miroir.

L'entraxe servant à ajuster la gamme stéréoscopique, on le règle en fonction de la scène en vue d'obtenir une gamme stéréoscopique donnée. Mais la vergence des caméras ayant été fixée pour définir le décalage des lointains, le réglage de l'entraxe permettra également de déterminer la position du plan de l'écran. Il existe plusieurs méthodes pour déterminer l'entraxe nécessaire en fonction de la scène filmée.



Incidence de l'entraxe (distance entre les axes optiques des caméras) sur la gamme stéréoscopique (amplitude de la boîte scénique).

Méthode de détermination de l'entraxe par le calcul de la gamme stéréoscopique

Si dans l'image, l'objet le plus loin a un décalage de +1%, et l'objet le plus proche a un décalage de -2%, alors la gamme stéréoscopique de cette image est de 3% car $+1 - (-2) = 3$.

De même, si l'objet le plus loin a un décalage de +2% et le plus proche un décalage de 0%, alors la gamme stéréo de l'image est de 2%, car $2 - 0 = 2$.

Pour les petits écrans, on recommande souvent une gamme stéréo de 1,5% à 3%. Pour les écrans plus grands, on recommande généralement des gammes stéréos plus faibles : souvent de 0,75% à 1,5%.

Naturellement, la gamme stéréo exacte dépend de chaque plan, et de l'effet que l'on veut obtenir. Pour certains plans (effets de jaillissements, par exemple), on peut souhaiter contrôler précisément la gamme stéréoscopique.

En partant d'un entraxe de 0cm, on règle d'abord les lointains à l'aide à l'angulation (par exemple: +1%). Puis on augmente progressivement l'entraxe jusqu'à ce que les images gauche et droite de l'objet le plus proche atteignent la valeur de décalage stéréoscopique souhaitée. Celle-ci est contrôlée directement sur le moniteur 3Ds (dans notre exemple, on augmentera l'entraxe jusqu'à obtenir une valeur de -2% sur l'objet le plus proche si on souhaite une gamme stéréo de 3%).

Mais on peut aussi utiliser une méthode qui a l'avantage de ne pas nécessiter de moniteur 3Ds grâce à la formule suivante :

$$L \times G = E$$

où:

L est la largeur (en mètres) du cadre au niveau de l'objet le plus proche (mesure effectuée sur le plateau, par exemple: 1,5m).

G est la gamme stéréoscopique souhaitée en pourcentage (par exemple: 2%).

E est l'entraxe en centimètres.

Exemple: $1,5 \times 2\% = 3\text{cm}$

A noter que cette formule simple fonctionne par-

faitement si les lointains sont à l'infini. Si ce n'est pas le cas (exemple: en intérieur), elle aura tendance à calculer des gammes stéréo légèrement trop faibles.

Méthode de détermination de l'entraxe par le positionnement du plan de l'écran

Pour d'autres plans, où la gamme stéréoscopique n'atteint pas des valeurs critiques, le placement précis du plan de l'écran est le paramètre le plus important. Ceci permettra entre autres d'éviter des erreurs de fenêtre gênantes.

Une fois les lointains réglés au moyen de l'angulation, on augmente progressivement l'entraxe, jusqu'à ce que le plan de l'écran (c'est-à-dire les objets qui ont un décalage de 0%) soit placé où l'on veut.

L'erreur de fenêtre

Une «erreur de fenêtre» ou «violation de fenêtre» est provoquée lorsque l'image d'un objet en jaillissement est coupée par les bords de l'écran.

Le cerveau est alors gêné par deux informations contradictoires: la stéréopsis, qui donne l'impression que cet objet est *devant* l'écran, et l'occlusion de cet objet par le bord de l'écran, qui donne la sensation qu'il est *derrière*.

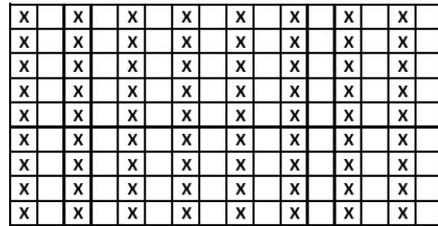
ANNEXE 3 : CODECS ET MODES DE DISTRIBUTION

On distingue deux grandes familles de technologies permettant de diffuser un contenu stéréoscopique jusqu'à l'utilisateur final. La première, appelée « Frame Compatible », a l'avantage de pouvoir être utilisée sur les réseaux de diffusion existants. Cette technologie comprime spatialement les vues gauche et droite dans une seule image, mais a pour inconvénient de réduire de moitié leur résolution d'origine. Par ailleurs, une image « Frame Compatible » se présente comme deux images anamorphosées placées l'une à côté de l'autre, obligeant ainsi l'opérateur à diffuser la version 2D du même programme sur un canal séparé.

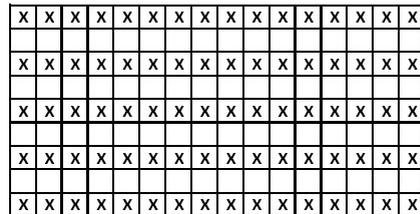
Le mode « Service Compatible » permet quant à lui de diffuser un seul et même signal à l'ensemble des récepteurs. Dans ce type d'approche, les télévisions 2D n'exploitent que la partie du signal dont ils ont besoin, mais les modèles 3Ds sont eux capables d'afficher les vues gauche et droite dans leur pleine définition.

Quelle que soit la méthode considérée, la diffusion d'un signal 3Ds nécessite une bande passante sensiblement supérieure à son équivalent monoscopique. Les modes « Frame Compatible » requièrent généralement entre 15% et 35% de débit supplémentaire, à cause de l'augmentation des hautes fréquences dans l'image qui sollicitent davantage les encodeurs.

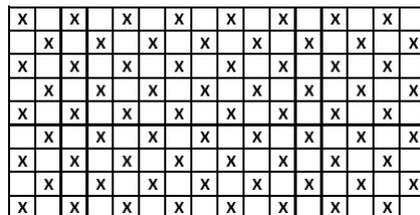
Les modes de distribution « Service Compatible » nécessitent quant à eux un débit encore supérieur, de l'ordre de 50% à 70% par rapport à la version 2D. D'un point de vue strictement technique, cette augmentation de débit reste avantageuse pour l'opérateur, puisqu'un seul canal suffit à diffuser les images 2D et 3Ds. Mais la nécessité d'une grammaire différente rend la compatibilité éditoriale délicate (axes de prise de vue, valeurs de plans, rythme du montage, etc.). De nouvelles méthodes de production restent donc à inventer pour optimiser les moyens techniques, tout en garantissant la qualité artistique des versions 2D et 3Ds d'un même programme.



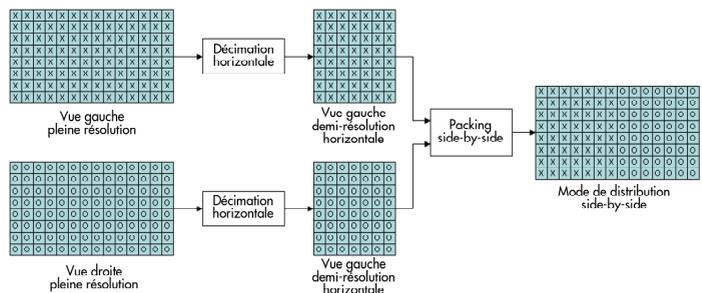
Décimation horizontale (un pixel sur deux est conservé sur chaque ligne)



Décimation verticale (un pixel sur deux est conservé sur chaque colonne)



Décimation en quinconce (échantillonnage en damier)



Décimation horizontale et formatage en Side-by-Side

Modes de distribution « Frame Compatible »

Le principe fondamental des modes « Frame Compatible » est de réduire de moitié la résolution des vues gauche et droite afin de les rassembler dans une seule et même image HD. Cette compression spatiale (anamorphose horizontale) génère un signal 2D qui pourra être traité et transmis par les équipements existants.

Au moment du décodage, chacune des deux vues sera désanamorphosée et affichée sur l'écran afin de recréer la sensation de relief.

Pour composer une image « Frame Compatible », il faut tout d'abord sélectionner les pixels à garder dans les vues gauche et droite d'origine. Cette étape s'appelle la « décimation » et il existe plusieurs manières de procéder : on peut choisir de ne garder qu'un pixel sur deux sur chaque ligne, sur chaque colonne ou bien en quinconce. De plus, la position des pixels retenus peut être identique pour les deux images, ou bien décalée (d'une ligne ou d'une colonne).

Une fois que l'on a choisi les pixels à conserver dans les deux vues, il faut déterminer la façon de les agencer au sein d'une seule et même image. C'est ce qu'on appelle le « packing » en anglais, et là encore, plusieurs solutions existent : Side-by-Side, Top-and-Bottom, Checkerboard, etc. Bien qu'il soit théoriquement possible de choisir un mode de décimation différent du packing, on constate généralement que ces deux étapes respectent une certaine logique.

Side-by-Side



Les vues gauche et droite sont anamorphosées et placées côte à côte. Cette méthode induit une perte de définition horizontale théorique de 50% par œil, mais le travail qu'effectue le cerveau

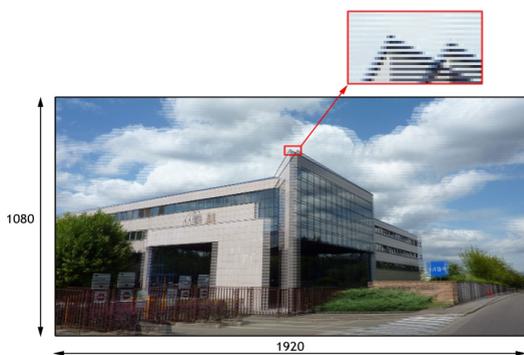
pour recréer la sensation de relief atténue généralement la perte de définition effective.

Top-and-Bottom



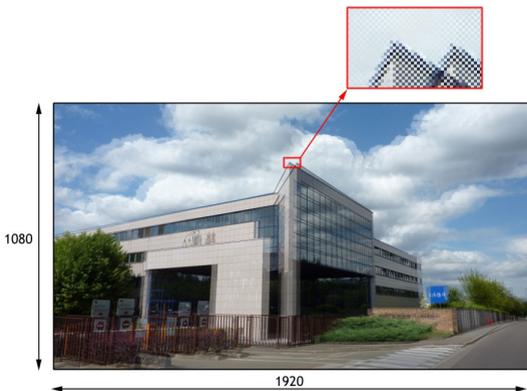
Les vues gauche et droite sont anamorphosées et placées l'une au-dessus de l'autre. Cette méthode induit une perte de définition verticale théorique de 50% par œil, mais tout comme pour le mode Side-by-Side, la gêne visuelle ressentie n'est pas forcément aussi importante pour le spectateur.

Line-by-Line



Dans ce système, les lignes issues d'un œil sont placées sur les lignes paires de l'image finale et celles issues de l'autre œil sur les lignes impaires. Le mode « Line-by-Line » n'est pas très adapté à la compression vidéo car sa structure sollicite davantage les encodeurs et supporte mal le sous-échantillonnage couleur (4:2:0).

Checkerboard



Chaque image source est échantillonnée selon une structure en damier et de manière complémentaire pour les deux vues. La perte de définition ressentie est moins importante qu'avec une décimation horizontale ou verticale.

Cependant, le mode « Checkerboard » n'est pas du tout adapté à la compression vidéo et ne sera quasiment jamais utilisé tel quel en diffusion. Par contre, une décimation en Checkerboard associée à un « packing » en Side-by-Side, se révèle être une méthode très efficace de compression spatiale (codec propriétaire Sensio par exemple).

Modes de distribution « Frame Compatible » + couche d'amélioration

Le principe est ici de transmettre une image « Frame Compatible » accompagnée d'informations supplémentaires permettant d'afficher les vues gauche et droite dans leur pleine résolution. Avec ce système, les décodeurs 3Ds de première génération traiteront les images relief en demi-résolution par oeil, tandis que les nouveaux décodeurs seront capables d'interpréter la couche d'amélioration et de reproduire la définition native des images d'origine.

La couche d'amélioration transporte en fait les informations spatiales non présentes dans la couche de base. Compte tenu de la forte corrélation entre ces deux flux de données, la couche d'amélioration se révèle être très légère (de l'ordre de 10% de la couche de base avec les encodeurs actuels). Cette approche n'a pas encore

été standardisée au niveau international, mais des sociétés telles que Dolby ou Sensio proposent d'ores et déjà des procédés propriétaires.

Modes de distribution « Service Compatible »

Les modes « Service Compatible » permettent de diffuser un même signal à destination des téléviseurs 2D et 3Ds. Cette approche permet aux opérateurs de ne pas avoir à gérer deux canaux séparés et garantit une visibilité maximale des programmes. Mais cette compatibilité avec les téléviseurs 2D se fait au prix d'une bande passante sensiblement plus élevée que pour les modes « Frame Compatible ». Les réseaux de distribution et les décodeurs devront également être modifiés afin de pouvoir prendre en charge les modes de distribution « Service Compatible », ce qui retardera certainement leur déploiement à grande échelle.

Diffusion simultanée des vues gauche et droite

(« Simulcast »)

La façon la plus simple de diffuser un contenu stéréoscopique est de transmettre deux signaux indépendants, mais synchronisés, un pour l'oeil gauche et un autre pour l'oeil droit. La bande passante totale est alors doublée par rapport à un contenu 2D, mais la résolution native de chaque vue est préservée. Les téléviseurs 2D ne décodent que l'une des deux vues, tandis que les téléviseurs 3Ds pourront afficher les programmes stéréoscopiques dans leur pleine définition. Au-delà des aspects de coût en bande passante que cette approche implique, les décodeurs actuels n'ont généralement pas toujours la puissance nécessaire pour le décodage simultané de deux flux HD. C'est la raison pour laquelle ce type de technologie est généralement réservé aux liaisons de contribution entre plusieurs prestataires et non à une diffusion vers l'utilisateur final.

Multiplexage temporel (« Time Multiplexing »)

Cette méthode multiplexe séquentiellement les deux vues dans un même flux, l'image destinée à l'oeil gauche étant suivie par celle de l'oeil droit, et ainsi de suite. La fréquence finale est donc doublée (1080/50 au lieu de 1080/25 par exemple), ce qui impacte directement le débit d'encodage. Une optimisation des encodeurs est envisagée



Figure 10 – Image 2D et carte de profondeur associée

ble afin de tirer parti de cette structure séquentielle, mais il est malgré tout difficile d'envisager des gains très importants à court terme.

2D plus différence (« 2D + Delta »)

Dans ce type d'approche, l'une des deux vues est considérée comme référence et est encodée de manière conventionnelle (en MPEG-2 ou H.264 par exemple). L'autre vue est quant à elle déduite de la première en ne conservant que les différences qui les séparent. La forte corrélation qui existe entre les deux images d'un couple stéréoscopique permet une réduction significative du volume de données à transmettre. Un décodeur 2D interprètera uniquement la vue de référence, tandis qu'un décodeur 3Ds pourra reconstituer le deuxième œil grâce aux informations de différence. Le téléviseur 3Ds sera alors en mesure d'afficher le contenu stéréoscopique dans sa pleine définition. Le signal de différence peut être compressé grâce à un codec vidéo traditionnel (cas du MPEG-4 Stereo High Profile) ou bien utiliser une autre forme de compression de données. On estime qu'un flux « 2D + Delta » nécessite une augmentation de débit comprise entre 40% et 80% par rapport à son équivalent monoscopique.

Multiview Video Coding (MVC) est un exemple de codec « 2D + Delta » standardisé par MPEG sous la forme d'un amendement à AVC/H.264.

MVC a été choisi pour encoder les contenus stéréoscopiques sur les disques Blu-ray 3D, permettant ainsi une compatibilité native avec les platines Blu-ray 2D, capables de décoder la vue gauche d'un flux MVC. La vue droite est, quant à elle, codée en calculant les différences (Delta) avec la vue de base, selon un algorithme particulier qui implémente à la fois des prédictions temporelles et des compensations de mouvement. Les informations de différence sont en-

suite insérées dans le flux vidéo en tant que métadonnées.

2D plus profondeur (« 2D + Depth »)

Ce mode de diffusion associe une image 2D conventionnelle à une carte de profondeur indiquant la position relative des objets grâce à un simple signal de luminance. Plus un pixel est clair dans la carte de profondeur, plus le pixel correspondant dans l'image 2D se situera en avant-plan. Plus il est sombre, plus le pixel correspondant sera en arrière-plan. Dans la pratique, il n'est pas nécessaire de coder la profondeur pixel par pixel. On estime qu'un signal « 2D + Depth » nécessite entre 20% et 60% de débit supplémentaire par rapport à un signal 2D HDTV.

La carte de profondeur (également appelée « Depth Map » ou « Z-Map ») sera exploitée au moment du décodage pour recréer le couple d'images stéréoscopiques. Les téléspectateurs disposant d'un décodeur traditionnel visualiseront la partie 2D du signal, tandis que ceux équipés d'un décodeur compatible pourront bénéficier du même programme en relief. Un autre avantage de cette approche est de permettre au spectateur de régler lui-même l'intensité du relief, réduisant ainsi les éventuels problèmes de fatigue visuelle. Par contre, les cartes de profondeur suffisamment précises sont encore difficiles à générer en temps réel, ce qui les rend peu adaptées aux émissions en direct.

MPEG-C part 3 standardise une implémentation « 2D + Z » en considérant la carte de profondeur comme vidéo auxiliaire et en la compressant avec les outils existants (H.264 par exemple). MPEG-C permet également l'implémentation de systèmes multi-vues auto-stéréoscopiques en codant plusieurs cartes de profondeur (une par point de vue). On parle dans ce cas de MVD (Multi-View Video + Depth).

Professionnels du **cinéma** et de l'**audiovisuel**, à vos côtés tout au long de la vie

- ▣ Retraite complémentaire
- ▣ Assurance de personnes : prévoyance et santé
- ▣ Action sociale et prévention
- ▣ Médical
- ▣ Services aux professions



pour +
d'infos :

0 811 65 50 50

Appel gratuit depuis un poste fixe

www.audiens.org

FORMATIONS CINEMA RELIEF



*Prises de vues
Tournage
Montage
Trucage
Réalisation
Production*

En partenariat avec

*Amak
Binocle 3D
Panasonic
Convergence 3D
Parallèl Cinema
Panavision
Alga Techno*

Renseignements & inscription au 01 48 18 28 38 et sur

www.cifap.com