

Inversement, lorsqu'il se rapproche, les formes apparaissent comprimées. On conseille alors de se placer au milieu de la salle de cinéma pour limiter les déformations.

Pour réaliser un contenu 3D de qualité, on doit donc connaître la taille de l'écran visé et la distance de visualisation moyenne, puis régler l'angle de convergence en conséquence; ensuite, il n'est plus nécessaire d'y toucher. Le seul paramètre qui doit rester réglable pendant le tournage est la distance interaxiale entre les caméras, grâce à laquelle on varie les effets de profondeur.

Malheureusement, ces règles techniques ne sont pas toujours respectées. Certains réalisateurs préfèrent par exemple adapter l'angle de convergence pour que les axes optiques des caméras se croisent au niveau du personnage, même si celui-ci se déplace vers le cameraman. Le spectateur voit donc un personnage qui grandit en taille, mais qui ne se rapproche pas, puisqu'il reste dans le plan de l'écran. Cela crée une confusion, parfois gênante, lors de l'analyse de la scène par le cerveau.

Plus généralement, un certain nombre de paramètres peuvent causer une fatigue visuelle, des maux de tête ou des nausées. Tout phénomène que le cerveau ne rencontre pas dans la vie courante risque de provoquer des gênes, par exemple en suscitant des conflits sensoriels (voir l'encadré page ci-contre).

Des troubles évitables

La crainte de ces désagréments freine le déploiement de la 3D. Cette crainte est parfois injustifiée, comme dans le cas du conflit entre l'accommodation (la déformation du cristallin pour que l'image soit nette) et la convergence (la rotation des yeux pour que leurs axes optiques se croisent sur l'objet): dans la vie courante, l'accommodation et la convergence ciblent le même plan, mais en stéréoscopie, nos yeux font l'accommodation dans le plan de l'écran et convergent sur les objets, qui peuvent apparaître devant ou derrière l'écran. Les muscles des yeux n'étant pas habitués

à cette gymnastique, on craint souvent que cela provoque une fatigue oculaire. En réalité, cette fatigue est négligeable pour un spectateur situé à plus d'un mètre de l'écran, cas du cinéma et de la télévision. En revanche, ce conflit peut être gênant sur des écrans portables, pour lesquels la distance de visualisation est de l'ordre de 10 à 40 centimètres; il faut alors limiter la profondeur des effets.

Même lorsque le risque de gêne est réel, les causes en sont assez facilement évitables ou corrigibles. Par exemple, si la scène à filmer comporte des objets brillants qui réfléchissent plus ou moins l'environnement (telle la mer, lors d'un coucher de soleil), des éclairs lumineux apparaissent parfois sur une vue, mais pas sur l'autre, ce qui peut être perturbant. On peut y remédier en partie en postproduction, mais il est préférable de surveiller ce paramètre en amont, au moment du tournage. En outre, on doit veiller au respect de la cohérence entre les indices de profondeur monoculaires et binoculaires.

LE TOURNAGE : DEUX CAMÉRAS POUR SIMULER LES DEUX YEUX

Pour enregistrer les vues qui seront projetées sur les deux yeux, on utilise deux caméras, séparées d'une distance dite interaxiale (a): plus elle est grande, et plus les effets de relief perçus seront importants. L'angle α entre les axes optiques des caméras est nommé angle de convergence. Il doit être égal à l'angle moyen entre les deux yeux lorsque leurs axes optiques se croisent dans le plan de l'écran (on doit donc connaître à l'avance la distance moyenne de visualisation prévue). Lors de la projection, les

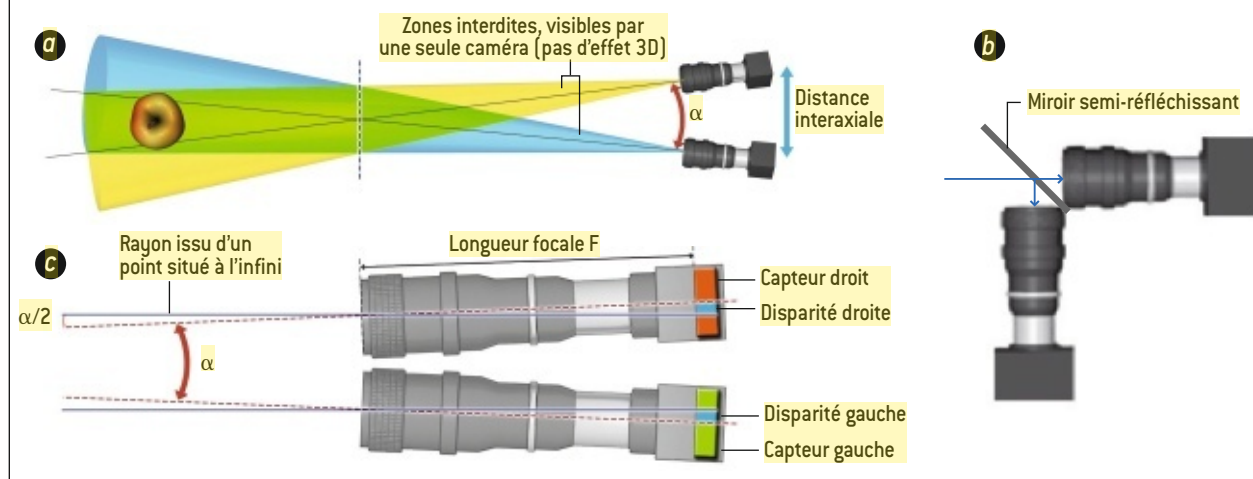
objets apparaîtront devant, sur ou derrière l'écran selon qu'ils sont respectivement situés devant, sur ou derrière l'intersection des axes optiques des caméras (ici, la pomme apparaîtra derrière l'écran).

La distance interaxiale va de quelques millimètres pour un gros plan à plusieurs dizaines de centimètres pour des scènes lointaines. Lorsqu'elle est faible, l'encombrement des caméras empêche leur juxtaposition. On se sert alors d'un système avec un miroir de séparation semi-réfléchissant (b): l'une des

caméras enregistre l'image qui traverse le miroir, tandis que l'autre filme celle qui est réfléchi; les deux vues distinctes sont obtenues en tournant ou en décalant les caméras. Si le miroir est déformé, un « flou différentiel » apparaît (les plans de focalisation différent et les deux images ne sont pas nettes aux mêmes endroits). Aussi produit par des différences d'ouverture et de longueur focale entre les caméras, ce phénomène peut susciter des gênes.

On parle de disparité quand un même point ne forme pas une

image au même endroit sur les capteurs des deux caméras (c). La disparité droite (ou gauche) est la distance en pixels de l'image du point au centre optique sur le capteur droit (ou gauche). La disparité totale est la différence des deux; elle est égale au nombre de pixels qui sépareront les images gauche et droite d'un même point sur l'écran lors de la projection. Pour un point situé à l'infini, la disparité ne dépend que de la longueur focale F de la caméra et de l'angle de convergence α .



Bruno Bourgeois

Les gênes résultent souvent de différences entre les images gauche et droite. Les systèmes optiques des deux caméras ne peuvent être rigoureusement identiques, d'où des déformations géométriques différentes d'une vue à l'autre; le phénomène est accentué par le zoom. Des hétérogénéités de couleur et de luminosité apparaissent également entre les deux images. En outre, les deux caméras doivent être parfaitement synchronisées, car un décalage supérieur à cinq millièmes de seconde entre les prises des vues droite et gauche peut susciter des nausées pour des objets en mouvement. Enfin, les deux images sont parfois floues à des endroits différents (voir l'encadré page ci-contre). Tous ces défauts peuvent et doivent être corrigés en postproduction.

Des individus plus ou moins sensibles

Nous avons vu que chaque individu est plus ou moins sensible aux effets stéréoscopiques. Certains sont gênés, d'autres pas. Des études ont montré que c'est le cas même quand toutes les règles de production et de projection sont respectées; les gênes dont sont victimes certains spectateurs sont alors considérées comme des symptômes de dysfonctionnement de leur système visuel, la 3D agissant comme un révélateur.

Une fois les images droite et gauche enregistrées, comment les oriente-t-on vers les yeux correspondants? Trois techniques principales existent au cinéma (voir l'encadré page suivante). Par ordre décroissant d'utilisation, on trouve: la projection d'images polarisées combinée à des lunettes passives (systèmes *RealD* et *Technicolor*); la projection d'images non polarisées combinée à des lunettes actives (systèmes *XpanD*, *Nuvision*, *Volfony*...); la projection d'images de spectres de couleur différents combinée à des lunettes passives (système *Dolby*).

Examinons ces techniques, qui utilisent presque toutes un projecteur numérique. Un tel projecteur se compose de lampes au xénon éclairant un ensemble de trois imageurs ou micro-écrans: chacun affiche les composantes de l'image associées à une couleur fondamentale (rouge, vert, bleu). Un système optique combine les images primaires ainsi formées et les projette via un objectif sur un écran de cinéma.

Le système *RealD*, fondé sur des images polarisées et des lunettes passives, équipe près de 80 pour cent des écrans de cinéma 3D de la planète. Les images gau-

Impact de la 3D sur l'art cinématographique

Filmer en 3D implique de respecter de nouvelles règles de prise de vue, ce qui demande au réalisateur un travail artistique différent par rapport à la 2D. Par exemple, les films d'action 2D abondent de scènes courtes et saccadées, ainsi que d'effets créés par des mouvements rapides de caméra. Ils sont à éviter en 3D. En effet, une succession de scènes courtes fait converger rapidement le regard du spectateur sur des objets situés à des profondeurs différentes, ce qui implique trop d'efforts visuels. Des mouvements de caméras rapides entraînent des conflits sensoriels entre les informations transmises au cerveau par les systèmes visuel et vestibulaire – celui de l'équilibre, incluant l'oreille interne. Cela suscite des

nausées similaires à celles d'un mal de mer.

Les zooms dynamiques sont également à proscrire. L'œil n'étant pas doté de cette fonction, il n'est pas équipé pour traiter les images issues d'un zoom, et divers désagréments en résultent: aplatissement des objets, fatigue... Il est préférable de remplacer les zooms par des translations lentes des caméras (*travelings*). Les fondus enchaînés et autres effets de transitions entre plans, difficiles à maîtriser, sont aussi à limiter. Les flous artistiques, inventés pour donner du relief à l'image, sont superflus, puisque l'information réelle de profondeur est disponible; en outre, le spectateur balaie davantage l'image du regard en 3D, et si certaines parties sont

floues, cela peut créer un sentiment désagréable.

Outre ces règles techniques, des paramètres plus subjectifs sont à prendre en compte. Il faut trouver le bon équilibre entre un niveau de relief suffisant pour satisfaire le spectateur (qui peut se sentir floué si les effets 3D sont trop « plats ») et des jaillissements trop forts ou trop fréquents, qui fatiguent la vision. Les émotions doivent être véhiculées d'une façon nouvelle, en ajoutant harmonieusement la profondeur au mouvement, à la couleur, aux dialogues et à la musique. Dès les phases préliminaires, le réalisateur et le stéréographe écrivent le scénario de profondeur en détail, un peu comme un musicien écrit la musique d'un film en fonction des émotions à susciter...

che et droite sont affichées alternativement, 48 ou 72 fois par seconde chacune selon les projecteurs. Devant l'objectif est placé un commutateur de polarisation, qui change la polarisation de la lumière en synchronisme parfait avec les images. Il comprend trois constituants: un filtre sélectionne d'abord les composantes de la lumière polarisées linéairement à 45 degrés; puis un commutateur préserve ou inverse cette polarisation; enfin, une lame quart d'onde transforme la polarisation linéaire en polarisation circulaire (gauche ou droite, selon que le champ d'entrée est polarisé à plus ou moins 45 degrés) en entraînant des retards de phase différents sur les composantes horizontale et verticale du champ.

À la sortie du commutateur de polarisation, les images gauche et droite sont respectivement dotées d'une polarisation circulaire gauche et droite. Elles sont ensuite projetées sur un écran argentique (recouvert d'une pellicule de sels d'argent), qui préserve la polarisation. Les « verres » gauche et droit des lunettes du spectateur (ils peuvent être en plastique) sont pourvus des filtres polarisants correspondants.

L'avantage principal de cette technique est le faible coût des lunettes, qu'on peut laisser au spectateur en fin de séance; il pourra les réutiliser au cinéma ou chez lui s'il dispose d'un téléviseur 3D approprié.

La 3D sans lunettes

✓ Des écrans 3D sans lunettes sont déjà utilisés pour de petits appareils, tels les téléphones portables. Un pixel sur deux affiche l'image droite (et l'autre la gauche), et une barrière, située un peu en avant du pixel, masque une des deux images à l'œil auquel elle n'est pas destinée. Les premiers téléviseurs 3D sans lunettes ont été commercialisés fin 2011 au Japon: ils sont fondés sur l'envoi directionnel de vues différentes, mais l'aiguillage y est réalisé par des réseaux de microlentilles.

