

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...

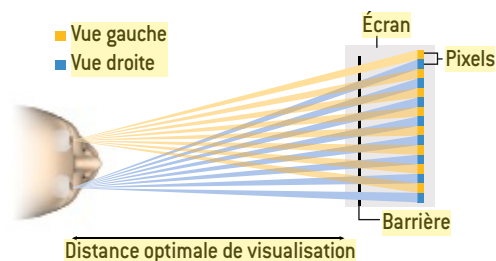
che et droite sont affichées alternativement, 48 ou 72 fois par seconde chacune selon les projecteurs. Devant l'objectif est placé un commutateur de polarisation, qui change la polarisation de la lumière en synchronisme parfait avec les images. Il comprend trois constituants: un filtre sélectionne d'abord 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.

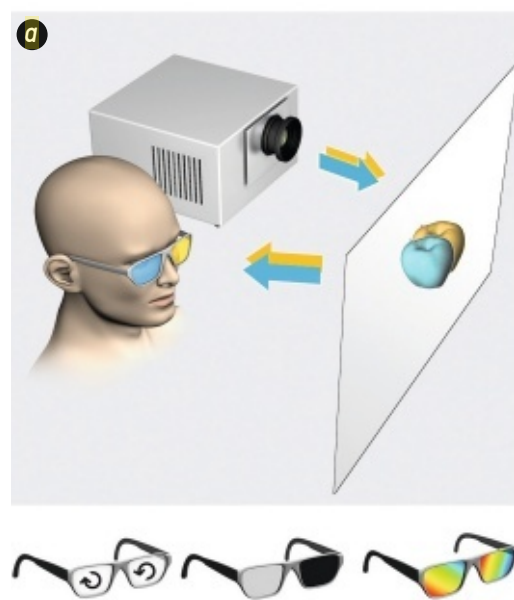


Lors de la projection, les vues droite et gauche doivent être orientées sur les yeux correspondants. Elles sont projetées alternativement au même endroit sur l'écran, et l'aiguillage se fait grâce à des lunettes (a). Aujourd'hui, trois types de lunettes existent (a, en bas) : de gauche à droite, les lunettes sont respectivement dotées de filtres polarisés (les vues droites et gauches doivent alors avoir la polarisation correspondante), d'obturateurs (lorsqu'une vue est projetée, le verre de l'œil auquel elle n'est pas destinée est obturé sur commande) et de filtres colorés (les images droite et gauche sont alors codées avec des longueurs d'onde différentes).

Un point donné apparaît au croisement des rayons lumineux qui vont de ses images droite et gauche aux yeux correspondants (b). Selon qu'ils se croisent devant, sur ou derrière le plan de l'écran (cas 1,2,3), le point apparaît aux positions correspondantes par rapport à ce plan. Plus les images droite et gauche du point sont

éloignées, plus l'effet de profondeur est important. Lorsque les rayons sont parallèles, le point apparaît situé à l'infini (cas 4). Les yeux droit et gauche se tournant respectivement vers les images droite et gauche du point, celles-ci ne doivent pas être trop écartées, sinon les yeux devraient diverger (cas 5). L'écart maximal correspond à la distance interoculaire moyenne d'un adulte, de l'ordre de 65 millimètres.

Il existe une distance de visualisation optimale, pour laquelle les objets sont perçus aux bonnes proportions. En deçà, ils semblent comprimés et au-delà, ils paraissent allongés : ainsi, plus on s'éloigne, plus la distance AB paraît longue (c). On parle d'effet Pinocchio. Le paramètre clé est le rapport entre la distance à l'écran et la largeur de celui-ci (égal au rapport entre la longueur focale de la caméra et la largeur du capteur). Au cinéma, où l'écran est large, ce rapport change peu, de sorte que l'effet Pinocchio est faible pour un déplacement de quelques rangées dans la salle.



L'inconvénient principal est l'obligation pour le propriétaire de la salle de remplacer son écran blanc standard par un écran argentique. Outre son coût élevé, ce type d'écran n'affiche pas la même luminosité selon le point de l'écran (les rebords sont plus sombres que le centre) et l'endroit de la salle d'où il est vu.

Les images peuvent aussi être polarisées par une technique alternative, développée par l'entreprise Technicolor. Cette technique, fondée sur un projecteur classique, épargne l'achat d'un projecteur numérique. Sur la pellicule, les images gauche et droite sont juxtaposées verticalement sur l'espace usuellement réservé à une seule image ; elles sont comprimées pour tenir dans l'espace disponible. On remplace alors l'objectif de projection classique par un double objectif, incorporant des éléments qui dotent les images gauche et droite de polarisations circulaires différentes ; elles sont ensuite projetées au même endroit sur l'écran.

Le deuxième procédé très utilisé, notamment en France, exploite des lunettes actives : chaque verre de lunettes est constitué d'un écran à cristaux liquides, qui peut être rendu opaque ou transparent sur commande. Les images droite et gauche sont envoyées alternativement sur l'écran, mais elles ne sont pas polarisées. Pour que chaque œil voit la bonne image, un émetteur infrarouge ou radio envoie des impulsions invisibles aux lunettes, afin de com-

mander l'obturation d'un des verres. Grâce à la rapidité des commutations, l'utilisateur ne perçoit pas de papillotement.

À l'inverse du précédent, ce procédé fonctionne avec un écran blanc standard. Celui-ci peut donc servir aussi bien pour des films 2D que pour des films 3D, sans que la luminosité perçue dans la salle ne soit hétérogène. En revanche, les lunettes actives présentent plusieurs inconvénients : coût élevé, nécessité de les récupérer en fin de séance et de s'assurer que les piles ou les batteries sont chargées... En outre, elles sont plus lourdes et moins confortables que les lunettes passives. C'est pourquoi certains cinémas, qui avaient d'abord opté pour les lunettes actives, y ont renoncé.

On a alors mis au point un système combinant les avantages des précédents, et évitant leurs inconvénients. Ce système, dit multispectral, est fondé sur le principe de métamérisme, selon lequel on peut créer une même couleur apparente pour l'œil humain à partir de différents spectres lumineux, autrement dit par des mélanges de couleurs différents. Ainsi, les images gauche et droite sont décomposées en composantes primaires distinctes : les images gauches, par exemple, sont toujours obtenues avec le même jeu de longueurs d'onde, dont on module les amplitudes pour créer les images gauches successives. Les lunettes sont passives, composées de deux filtres colorés différents. Le verre d'un œil ne laisse alors passer que les

longueurs d'onde avec lesquelles l'image destinée à cet œil est codée.

Ce système est le moins répandu, sans doute parce qu'il nécessite un changement coûteux de projecteur numérique. C'est pourtant le seul qui utilise à la fois un écran blanc et des lunettes passives. Les lunettes sont confortables et meilleur marché que des lunettes actives, mais, du fait de leurs filtres colorés très sélectifs et élaborés, elles sont plus chères que celles des systèmes RealD et Technicolor.

Tous ces systèmes réduisent notablement la luminosité des images par rapport à un projecteur 2D. En moyenne, les images semblent environ cinq fois moins lumineuses que des images bidimensionnelles. En outre, il arrive qu'une fraction de l'image dédiée à l'œil droit se retrouve sur l'œil gauche et réciproquement, pour diverses raisons : polariseurs imparfaits pour les lunettes passives, temps de commutation trop lent pour les lunettes actives... Un double fantomatique se superpose alors à l'image perçue ; on parle de *ghosting*.

L'arrivée de la télé 3D

Outre les cinémas, la 3D conquiert peu à peu les foyers. En 2011, 24 millions de téléviseurs 3D ont été vendus dans le monde, soit 11 pour cent du total. Cependant, plusieurs défis restent à relever.

Aujourd'hui, la plupart des téléviseurs 3D fonctionnent avec des lunettes actives,