

Le plan de convergence est un plan qui passe par l'intersection des axes optiques des deux caméras. Les objets situés devant, dans et derrière ce plan seront respectivement visualisés devant le plan de l'écran, dans le plan ou derrière.

La longueur focale F (la distance entre l'objectif et l'image d'un point situé « à l'infini », c'est-à-dire en pratique éloigné d'au moins quelques dizaines de mètres des caméras) doit être aussi identique que possible pour les deux objectifs. Les rayons lumineux issus d'un même point ne frappent pas les capteurs des deux caméras au même endroit, et la différence de position dépend de la longueur focale et de l'angle de convergence α (l'angle entre les axes optiques des caméras). Cette différence, exprimée en pixels, est égale à la distance qui sépare les images gauche et droite d'un point sur l'écran lors de la projection. Si elle est trop importante, les yeux devraient diverger pour fixer les deux images, ce qui est impossible (pour la plupart d'entre nous !) : cet effet, dit de divergence, peut entraîner une fatigue visuelle, voire

la perception d'un dédoublement du fond de l'image dans les cas extrêmes.

Dès lors, on ajuste la longueur focale et l'angle de convergence en fonction de la taille maximale de l'écran visé. En effet, cette taille détermine la distance entre les pixels pour une image de résolution donnée (ayant par exemple 2048 pixels par ligne, un format classique), et donc le nombre de pixels d'écart autorisé entre les images droite et gauche d'un point. C'est une des différences clés avec un tournage 2D, puisqu'on doit connaître à l'avance la dimension maximale de l'écran pour lequel le contenu est prévu (écran de parc d'attraction, de cinéma, de téléviseur...) et s'adapter en conséquence.

La transformation d'un film prévu pour le cinéma en une version télévisuelle ne pose pas de problème de divergence puisque la distance entre les pixels, et donc entre les images gauche et droite d'un point, est plus petite sur un téléviseur ; l'inconvénient est que l'effet 3D sera moins saisissant. L'inverse n'est pas vrai : un contenu prévu pour la télévision, telle la retransmission 3D d'une rencontre sportive, néces-

site un traitement de postproduction important pour être projeté au cinéma.

Des problèmes de conversion se posent aussi avec les produits nomades, tels les caméscopes, les téléphones et les tablettes numériques : ces produits commencent à être équipés de doubles caméras, permettant à l'utilisateur de produire son propre contenu 3D. Or un contenu agréable à regarder sur une tablette risque d'entraîner des fatigues visuelles sur un écran de 50 pouces. On fournit donc des outils d'aide au tournage, afin d'apprendre au public à s'adapter au type d'écran visé.

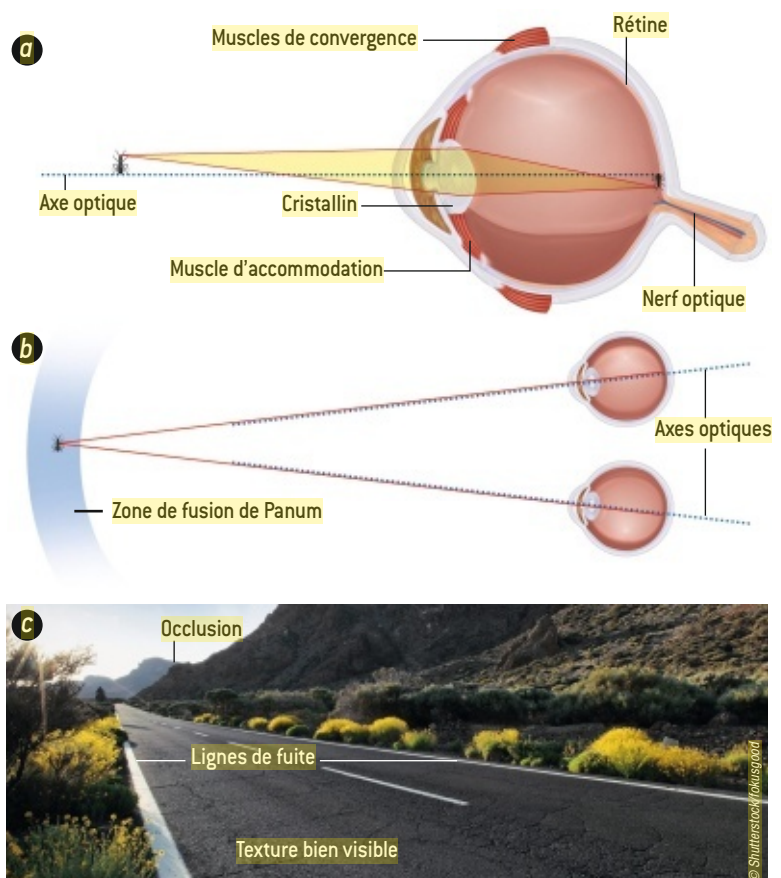
Lors du tournage et de la projection, on prête également attention aux proportions des objets. Pour un réglage de caméra donné, il existe une distance optimale à l'écran, pour laquelle les volumes sont respectés : à cette distance, l'angle moyen entre les deux yeux lorsque leurs axes optiques se croisent dans le plan de l'écran est égal à l'angle de convergence des caméras. Quand le spectateur s'éloigne de l'écran, il observe un allongement des objets et des visages ; on parle d'effet Pinocchio.

VOIR EN RELIEF : LES INDICES DE PROFONDEUR

Pour élaborer une représentation en relief, le cerveau analyse le degré de recouvrement des images légèrement différentes transmises par l'œil droit et l'œil gauche. Lorsqu'on fixe un objet, les yeux effectuent des réglages nommés accommodation et convergence. L'accommodation est une déformation du cristallin (en fonction de la distance de l'objet), permettant aux rayons lumineux issus de l'objet d'être focalisés sur la rétine (a). Sans cela, l'image est floue. Lors de la convergence, les deux globes oculaires se tournent vers l'objet, afin que leurs axes optiques se croisent dans le plan de l'objet (b).

Pour estimer l'éloignement de l'objet, le cerveau utilise les différences de localisation entre les images d'un même point sur les deux rétines, ainsi que les informations issues des muscles d'accommodation et de convergence. Autour de l'objet se trouve une zone dite de fusion de Panum : pour les éléments situés dans cette zone, le cerveau fusionne les images issues des deux yeux ; en dehors, le spectateur voit double. On parle de diplopie. Ainsi, quand on regarde au loin et qu'on rapproche un doigt de son visage, il se dédouble, car il sort de la zone de fusion de Panum.

Pour apprécier la profondeur d'une scène, le cerveau se fonde aussi sur les indices dits monoculaires (c), telles les lignes de fuite, les occlusions (un élément partiellement masqué par un autre, telle la montagne du fond, est situé derrière lui), les tailles relatives (les massifs de fleurs les plus éloignés apparaissent les plus petits) et les textures (plus elles sont visibles, plus l'objet est proche).



Bruno Bourgeois

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

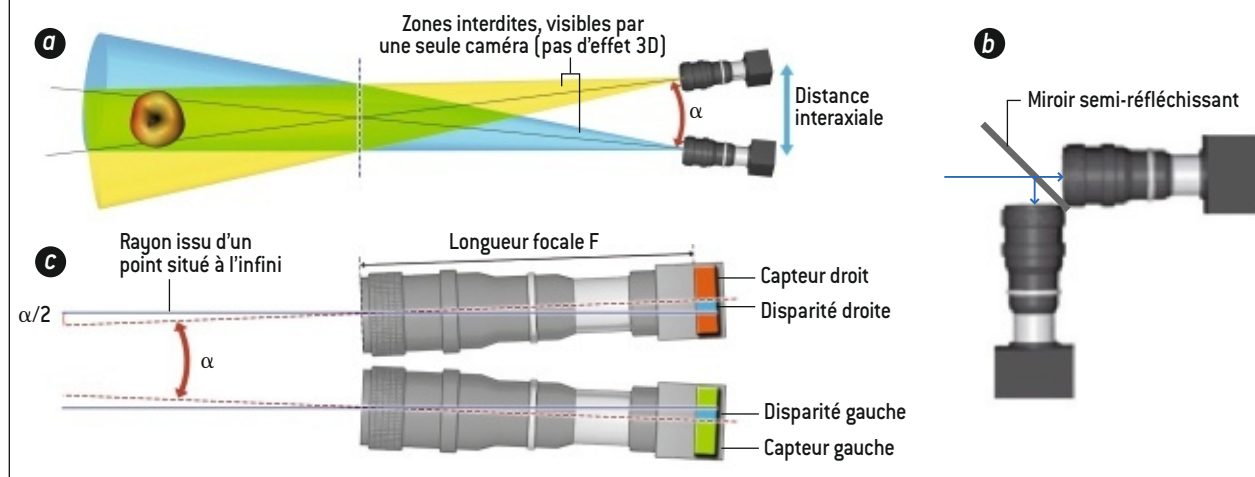
objets apparaîtront devant, sur ou derrière l'écran selon qu'ils sont respectivement situés devant, sur ou derrière l'intersection des axes optiques des caméras (ici, la pomme apparaîtra derrière l'écran).

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