



Ophthalmologie

La stéréoscopie sur le devant de la scène

Rev Med Suisse 2012; 8: 100-3

P.-F. Kaeser
G. Klainguti

Drs Pierre-François Kaeser et
Georges Klainguti
Unité de strabologie
Hôpital ophtalmique Jules-Gonin
Avenue de France 15
1000 Lausanne 7
pierre-francois.kaeser@fa2.ch

Stereopsis: back in the spotlight

Stereopsis was brought to the fore by its stunning development in a virtual element, in movies or game devices. The mechanisms used to produce 3D artificially are very similar to those involved in natural depth perception. They include binocular stereopsis, generated by the simultaneous perception of two images with a slight horizontal shift, together with the interpretation of monocular clues (perspective, distribution of light and shadow,...). Because virtual 3D uses the same mechanisms as natural perception, there is no reason to believe that 3D movies might be dangerous for the eyes.

La vision stéréoscopique a été remise sur le devant de la scène par le développement de son utilisation virtuelle, au cinéma ou sur les consoles de jeux. Les mécanismes utilisés pour générer artificiellement une impression 3D sont très similaires à ceux mis en jeu lors de la perception naturelle du relief. Ils comprennent la stéréoscopie vraie, binoculaire, générée par la perception simultanée de deux images légèrement décalées horizontalement, ainsi que l'interprétation des indicateurs de profondeur des images (perspectives, distribution des ombres et lumières,...). Il n'y a pas de raison de penser que les films 3D puissent être dangereux pour la vision, puisque la 3D virtuelle utilise les mêmes mécanismes que la perception naturelle.

INTRODUCTION

Le récent essor des films 3D au cinéma, ainsi que le développement des téléviseurs et des consoles de jeux 3D, ont remis sur le devant de la scène le degré le plus élevé de la vision binoculaire: la stéréopsie.

Afin de comprendre les mécanismes utilisés pour reproduire artificiellement le sentiment de relief à partir d'une image plane, il est nécessaire de connaître le fonctionnement de la vision stéréoscopique physiologique.

VISION STÉRÉOSCOPIQUE PHYSIOLOGIQUE

La perception naturelle du relief repose sur deux mécanismes: la perception simultanée des objets par les deux yeux, et l'interprétation de l'image.

La *perception binoculaire du relief* (stéréopsie) est possible grâce à la juxtaposition des yeux dans un même plan frontal. L'écart moyen de 6,5 cm entre les deux yeux implique que chaque œil observe le même objet sous un angle différent, et transmet au cerveau des images décalées horizontalement (figure 1). La sensation tridimensionnelle est élaborée par le cortex visuel (principalement V1, V2 et V3) en fusionnant ces images décalées.^{1,2} Plus la disparité horizontale est grande, plus l'impression de relief est importante, alors qu'un décalage vertical ne produit pas d'effet stéréoscopique.²

La stéréopsie se développe très tôt, principalement du troisième au sixième mois de vie, et nécessite une bonne vision de chaque œil, relativement symétrique, ainsi qu'un alignement des yeux.^{3,4} Il existe une *période critique* de développement, dont la durée exacte n'est pas encore élucidée, après laquelle la vision stéréoscopique ne peut plus s'installer.² Plus tard, la stéréopsie est perdue en cas d'apparition d'un strabisme ou d'une baisse d'acuité visuelle importante, par exemple: secondairement à une cataracte avancée ou à une dégénérescence maculaire liée à l'âge. Entre 5 et 10% de la population ne bénéficie pas de vision stéréoscopique.

La perception du relief basée sur l'interprétation des images est déjà possible en condition *monoculaire*. Elle exploite la distribution des ombres et des lumières,

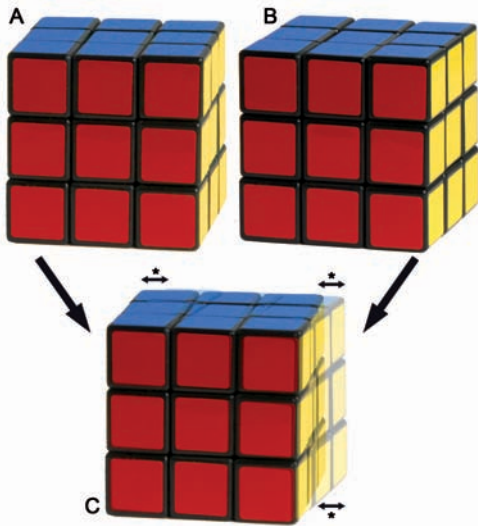


Figure 1. Principe de la stéréopsie

Parce qu'ils sont juxtaposés, les yeux voient les objets sous un angle légèrement différent (cube vu par l'œil gauche (A) et par l'œil droit (B)), et les images perçues sont donc légèrement décalées horizontalement. La perception du relief résulte de la fusion cérébrale de la disparité horizontale (C*).

l'ordre des objets, la superposition des contours, les perspectives linéaires, la taille des objets connus, que l'on sait diminuer avec la distance, la couleur des objets connus, plus sombres à mesure qu'ils s'éloignent, ainsi que la vitesse de défilement des objets, qui est inversement proportionnelle à leur distance.²

La perception binoculaire et l'interprétation des images interviennent simultanément, et se potentialisent pour créer l'impression tridimensionnelle.

COMMENT EXAMINE-T-ON LA VISION STÉRÉOSCOPIQUE ?

L'examen de la vision stéréoscopique est important pour évaluer la qualité de la vision binoculaire, et pour déterminer les objectifs puis les résultats de la chirurgie du strabisme.

La vision stéréoscopique est quantifiée en termes d'*acuité stéréoscopique*, qui correspond à la disparité horizontale minimale nécessaire pour produire un effet stéréoscopique. Une stéréoacuité de 15 à 30 secondes d'arc est considérée comme excellente. La stéréoacuité ne dépend pas linéairement de l'acuité visuelle: elle ne diminue qu'en dessous de 30% d'acuité visuelle, et une perception stéréoscopique est encore possible jusqu'à 10%.⁵ Un test stéréoscopique à points aléatoires comme le stéréotest de Lang n'est donc pas un instrument de dépistage d'une acuité visuelle basse ou asymétrique.^{6,7}

Le test de stéréoacuité le plus simple est la *coïncidence des deux crayons*: le sujet doit poser l'extrémité d'un crayon qu'il tient verticalement sur un autre crayon tenu verticalement par l'examineur.⁸ Une performance binoculaire meilleure que monoculaire indique une collaboration bi-

noculaire minimale. Ce test a un seuil de disparité estimé entre 3000 et 5000 secondes d'arc.⁹

Les tests stéréoscopiques doivent comprendre deux types d'images: des éléments de référence identiques vus simultanément par les deux yeux, et des éléments disparates, décalés horizontalement, qui doivent être perçus séparément par chaque œil afin que leur fusion cérébrale permette l'élaboration d'une image tridimensionnelle. Plusieurs méthodes de séparation des images destinées à chaque œil sont utilisées. Les tests stéréoscopiques les plus fréquents en pratique clinique sont présentés ci-dessous.

Tests polarisés à contours disparates

Test de Titmus

Le test utilise des filtres polarisés pour séparer les images destinées à chaque œil. La plus grosse image, une mouche, teste la vision stéréoscopique grossière, à un seuil de 3000" (secondes d'arc). Les enfants réagissent souvent à cette image en tentant de saisir les ailes de la mouche, qui apparaissent en relief. Les autres images ont des seuils progressivement dégressifs, de 800" à 40". La fiabilité du test de Titmus est limitée par le fait qu'il existe des indices monoculaires permettant de donner une réponse correcte sans voir l'image en relief.¹⁰

Tests à points aléatoires

Stéréotest de Lang (figure 2).¹¹

Le test se présente comme une multitude de points, perçus comme distribués de manière aléatoire lorsqu'ils sont observés de façon monoculaire. Il ne fournit aucun indice permettant d'identifier une image avec un seul œil ouvert.

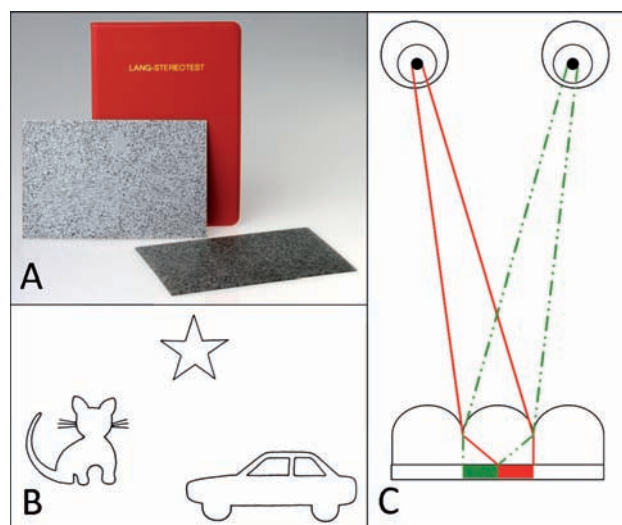


Figure 2. Stéréotest de Lang

(A) Avec un seul œil, on ne perçoit qu'une multitude de points disposés aléatoirement sur le test de Lang I, alors qu'une étoile est visible sur le test de Lang II (A). Si l'on possède une vision stéréoscopique, trois dessins (B) apparaissent en relief lorsqu'on observe les tests avec les deux yeux. Pour produire un effet stéréoscopique, les points formant les trois dessins sont imprimés différemment pour chaque œil, avec un décalage horizontal. Les images destinées à chaque œil sont séparées par des prismes hémicylindriques à la surface du test (C). (Adaptée de réf.¹¹).



Les points disparates destinés à chaque œil, dont la fusion permet de percevoir une image en relief, sont séparés par des prismes hémicylindriques disposés à la surface du test. Des lunettes spéciales ne sont dès lors pas nécessaires, ce qui est un avantage majeur pour l'examen des enfants. Les seuils de stéréoaucuité varient selon les images (*stéréotest de Lang I*: 1200", 600" et 550"; *stéréotest de Lang II*: 600", 400" et 200", ainsi qu'une image visible sans vision stéréoscopique). Afin d'éviter la localisation d'une image sans vision stéréoscopique, il est indispensable de présenter le test à 40 cm, de façon tout à fait immobile, et de ne pas le confier au sujet examiné.

Test TNO

Le principe de ce test est similaire à celui du test de Lang, mais il utilise des lunettes rouge-vert pour séparer les images. Les seuils examinés vont de 480" à quinze secondes d'arc.

QU'ATTENDRE DE LA CHIRURGIE DU STRABISME DU POINT DE VUE DE LA STÉRÉOPSIE?

Puisque la stéréopsie se développe très précocement et uniquement lorsque les conditions d'acuité visuelle suffisante et de parallélisme oculaire sont réunies, les patients avec un strabisme précoce n'ont pas de vision stéréoscopique. Ils ne pourront donc pas la développer malgré un réaligement chirurgical parfait de leurs yeux.¹² Une intervention oculomotrice peut toutefois permettre un degré minimal de collaboration binoculaire, l'*union binoculaire*. La restauration d'une union binoculaire permet non seulement d'améliorer les performances visuelles (acuité visuelle binoculaire, réalisation du test de coïncidence des crayons) mais réduit aussi significativement les troubles asthénopiques (la *fatigue visuelle*), fréquents chez les strabiques. Une intervention oculomotrice ne poursuit jamais un but exclusivement esthétique, même en cas de strabisme congénital. La situation est différente pour les patients avec un strabisme tardif. Un réaligement chirurgical des yeux leur permet le plus souvent de retrouver la vision stéréoscopique normale présente avant l'apparition du strabisme.

PERCEPTION STÉRÉOSCOPIQUE (3D) «VIRTUELLE»

La création artificielle d'une impression de relief à partir d'une image plane utilise les mécanismes binoculaires et monoculaires physiologiques.

Afin de reproduire artificiellement la disparité horizontale nécessaire pour générer une impression tridimensionnelle stéréoscopique, l'acquisition des images destinées à chaque œil doit se faire séparément, avec deux caméras juxtaposées, et la séparation doit être maintenue jusqu'à la présentation des images à chaque œil (figure 3). Divers systèmes de séparation peuvent être utilisés, par exemple: des lunettes à verres polarisés (*lunettes passives*), ou des filtres à cristaux liquides qui occultent en alternance à très haute fréquence chacun des yeux de façon synchronisée à la projection alternée des images sur l'écran (*lunettes*

actives). Les images peuvent également être séparées par des méthodes «autostéréoscopiques», avec un filtre situé sur la surface de l'écran (par exemple des prismes hémicylindriques, comme dans le stéréotest de Lang décrit plus haut) et non des lunettes spéciales.

Quel que soit le procédé stéréoscopique, la perception tridimensionnelle nécessite une bonne vision de chaque œil, relativement symétrique, ainsi qu'un alignement des yeux.

En plus de la stéréoscopie, l'interprétation du relief des images est artificiellement altérée par l'amplification des indices monoculaires. Les différences de taille des objets sont amplifiées, de même que les perspectives. Certains plans sont flous, afin d'augmenter l'impression de profondeur, en exagérant l'effet de l'accommodation naturelle. L'exagération de l'ensemble de ces éléments augmente l'impression de relief créé par la stéréoscopie artificielle.

LES DIFFÉRENCES ENTRE 3D PHYSIOLOGIQUE ET VIRTUELLE

Les mécanismes de la perception tridimensionnelle naturelle et virtuelle sont globalement semblables, bien que tous les mécanismes soient artificiellement exagérés afin d'amplifier et de rendre plus sensible l'impression de relief: la distance entre les deux caméras acquérant les images est supérieure à l'écart entre les yeux, ce qui augmente la disparité angulaire et accroît l'impression de relief, créant une «hyperstéréoscopie». Les mécanismes stéréoscopiques binoculaires, qui n'interviennent normalement que jusqu'à moyenne distance, sont parfois également exploités artificiellement pour les images de loin. Tous les indices monoculaires sont amplifiés, augmentant encore l'impression de profondeur.

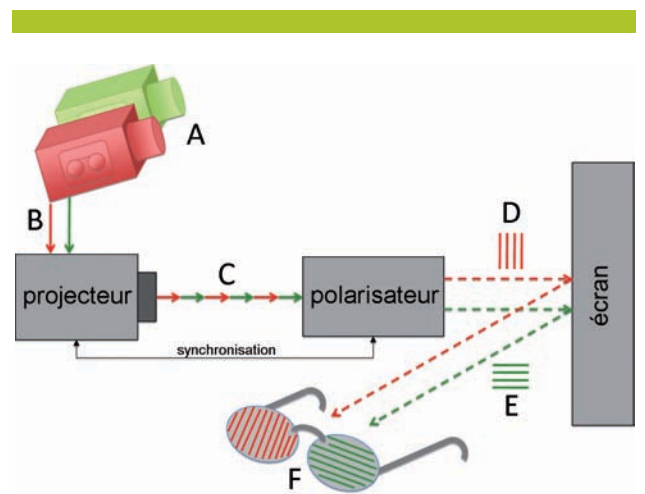


Figure 3. Principe du cinéma 3D

Les images sont acquises par deux caméras juxtaposées (A), qui reproduisent chacune la vision d'un œil. Les images de chaque caméra doivent rester séparées jusqu'à la projection (B). Elles sont projetées en alternance, à très haute fréquence afin d'éviter un aspect saccadé (C). Les images sont polarisées différemment (D,E) afin de n'être perçues que par l'œil auquel elles sont destinées grâce à des lunettes dont la polarisation correspond à celle des images projetées (F).



LA 3D VIRTUELLE EST-ELLE DANGEREUSE ?

La question du danger de la 3D virtuelle a alimenté de nombreux débats, en particulier après qu'un fabricant de consoles de jeux 3D ait mis en vente un appareil avec un avertissement déconseillant son utilisation chez les enfants de moins de six ans.

Comme exposé plus haut, la vision stéréoscopique se développe très tôt dans la vie, principalement entre le troisième et le sixième mois, puis se consolide au cours des deux à trois premières années. Les stimulations plus tardives interviennent donc sur un système déjà développé. La 3D virtuelle, comme la 3D naturelle, est basée sur l'intégration par le cerveau d'images légèrement décalées horizontalement. *Il n'existe aucune théorie convaincante pour expliquer un éventuel dommage visuel lors du visionnement d'images 3D virtuelles.*¹³ Par contre, le visionnement d'images 3D peut fréquemment causer une gêne visuelle transitoire liée à l'importante attention exigée, et au décalage exagéré entre les images. Il s'agit le plus souvent d'une fatigue oculaire, d'un larmoiement, d'une sensation que les yeux «tirent», ou de céphalées. Le décalage horizontal plus marqué en 3D virtuel sollicite considérablement la fusion centrale, qui peut parfois être dépassée, interrompant alors l'impression de relief.

CONCLUSION

Il est nécessaire de bénéficier d'une bonne vue de chaque œil et d'un bon alignement oculaire pour apprécier le

relief des images 3D virtuelles. La technologie 3D pourrait jouer un rôle de dépistage visuel grand public. Les personnes qui ne perçoivent pas les films ou images en trois dimensions devraient consulter un ophtalmologue afin d'exclure la présence d'un vice de réfraction, d'une amblyopie, ou d'un strabisme éventuellement curables. ■

Implications pratiques

- > La vision stéréoscopique est le degré le plus élevé de la vision binoculaire. La détermination de sa qualité est un facteur important à considérer lors d'interventions oculomotrices
- > Les tests stéréoscopiques ne permettent pas à eux seuls de dépister une acuité visuelle basse ou asymétrique
- > La 3D virtuelle utilise les mêmes mécanismes que la 3D physiologique, de manière artificielle et volontairement exagérée
- > Il n'y a aucune théorie convaincante pour étayer un risque de dommage visuel lié au visionnement d'images 3D. Le visionnement 3D peut révéler une pathologie visuelle, non la générer. Toute personne qui réalise qu'elle ne perçoit pas le relief devrait consulter un ophtalmologue

Bibliographie

- 1 Wesheimer G. The third dimension in the primary visual cortex. *J Physiol* 2009;587:2807-16.
- 2 ** von Noorden GK, Campos EC. Binocular vision and ocular motility: Theory and management of strabismus. 6th ed. St. Louis: Mosby, 2002.
- 3 Held R. What can rates of development tell us about underlying mechanisms? In Granud C, ed: Visual perception and cognition in infancy. Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1993.
- 4 Birch EE. Stereopsis in infants and its developmental relation to visual acuity. In Simons K, ed: Early visual development, normal and abnormal. New York: Oxford University Press, 1993.
- 5 Matsubayashi A. Visual space perception. In Graham CH, ed: Vision and visual perception. New York: John Wiley & Sons, 1965.
- 6 Avilla C, von Noorden GK. Limitation of the TNO random dot stereo test for visual screening. *Am Orthopt J* 1981;31:87.
- 7 Marsh WR, Rawlings SC, Mumma JV. Evaluation of clinical stereoacuity tests. *Ophthalmology* 1980;87:1265.
- 8 Lang J. Der Treffversuch zur Prüfung des stereoskopischen Sehens. *Klein Monatsbl Augenheilkd* 1974; 165:895.
- 9 LaRoche R, von Noorden GK. Theoretical and practical evaluation of a simple stereotest. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1982;22:266.
- 10 Simons K, Reinecke RD. A reconsideration of amblyopia screening and stereopsis. *Am J Ophthalmol* 1974;78:707.
- 11 ** Lang J. A new stereotest. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 1983;20:72-4.
- 12 Klainguti G, Lise-Schneider B, Bremart-Strickler J. Early onset operated before the age of 24 months: Long-term results of Cüpper's retropexy combined with simultaneous recession of both medial recti. *Klin Nonbl Augenheilkd* 2007;224:260-4.
- 13 Statement by the American academy of ophthalmology regarding children's vision and eye health and 3-D digital products, January 18, 2010. www.aao.org/newsroom/release/20110118.cfm

* à lire

** à lire absolument