

## **Étude sur la Stéréoscopie (Tous droits réservés)**

*Notre éminent collègue, M. L. Pigeon, Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon, a bien voulu nous autoriser à reproduire l'intéressante Etude qui suit, d'après les Annales d'Oculistique qui l'ont publiée récemment. Nous sommes convaincus que les lecteurs du Bulletin liront avec le plus grand profit le magistral travail qui a amené l'auteur à l'invention du Stéréoscope dièdre à grand champ à miroir bissecteur, que M. Lihou a présenté à l'une de nos séances mensuelles <sup>(1)</sup>.*

*Nous adressons ici nos sincères remerciements à M. le docteur Morax, Rédacteur en chef des Annales d'Oculistique, et à M. O. Doin, l'éditeur, qui ont, avec la plus grande amabilité, mis à notre disposition les clichés illustrant l'Etude sur la Stéréoscopie de notre savant collègue.*

La stéréoscopie est, comme l'on sait, le moyen graphique le plus parfait qui existe pour donner la représentation fidèle des objets qui nous environnent.

L'utilité et le charme de cette méthode, établis d'abord par les recherches de Wheatstone, qui l'a créée en 1838, n'ont été appréciés du public qu'en 1851. Treize années s'écoulèrent donc avant que le public ne prit goût à cette importante découverte. Divers motifs ont déterminé ce retard.

On doit remarquer d'abord qu'au début de la stéréoscopie, des figures géométriques dessinées au trait, ou ombrées d'une façon sommaire, étaient seules examinées dans l'appareil de Wheatstone. La photographie, en effet, n'était pas encore connue du public, le daguerréotype ayant été décrit pour la première fois à l'Académie des Sciences à la date mémorable du 19 août 1839.

Les épreuves daguerriennes, incomparablement plus parfaites que les meilleurs dessins, pour les lignes et pour les ombres, devaient produire l'illusion de la réalité bien mieux que les figures géométriques dessinées au début. Plus tard encore, la méthode devait recevoir de la photographie le plus utile secours, lorsque la découverte des clichés négatifs sur papier, puis sur verre, eut permis, après une pose unique, de multiplier les épreuves.

Ces conditions favorables une fois réunies, la méthode nouvelle restait encore inconnue du public. - C'est que le stéréoscope à deux miroirs, construit par Wheatstone, était, comme on le verra plus loin, de dimensions trop grandes et d'un maniement trop délicat pour qu'il pût devenir un appareil usuel. - De grandes épreuves, nécessaires pour l'appareil, étaient alors bien trop chères pour qu'on pût les employer couramment et les mettre dans le commerce. Les tirages photographiques étaient alors lents et chers ; les procédés de la gravure photographique n'existaient pas encore ou tout au moins n'étaient pas sortis de la longue période de leurs essais.

Brewster, en décrivant, quelques années plus tard, le stéréoscope lenticulaire, étudié par lui depuis 1844, donnait au problème une solution beaucoup plus pratique, le nouvel appareil faisant emploi d'épreuves fort petites, dont le prix restait accessible.

Cet instrument fut présenté en 1849, par son auteur, à l'Association Britannique. Il est surprenant toutefois que l'éminent physicien, bien que sa réputation scientifique fût très grande, n'ait obtenu aucun accueil des opticiens anglais à qui la construction du nouvel appareil fut proposée ; c'est en France, par les soins de l'opticien Duboscq, que la fabrication du stéréoscope fut entreprise. Le succès, obtenu seulement en 1851, s'affirma dès le début et se maintint, par la suite, d'une façon régulière. Les vues stéréoscopiques, sur verre ou sur papier, étaient faites alors par des photographes de profession, dont quelques-uns ont réalisé de véritables merveilles. A cette époque, les procédés au collodion ou à l'albumine, trop délicats et trop laborieux pour être répandus, rendaient ce travail impossible à la plupart des amateurs.

---

<sup>(1)</sup> Voir *Bulletin* n° 22, 1907, page 61.

Au moment où l'apparition des plaques au gélatino-bromure a rendu courante et facile l'obtention des clichés et des épreuves, la stéréoscopie est entrée dans une phase nouvelle, chacun étant devenu capable, sinon d'obtenir des résultats excellents, au moins d'en produire de passables : ce qui était d'abord un métier est ainsi devenu un art d'agrément. Opticiens, constructeurs et fabricants de plaques photographiques ont alors rivalisé de science et de talent pour créer les appareils actuels, dont les meilleurs sont devenus des modèles de précision et d'élégance. Pour plaire plus sûrement au public, les constructeurs ont été amenés à réduire les appareils aux dimensions les plus restreintes, et, par suite, à réduire aussi les formats.

En fait, la stéréoscopie usuelle comporte l'emploi courant de deux clichés accouplés l'un à l'autre, réunis le plus souvent sur une même plaque de verre, chacun d'eux étant de format carré, et ayant des dimensions comprises entre 9 cm. x 9 cm., format le plus grand, et 4 cm. x 4 cm., format le plus petit qui soient entrés dans la pratique. Les positifs qui donnent ces clichés, tirés sur papier ou sur verre, sont examinés avec des oculaires grossissants.

Il est tout à fait surprenant, lorsqu'on réfléchit aux principes généraux de la stéréoscopie, de voir universellement adopté le format carré. Ce format très particulier, que le peintre, le dessinateur et le photographe n'emploient jamais par ailleurs, est laissé de côté par eux pour des raisons fondamentales d'esthétique, si bien que l'on pourrait parcourir toutes les salles d'un grand musée sans rencontrer une seule toile de ce format.

Les oculaires grossissants ne sont jamais employés lorsqu'il s'agit de regarder des gravures ; on les emploie rarement pour observer des photographies.

En stéréoscopie, au contraire, l'usage a si bien fait accepter à chacun ces dispositions traditionnelles, que bien des personnes assurément, les regardent comme indispensables. Il n'en est rien, comme on le verra plus loin, et le problème de la stéréoscopie admet une solution plus simple et plus générale. Les épreuves stéréoscopiques peuvent être faites dans tous les formats, soit en hauteur, soit en largeur ; les loupes ne sont pas nécessaires. Tous les bons procédés de gravure photographique peuvent être avantageusement employés, et les épreuves peuvent être obtenues au bas prix que peut atteindre l'imprimerie lorsqu'il s'agit d'un fort tirage.

La méthode de stéréoscopie proposée dans ce travail va être exposée plus bas. Mais pour bien faire comprendre en quoi elle diffère de celles précédemment employées, il est bon de rappeler tout d'abord les solutions données antérieurement et d'indiquer quelles sont les principales qualités, quels sont aussi les inconvénients les plus marqués qui sont propres à chacune d'elles. Tout d'abord, il est utile de rappeler en quelques mots les principes essentiels relatifs à la vision binoculaire, dont la vision stéréoscopique ne forme qu'un cas particulier.

### **Perspective binoculaire. - Relations entre l'accommodation et la convergence.**

Supposons qu'un objet à trois dimensions, tel que la maison représentée sur la figure 1, se trouve placé devant les yeux ; l'œil droit est représenté sur notre dessin par la lettre O, et l'œil gauche par la lettre O'. Supposons encore que l'on marque les perspectives de la maison, établies soit pour l'œil droit, soit pour l'œil gauche, sur divers tableaux verticaux, T1, T2, T3, T4, parallèles à la ligne des yeux.

On voit que, pour un œil déterminé, l'œil droit par exemple, les perspectives de la maison sont des figures semblables entre elles, d'autant plus petites que le tableau sur lequel on les trace est plus voisin des yeux. De même, les perspectives gauches sont semblables entre elles. Mais les figures gauches sont distinctes, quant à leur forme, des figures droites ; il existe entre les unes et les autres des différences de forme ; - ces différences sont petites, mais essentielles.

À un point de l'espace correspondent, sur un tableau donné, deux perspectives, celle de l'œil droit et celle de l'œil gauche. Entre ces deux points se trouve compris un segment de droite.

Si, pour un même point de l'espace, tel que A, on trace les perspectives droites et gauches sur divers tableaux, le segment est fort petit, si le tableau, tel que T1, est voisin du point A; il devient plus long lorsque le tableau, comme en T2, T3, T4, se rapproche de l'observateur; le segment deviendrait même égal à la longueur interoculaire, si le tableau prenait une position limite, passant par la ligne OO'.

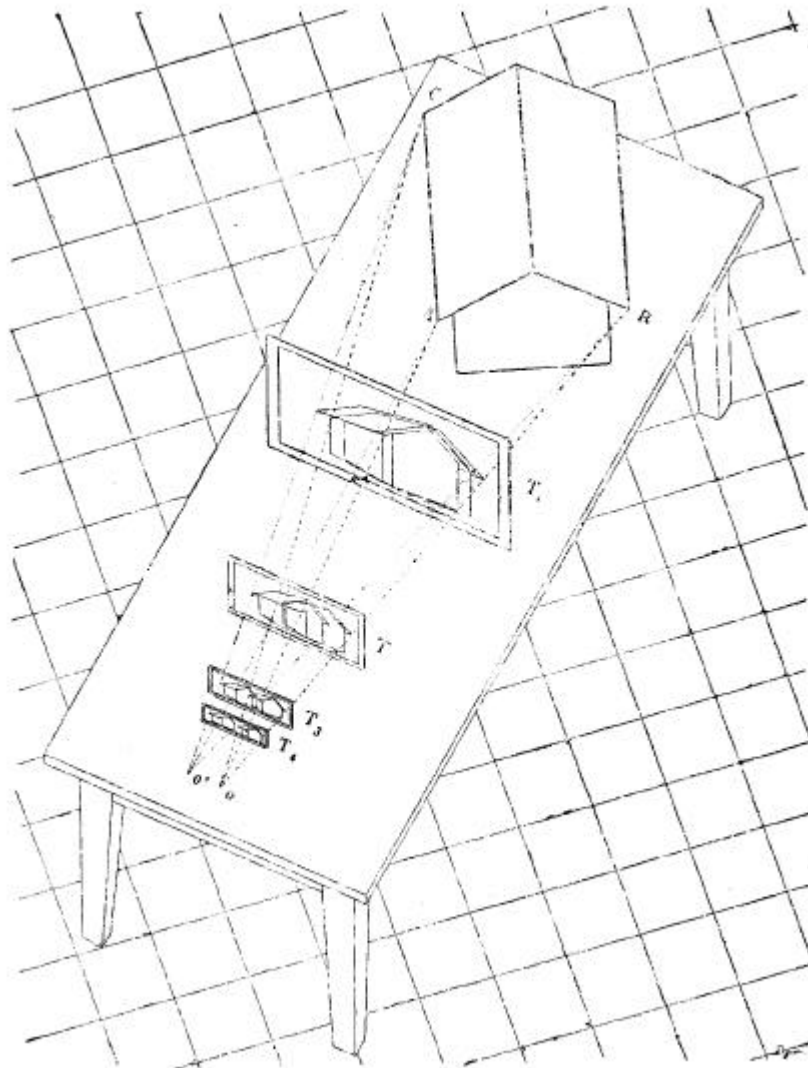


Fig. 1 — Perspective binoculaire

Si l'on considère maintenant, non plus divers tableaux, mais un tableau unique, tel que T1, et si l'on marque sur lui les perspectives droites et gauches des deux points de l'espace différemment éloignés, A et C par exemple, on voit que le segment relatif au point C, plus éloigné, est plus long que celui relatif au point A, plus voisin. - Le segment grandit donc à mesure que le point s'éloigne; et, pour un point infiniment éloigné il aurait pour longueur limite celle de OO', distance interoculaire.

De ces principes résultent immédiatement que, sur un tableau voisin de l'objet, tel que T1, les deux perspectives sont deux figures *analogues*, mais *non identiques*, et que ces deux figures sont presque superposées.

Au contraire, sur un tableau voisin du spectateur, tel que le tableau T4, les perspectives sont encore deux figures analogues, petites, mais distinctes l'une de l'autre, et qui se trouvent juxtaposées.

Tels sont les principes très simples qui régissent le tracé des deux perspectives. Ces principes sont essentiels pour l'étude de la stéréoscopie.

L'examen de ces perspectives dans des conditions favorables à la perception du relief est une question voisine de la précédente, un peu moins simple toutefois.

On sait que la vision n'offre, pour un observateur normal, son maximum de netteté que pour une région limitée de l'espace. Si cet observateur regarde un ensemble d'objets, la connaissance qu'il en prend est une

série d'examens successifs, dans lequel chaque région est examinée après l'autre. Ces examens successifs se font avec une rapidité extrême, et l'habitude rend compatible cette rapidité avec une sûreté d'appréciation très remarquable.

Dans cet examen successif, deux facteurs interviennent simultanément et sont, pour un observateur normal, étroitement associés : ce sont l'accommodation et la convergence. Toutes les fois que les regards se portent sur un objet réel, situé, par exemple, à 40 centimètres, l'accommodation et la convergence sont d'accord et prennent les valeurs qui conviennent à cette distance.

Si donc on veut procurer à l'observateur l'illusion d'objets à trois dimensions, situés dans l'espace, au moyen de figures planes soumises à son examen, il convient, pour que la vision s'exerce sans efforts, que l'accommodation et la convergence se trouvent d'accord et réglées pour la même distance.

Cette condition ne peut être réalisée directement. Si les deux figures sont, comme dans le tableau T4, placées côte à côte et voisines de l'observateur, en admettant que l'observateur puisse accommoder pour une distance aussi courte, il ne saurait, sans un violent effort, tandis qu'il accommode pour une distance aussi restreinte, garder les directions de visée de ses deux yeux presque parallèles l'une à l'autre.

Si, au contraire, comme dans le tableau T1, les yeux accommodent pour une distance assez longue, en convergeant pour une distance égale ou presque égale à celle-là, une autre difficulté se rencontre, c'est qu'il n'est pas possible de disposer sur le même tableau, dans les mêmes régions, à la fois l'épreuve droite, qui doit être visible *seulement pour l'œil droit*, et l'épreuve gauche, qui doit être visible *seulement pour l'œil gauche*.

Mais ce qui ne peut ainsi être réalisé directement peut l'être par divers artifices très simples, et l'étude des artifices employés pour résoudre ce problème est l'histoire même de la stéréoscopie, que l'on va maintenant résumer dans ses traits essentiels.

### **Stéréoscope de Wheatstone.**

On sait que, si l'on observe un objet par réflexion dans un miroir, on croit voir un autre objet, inverse du premier. Si, par exemple, on présente au miroir une ligne d'écriture, ce que l'on verra dans ce miroir sera, non pas l'écriture dans son sens habituel, mais cette écriture, telle qu'elle se présenterait si l'on regardait par transparence, au verso du papier, ou, ce qui revient au même, si on regardait l'empreinte que l'encre de cette ligne, supposée fraîche, laisserait sur une feuille de papier pressée contre la première.

Si donc on observe une légende, on croit voir la légende de sens verso, mais, si l'on présente au miroir le verso d'une légende, cette légende paraît rétablie dans son sens naturel.

Supposons donc (fig. 2 et 3) que, dans une chambre donnée, le sol forme un carré, et que, sur les murs de droite et de gauche, on ait placé, à la même hauteur, deux légendes de sens verso. Si, par la verticale du centre de la chambre, on fait passer deux miroirs-plans, dirigés chacun suivant l'une des diagonales du carré, l'œil droit, placé devant le miroir droit, croira voir, au lieu de la légende droite de sens verso, une légende semblable, mais de sens recto, placée sur le fond de la chambre. De même l'œil gauche, placé contre le miroir gauche, croira voir aussi, disposé sur le fond de la chambre, la légende gauche rétablie dans le sens recto.

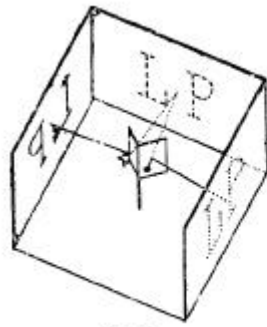


Fig. 2

Principe du stéréoscope de Wheatstone

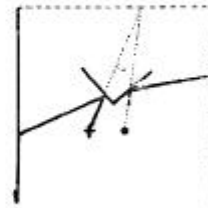


Fig. 3

On voit que, par cet artifice, les figures tracées sur les parois latérales paraissent être reportées sur le mur du fond, en face de l'observateur, à la même distance de lui, et qu'elles sont, en même temps, inversées.

Sur le mur du fond, où elles apparaissent, les images virtuelles peuvent être disposées côte à côte, ou bien être confondues. Ce dernier résultat est toujours facile à obtenir en faisant coulisser les épreuves sur les parois qui les portent. Ainsi, pour déplacer vers la droite l'image gauche recto qui paraît exister sur le fond de la chambre, on devra éloigner du fond la légende gauche verso. Au contraire, pour déplacer dans le même sens, vers la droite, l'image droite recto qui paraît exister sur la même paroi que la première, on devra rapprocher du fond la légende droite verso.

Par de légers déplacements des figures dans les coulisses qui les portent, on pourra donc amener en coïncidence deux points homologues des légendes recto en un point déterminé du fond.

Ces principes une fois acquis, la construction du stéréoscope de Wheatstone (fig. 4 et 5) en résulte d'elle-même.

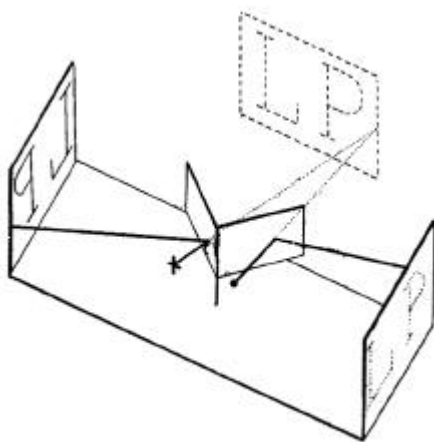


Fig. 4 Stéréoscope de Wheatstone

Reste seulement à fixer le format des figures que l'on se propose d'observer. Par raison de simplicité, les plus grands formats se trouvent éliminés : Wheatstone fut donc amené à choisir des formats moyens, observés à la distance de 6 à 8 pouces (15 à 20 cent.). Le champ du stéréoscope Wheatstone ne peut être très étendu. D'après la description donnée par l'auteur, cet instrument semble n'avoir eu pour champ qu'un angle de  $40^\circ$ , compris entre la gauche et la droite de l'épreuve. Les figures 4 et 5 donnent l'explication de ce fait. Supposons que l'observateur vise la fin de la légende ; le rayon visuel mené de l'œil droit, figuré par un point, à la partie finale de la légende, rencontre le miroir au voisinage de son bord libre. De ce côté, le champ se trouve donc limité par le bord même du miroir, et, pour rendre ce champ plus étendu, il faudrait prendre un miroir

plus large. Mais il convient d'examiner aussi ce qui se passe pour l'œil gauche ; le rayon mené de l'œil gauche, figuré par une croix, au même point de l'image virtuelle, rencontre tout au contraire le miroir gauche dans une région voisine de l'arête du dièdre ; mais après réflexion, la direction de visée vient passer au voisinage de la tempe de l'observateur.

On voit donc que, même si l'on avait donné aux deux miroirs une largeur plus grande, on ne saurait fournir aux *deux yeux* un champ d'observation plus étendu.

Cette difficulté tient à la valeur des angles choisis pour établir l'appareil ; il y a lieu par suite de chercher si, en modifiant la valeur du dièdre formé par les miroirs, on obtiendrait une solution plus satisfaisante à cet égard.

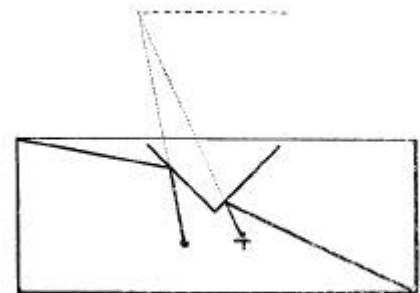


Fig. 5 Stéréoscope de Wheatstone (plan)

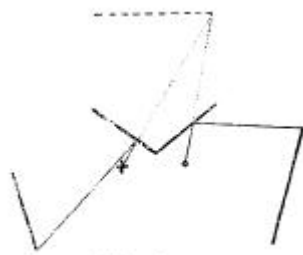


Fig. 6

Il est facile de voir sur la figure 6 qu'à mesure que l'angle dièdre formé par les miroirs devient plus grand, la difficulté signalée plus haut s'accroît davantage.

Si, au contraire, l'angle dièdre formé par les deux miroirs est aigu (fig. 7 et 8), l'arête de ce dièdre étant nécessairement rejetée assez loin du plan où se trouve la double image virtuelle, le champ, dans ce cas encore, se trouve être assez restreint.

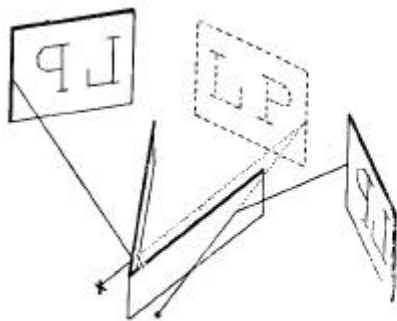


Fig. 7

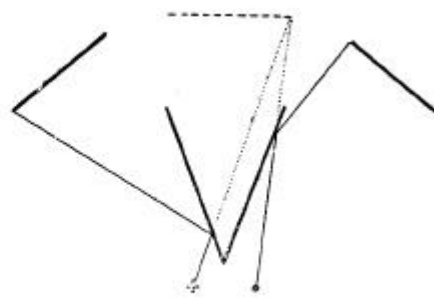


Fig. 8

En outre, les miroirs étant employés sous des incidences très obliques, il devient nécessaire de leur donner une grande étendue latérale, ce qui rend l'appareil plus coûteux et moins pratique.

Il convient de remarquer encore qu'il y a quelque difficulté à donner le même éclairage aux deux feuilles dont on veut produire la fusion.

Cette difficulté est surtout accusée dans le stéréoscope de Wheatstone, où les deux feuilles se font vis-à-vis. Un éclairage égal ou presque égal des deux feuilles serait moins difficile à produire pour des panneaux formant entre eux, comme dans les figures 7 et 8, un angle très ouvert ; mais on vient de voir qu'à cette disposition correspondent de notables inconvénients.

Enfin il est visible que l'aplomb et la direction des miroirs et des panneaux doivent être réalisés de la façon la plus rigoureuse, faute de quoi il devient impossible d'amener la fusion des deux épreuves observées.

Telles sont les raisons principales qui ont fait abandonner dans la pratique le stéréoscope de Wheatstone et généralement les stéréoscopes à deux miroirs. Avant d'étudier les dispositions différentes qui lui ont été substituées par la suite, il importe de remarquer que, si la plupart d'entre elles donnent des solutions pratiques, les conditions fondamentales du problème ont été pourtant posées et étudiées sur ce modèle à deux miroirs : que c'est donc, en définitive, par l'usage de cet instrument intéressant que l'illustre auteur de la stéréoscopie a ouvert tout un chapitre de la science.

### **Stéréoscopes à quatre miroirs.**

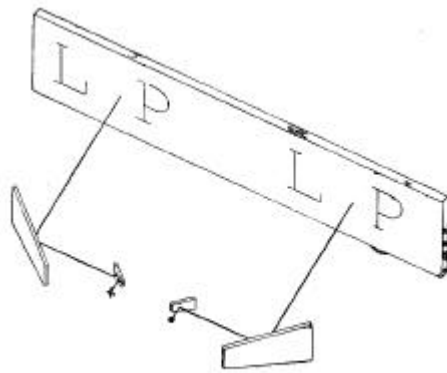


Fig. 9

On évite quelques-unes des difficultés exposées ci-dessus en faisant usage, pour observer les épreuves stéréoscopiques droite et gauche, d'un appareil à quatre miroirs (fig. 9). Deux de ces miroirs, très petits, placés au voisinage des yeux, rejettent latéralement, à droite et à gauche, les directions de visée ; deux miroirs plus grands réfléchissant une seconde fois les rayons visuels, les ramènent au parallélisme, ou tout au moins à des directions très voisines. Les deux épreuves sont placées côte à côte sur un même panneau qui fait face à l'observateur. Cette disposition des épreuves permet d'une part de réaliser pour chacune d'elles un égal éclairage, d'autre part de régler plus facilement leurs positions relatives, tant dans le sens de la hauteur que dans le sens latéral.

Ces dispositions fondamentales sont analogues à celles choisies par Helmholtz (juin 1857), pour le téléstéréoscope. Mais ce dernier instrument était destiné, par son auteur, à l'observation d'objets réels situés à grande distance. Il est surprenant que le mémoire où se trouve décrit cet instrument ne contienne pas mention de l'usage qu'on en peut faire pour observer des épreuves stéréoscopiques et les amener à fusion. Ce dernier usage s'est trouvé décrit par divers auteurs, notamment en France par Giraud-Teulon (1861) (cet auteur employait, au lieu des miroirs, des prismes à réflexion totale) ; plus tard, en 1894, au moment où l'emploi de la radiographie allait faire de la stéréoscopie des grands formats une question d'actualité, un stéréoscope à quatre miroirs a été décrit par M. Cazes ; un stéréoscope à quatre miroirs a été également construit en Allemagne par M. Manchot.

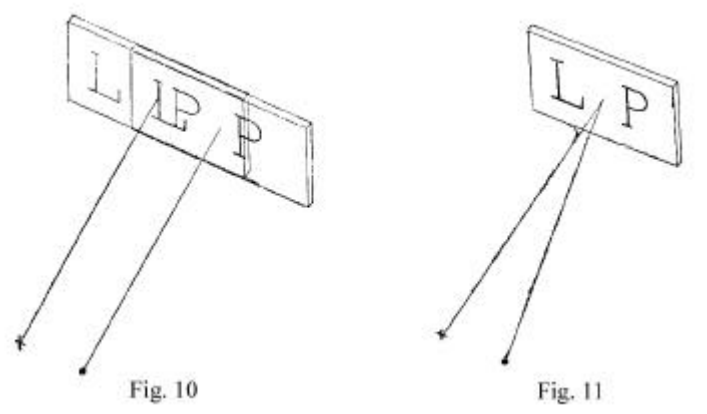
Dans le stéréoscope à quatre miroirs, les épreuves soumises à l'examen sont l'une et l'autre de sens *recto* ; inversées deux fois de suite, elles apparaissent à l'observateur dans ce même sens *recto*.

En principe, l'écart entre deux points homologues figurant un objet éloigné peut avoir telle valeur que l'on voudra. Si  $e$  représente l'écart interoculaire, et si  $E$  représente l'écart des points homologues, on devra disposer les miroirs de manière que les segments parallèles au tableau et compris entre les deux miroirs aient chacun pour valeur  $(E-e) / 2$

Si cette condition est remplie, les deux normales au tableau menées par les yeux seront remplacées finalement par deux normales comprenant entre elles l'écart  $E$ .

Mais il est manifeste que si les deux petits miroirs voisins des yeux gardent les mêmes dimensions, quel que soit l'écart  $E$  que l'on se propose d'établir, à mesure que cet écart devient plus grand, les dimensions des grands miroirs doivent croître, ce qui rendant plus notables leur surface et leur poids, augmente les difficultés de construction et d'emploi, ainsi que le prix de l'appareil.

Il est visible encore sur les figures que le champ du stéréoscope à quatre miroirs ne saurait être très étendu. Tout se passe en effet comme si les yeux se trouvaient à une distance du panneau égale à la somme des trois segments de droite désignés plus haut ; et cette distance est donc réellement grande. De plus, si l'on veut amener les images à fusionner sans effort, il est nécessaire que les directions de visée, au lieu d'être parallèles l'une à l'autre (fig. 10), comme nous le supposons jusqu'ici, viennent converger sur un même point de l'image virtuelle (fig. 11).



Ce résultat est facilement obtenu si l'on fait glisser chacune des épreuves vers l'autre de la moitié de l'écart interoculaire, on doit donc rogner à l'épreuve de droite trois centimètres environ vers son bord gauche, et à celle de gauche trois centimètres environ vers son bord droit, ce qui produit pour la valeur du champ une double réduction.

Une autre particularité du stéréoscope à quatre miroirs est d'exiger pour chacun des miroirs un réglage tout à fait précis, quant à la distance et quant à l'orientation. Si ce réglage cesse d'être réalisé d'une façon parfaite, la fusion optique de l'épreuve droite et de l'épreuve gauche cesse de se produire.

### Méthode des anaglyphes

Les méthodes précédemment décrites avaient un caractère commun : une image *virtuelle*, destinée à l'œil gauche, et une autre image *virtuelle*, destinée à l'œil droit, amenées à se former sur un même plan, à distance de vision distincte, étaient présentées aux regards de l'observateur, ces images virtuelles étaient superposées dans une même région de ce plan, ou tout au moins très voisines de la superposition.

Dans la méthode que l'on va maintenant étudier, la vue gauche et la vue droite vont exister *réellement* sur le même écran ou sur la même feuille de papier. Un artifice convenablement choisi va permettre de laisser la vue droite seule visible pour l'œil droit, et la vue gauche seule visible pour l'œil gauche, chaque œil observera donc la vue qui lui est destinée, et pour lui, l'autre vue sera comme éteinte. Cet artifice est très simple en principe : il consiste uniquement à faire que la vue droite soit obtenue en rouge et la vue gauche en bleu, puis à munir l'œil droit d'un verre bleu et l'œil gauche d'un verre rouge. On sait, en effet, que si l'on trace sur une feuille de papier blanc des caractères bleus et des caractères rouges, l'observation au travers d'un verre rouge montre les caractères bleus, qui paraissent noirs, tandis que les caractères rouges disparaissent. Inversement, l'observation au travers d'un verre bleu montre les caractères rouges, qui paraissent noirs, les caractères bleus paraissant confondus avec le fond blanc du papier.

Cette méthode, indiquée d'abord par Rollmann en 1853, a été plus tard appliquée en France par d'Almeida (1857), qui en a fait usage pour projeter sur un écran des vues stéréoscopiques. Plus tard, en 1890, M. Louis Ducos du Hauron a employé le même principe à l'obtention de vues stéréoscopiques *imprimées*, auxquelles il a donné le nom d'anaglyphes, devenu usuel.

Le principe de cette méthode est très séduisant. Dans les méthodes précédentes, l'observateur se trouvait astreint à se placer en face des épreuves dans une position strictement définie ; pour les stéréoscopes à prismes ou à lentilles, la position des yeux était nécessairement en face des verres ; pour les stéréoscopes à quatre miroirs, en face des deux petits miroirs : enfin, pour les stéréoscopes à deux miroirs, tels que celui de Wheatstone, le seul déplacement qui fut permis aux yeux était un mouvement vers le haut ou vers le bas de l'arête, en supposant que les miroirs fussent suffisamment longs pour permettre ce déplacement.

Avec la méthode des anaglyphes, les épreuves étant l'une et l'autre matériellement présentes sur le même plan, l'effet stéréoscopique se produit pour toutes les positions de l'observateur devant la feuille : si des projections sont faites sur un vaste écran placé au fond d'une salle, tous les spectateurs de la salle verront



l'effet stéréoscopique, et même ceux qui seraient placés derrière l'écran, pourvu que le binocle rouge et bleu employé par eux soit retourné, le verre bleu se trouvant devant leur œil gauche et le verre rouge devant leur œil droit.

Parmi toutes ces positions que l'observateur peut prendre devant le tableau, il en est, du reste, de plus favorables que d'autres ; ce sont, naturellement, celles pour lesquelles l'observateur est en face du *point principal* de la perspective, à une distance égale à la *distance principale* du tableau. C'est alors seulement que la perspective se trouve restituée de la manière la plus fidèle. Pour une position différente de celle-là, cette perspective subit des transformations d'autant plus grandes que l'on s'éloigne plus du véritable point de vue.

La méthode des anaglyphes a rendu de véritables services. Sur l'écran elle donne la vision stéréoscopique à une salle tout entière. Sur une feuille de papier, elle permet d'aborder tous les formats et tous les angles de champ ; elle offre, en outre, l'important avantage de permettre à l'imprimerie de faire, avec les prix très bas qu'elle peut atteindre, des vues stéréoscopiques de grand angle et de grand format, visibles par l'emploi d'un instrument élémentaire.

Ces éminentes qualités semblaient devoir assurer à la méthode des anaglyphes le plus brillant avenir. Pourtant, après avoir obtenu, dans ses débuts, un vif succès de curiosité, la méthode fut assez promptement délaissée par le grand public. - Les raisons de cet abandon ont été surtout les suivantes :

D'une part, la vision, s'effectuant, pour chacun des yeux, au moyen d'un verre de couleur différente, ne se fait pas sans causer une certaine sensation de fatigue.

D'autre part, l'emploi des verres colorés absorbe une grande quantité de lumière, de sorte que, pour obtenir, en définitive, un éclaircissement qui puisse encore suffire, on est obligé d'éclairer l'épreuve avec beaucoup d'intensité, en la plaçant au grand jour, ou même au soleil, ou bien, si l'on observe la nuit, en l'éclairant très vivement à peu de distance d'une lampe.

De plus, quelle que soit la puissance des verres colorés, il est assez difficile d'éteindre l'épreuve bleue par interposition du verre bleu, cette extinction n'étant, d'ordinaire, que partielle.

À ces raisons importantes il convient encore d'ajouter que l'une des encres employées par l'imprimeur, d'ordinaire l'encre bleu, doit présenter deux qualités difficiles à réunir : beaucoup d'éclat, pour que l'image correspondante soit bien visible, et aussi beaucoup de transparence, pour que l'épreuve tirée en rouge soit visible au-dessous d'elle.

### **Stéréoscope de Brewster.**

L'ingénieux appareil de Brewster, dont la simplicité paraît si grande, comporte des dispositions très attentivement étudiées, telles qu'elles ont pu résulter de la collaboration d'un physicien de premier ordre et d'un excellent constructeur.

Pour les faire comprendre, il est nécessaire de rappeler brièvement les principes et de voir comment la construction de l'appareil les réalise.

L'élément essentiel de cet appareil, pour la partie optique, est, comme l'on sait, une lentille biconvexe ayant une distance focale de 20 centimètres environ (fig. 12). L'épaisseur de cette lentille, dans sa partie centrale, est de 1 centimètre. D'un bord à l'autre, elle mesure 9 centimètres environ.

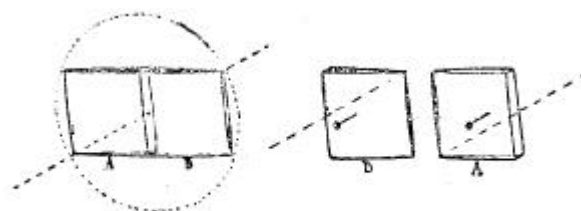


Fig. 12 Demi-lentilles du stéréoscope de Brewster

On découpe dans cette lentille un fragment central, limité par deux plans parallèles, l'un mené à 2 centimètres au-dessus de l'axe principal de la lentille, l'autre à 2 centimètres au-dessous. La hauteur de ce fragment est donc de 4 centimètres. Enfin, sectionnant en deux parties ce fragment, comme il est marqué sur la figure 12, on en fait deux fragments plus petits que l'on juxtapose par leur bord mince.

Dans les conditions indiquées, les lignes de visée des deux yeux ne sont pas dirigées suivant l'axe principal de chaque demi-lentille, mais à quelque distance, et l'on compte entre le bord épais et la ligne de visée une distance qui peut être, par exemple, de 13 millimètres.

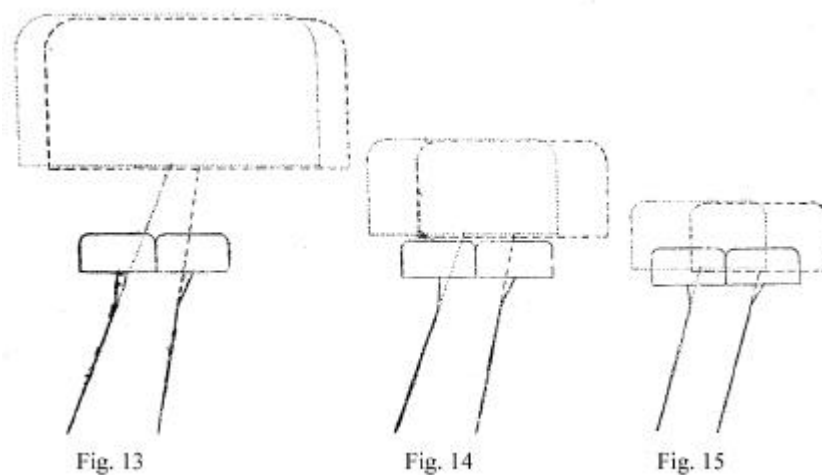
Les plans tangents menés aux deux faces des lentilles aux points d'incidence et d'émergence d'un rayon lumineux font entre eux un angle de huit degrés environ.

Le rayon incident et le rayon deux fois réfracté font donc entre eux un angle d'environ quatre degrés (en vertu de la formule  $D = (n - 1) A$ , relative aux petits angles).

L'effet de chaque demi-lentille est donc de reporter *en dedans*, c'est-à-dire du côté nasal, les images virtuelles de l'objet considéré.

C'est grâce à ce déplacement des faisceaux lumineux dans l'espace qu'il est possible de donner aux épreuves un écart d'environ 75 millimètres, supérieur à l'écart des yeux, dont la valeur moyenne est de 64 millimètres seulement, tout en rendant les rayons, au sortir de la lentille, divergents, ou au moins parallèles, comme les rayons issus d'un objet réel.

On va maintenant étudier ce qui se passe lorsque l'observateur fait varier sa mise au point. Les figures perspectives n° 13, 14 et 15 font voir ce qui se passe alors. La mise au point étant faite successivement pour des distances des images virtuelles qui sont supposées être respectivement de 60 centimètres, 30 centimètres, 15 centimètres, on voit que, dans les deux premiers cas, les directions de visée divergent à la sortie, tandis que dans le troisième cas ces directions sont parallèles.



L'observateur presbyte (fig. 13) accommode pour une distance de 60 centimètres et converge pour une distance de 114.

L'observateur emmétrope (fig. 14) accommode pour 30 centimètres et converge pour 166 centimètres.

Enfin l'observateur myope (fig. 15) accommode pour 15 centimètres et les directions de visée sont en parallélisme.

Dans les figures théoriques qui représentent ces relations entre l'accommodation et la convergence, on a représenté les épreuves stéréoscopiques, que l'on voit en avant, marquées en traits pleins, l'épreuve droite et l'épreuve gauche étant exactement juxtaposées. On a aussi représenté, en traits pointillés, les images virtuelles, qui sont figurées dans le lointain avec leur situation régulière et leurs véritables dimensions. Mais on n'a représenté ni les yeux ni les demi-lentilles du stéréoscope. De plus, au lieu de représenter les épreuves stéréoscopiques par des carrés complets, on a figuré seulement la moitié supérieure de chaque

carré, de manière à faire saisir plus clairement ce qui se produit dans le plan horizontal contenant les lignes de visée.

La figure fait voir d'un seul coup d'œil comment, pour l'accommodation à longue distance (fig. 13), les épreuves droite et gauche sont presque superposées ; comment, pour l'accommodation à distance moyenne (fig. 14), les images virtuelles ne se recouvrent que dans une région plus restreinte de leur étendue, enfin que pour l'accommodation à distance restreinte (fig. 15), les images virtuelles paraissent se quitter, chacune d'elles s'éloignant du côté temporal.

On comprend aussi facilement comment il se fait qu'un observateur, surtout s'il est myope, ressent, lorsqu'il regarde dans le stéréoscope, une certaine hésitation avant que la fusion optique des images se produise. C'est qu'il lui faut, en même temps qu'il accommode pour une distance restreinte, maintenir les lignes de visée en parallélisme, ce qu'il n'a jamais fait en observant les objets naturels. La vision dans ces conditions est assurément possible, et l'habitude d'observer ainsi peut s'acquérir par l'exercice, mais l'observation dans ces conditions artificielles s'accompagne d'une réelle impression de malaise et de fatigue. Il semblerait possible de remédier à cet inconvénient en écartant les demi-lentilles l'une de l'autre. Les régions utilisées sur chacune d'elles agiraient alors comme des prismes d'angle plus fort, produisant des déviations plus grandes et rejetant plus énergiquement chacune des épreuves vers l'autre.

Mais on rencontre, en procédant de cette manière, un autre inconvénient ; on est, en effet, obligé d'utiliser des régions de la lentille plus éloignées de son axe principal, et les aberrations prennent de l'importance. Des irisations apparaissent alors sur les contours des objets, et les lignes droites, surtout sur les bords, sont déformées par la distorsion.

Ces raisons de théorie suffiraient à exclure le choix d'un déplacement latéral trop accusé des demi-lentilles par rapport aux lignes de visée.

Des raisons pratiques interviennent encore pour établir la même conclusion. C'est qu'en établissant l'écart variable des demi-lentilles, on complique et l'on rend par suite plus coûteuse la construction du stéréoscope. - Enfin on mettrait à la disposition du public, en opérant de cette manière, un moyen de réglage trop délicat pour qu'il en puisse comprendre la portée et pour qu'il puisse, par conséquent, en faire usage avec discernement.

L'exposé qui précède montre que, pour vaincre le mieux possible, lorsqu'il la rencontre, cette difficulté relative à la convergence, le mieux que l'observateur puisse faire, s'il est myope, est de régler d'abord le stéréoscope, comme un presbyte le ferait à sa place, avec une grande longueur de tirage. Dans ces conditions particulières, il perçoit deux images fusionnées, mais confuses, parce qu'elles sont trop lointaines. Il doit alors, sans cesser d'observer dans l'appareil, raccourcir progressivement le tirage. Les deux images viennent alors plus près de lui, en même temps qu'elles paraissent se déplacer dans leur propre plan pour s'éloigner l'une de l'autre. Ce dernier mouvement se produisant d'une manière continue, les yeux, habitués à fusionner au début dans des conditions presque naturelles, conservent la fusion dans les conditions finales.

On vient de voir comment le champ en largeur se trouve limité, dans le stéréoscope de Brewster, par le fait même de la construction, le mouvement de glissement apparent de l'une des images virtuelles vers l'autre ne pouvant avoir qu'une étendue restreinte.

Il semble, au premier abord, que, dans le sens vertical, le champ puisse être étendu, puisqu'on ne rencontre pas dans ce sens les difficultés relatives à la convergence. Aussi peut-on sans inconvénient donner aux épreuves une hauteur supérieure à leur propre largeur ; mais il n'est pas possible d'aller bien loin dans cette voie sans rencontrer de graves difficultés par le fait des aberrations. Les lignes droites sont distordues en croissant et des irisations se produisent.

L'usage de pareilles vues n'a jamais, du reste, pris une grande extension. Il comportait, en effet, quelques modifications dans la construction des stéréoscopes et des chambres stéréoscopiques. De plus, ce format n'est agréable à regarder que pour quelques catégories spéciales de sujets, portraits, bustes, statues isolées, monuments élevés, nefs d'églises. Les sujets de plein air étant les plus fréquents et les plus goûtés du public, on les obtient donc, pour la stéréoscopie usuelle, en format carré, faute de pouvoir les obtenir en

format oblong, celui que les paysagistes et les photographes choisissent le plus souvent pour des raisons d'esthétique.

De sérieux inconvénients résultent, comme on vient de le voir, de l'emploi des demi-lentilles du stéréoscope de Brewster, traversées par les rayons lumineux, non pas au voisinage de l'axe principal, mais dans une position excentrique. Il peut paraître préférable de faire usage de deux lentilles distinctes, l'une et l'autre complètes, moins épaisses que la précédente, et présentant, au sujet des aberrations, de moindres inconvénients.

Beaucoup de stéréoscopes ont été construits sur ce modèle, que Dubosq a adopté le premier. Deux oculaires convenablement disposés produisent, dans les stéréoscopes de ce modèle, l'amplification des épreuves. Deux prismes à sommet nasal rejettent en même temps les images virtuelles l'une vers l'autre pour faciliter la fusion.

Enfin dans divers stéréoscopes à lentilles, destinées à l'observation d'images très petites, les directions visées sont en parallélisme pendant l'observation.

En somme, les remarques précédentes expliquent comment, pour restreindre l'effet des aberrations données par les lentilles ou par les prismes, les constructeurs ont dû adopter le format carré, ne pas dépasser les dimensions maxima de 9 cm. x 9 cm. pour chaque épreuve et limiter à 7 cm., ou 7 cm. 5 au maximum, l'écart horizontal des points homologues, les prismes ou les lentilles ne pouvant amener convenablement à fusion les images virtuelles de points dont l'écart horizontal dépasserait ces limites extrêmes.

### **Stéréoscope dièdre à miroir bissecteur.**

Une solution élémentaire, plus directe que les précédentes, peut être donnée au problème de la stéréoscopie. La fusion stéréoscopique de deux épreuves s'obtient, en effet, de la façon la plus simple, au moyen d'un miroir unique de dimensions très restreintes. Pour obtenir ce résultat, il convient de disposer les épreuves que l'on observe sur deux plans formant entre eux un angle dièdre, et d'établir le miroir plan dans l'une des régions du plan bissecteur de ce dièdre.

On va supposer ici (fig. 18 et 19), comme on l'a fait plus haut, pour donner l'exposé théorique, que les épreuves soient formées par des lettres disposées sur une même feuille. Sur cette feuille on a marqué, entre l'épreuve droite du sens recto, et l'épreuve gauche, du sens verso, une ligne qui forme l'axe de symétrie de la figure. - Chacune de ces épreuves étant regardée comme formant un plan distinct, si l'on fait faire à ces deux plans un angle dièdre quelconque, et si l'on suppose un miroir occupant une région quelconque du plan bissecteur de ce dièdre, l'observateur n'aura qu'à approcher l'œil gauche du miroir pour y voir l'épreuve gauche, rétablie, par le fait de la réflexion, dans son sens naturel : l'œil droit, visant librement l'épreuve droite, verra cette épreuve à la manière ordinaire. - Dans cette disposition, l'épreuve droite et l'image virtuelle de l'épreuve gauche, occupant les mêmes régions de l'espace, sembleront être de tout point confondues.

Le même résultat serait obtenu si les deux épreuves étaient symétriques, non plus par rapport à une ligne parallèle à la hauteur de la page, mais par rapport à une droite horizontale, l'axe de symétrie étant placé, comme dans le cas précédent, suivant l'arête du dièdre.

Il est manifeste que ce principe fondamental reste applicable, en théorie, quelle que soit la valeur de l'angle dièdre formé par les deux épreuves, pourvu que le miroir occupe, dans chaque cas, une région du plan bissecteur. Mais il est clair aussi que certaines valeurs données à l'angle dièdre conviendront mieux que les autres, et qu'on devra choisir les valeurs les plus favorables, en ayant égard aux diverses conditions du problème.

La solution qui consiste à laisser les deux épreuves alignées sur le même plan, c'est-à-dire à donner au dièdre la valeur de  $180^\circ$ , convient surtout lorsque les épreuves sont petites. Cette solution est intéressante par sa simplicité.

Disposer les épreuves à angle droit l'une sur l'autre est encore possible, mais, si les épreuves sont faites sur papier, ce qui est le cas le plus usuel, il y a quelque difficulté, d'une part, à les éclairer également, d'autre part à les maintenir, sur le panneau qui les porte, sans qu'elles aient tendance à se rabattre l'une sur l'autre. Il est bien plus avantageux, à bien des égards, de choisir pour angle dièdre une ouverture voisine de  $140^\circ$  (fig. 16). Les épreuves, dans ce cas, peuvent être établies sans difficulté sur les deux plans qui les supportent, et recevoir un égal éclairement. De plus, le point M, milieu de la ligne des yeux GD, peut ainsi se trouver en face des parties centrales de la vue droite. Cette condition est, comme l'on sait, favorable à l'examen régulier de la perspective. De plus, lorsque la distance des yeux à l'épreuve droite est égale, ou presque égale, à la *distance principale* de la perspective, cette condition est, elle aussi, favorable à l'exacte perception du relief.

En ce qui concerne le champ, on voit que la région où la vision stéréoscopique s'étend n'est limitée que d'un seul côté, par l'articulation de l'un des plans avec l'autre sur l'arête de l'angle dièdre. Mais, sur l'autre côté de chaque panneau, les épreuves peuvent s'étendre aussi loin qu'on le voudra. Tant que l'on n'emploie, en effet, ni loupes ni autres oculaires, aucune aberration ne vient assigner de limites pratiques à la vision, qui s'exerce ici, comme dans la vision naturelle, librement, dans un très grand espace angulaire.

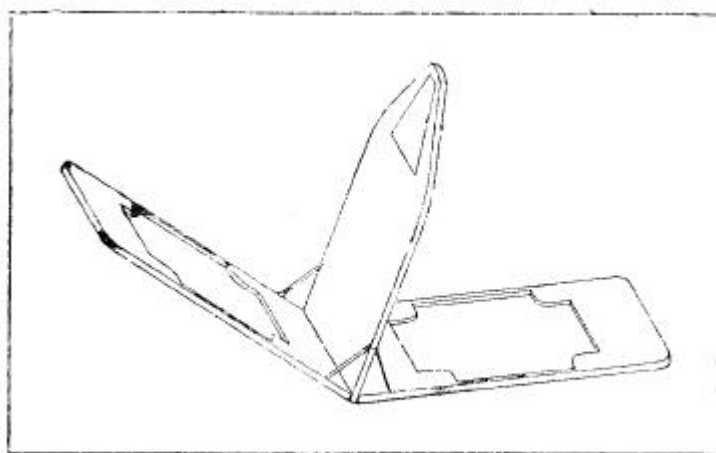


Fig. 16 Stéréoscope dièdre à miroir bissecteur

Une particularité digne de remarque est que, pour assurer la vision stéréoscopique dans un si large espace angulaire, il suffit d'un miroir plan de dimensions fort petites, puisque l'œil gauche est placé tout contre lui : c'est de la même manière qu'au travers d'un verre de lunette, l'œil placé tout contre ce verre, observe sans difficulté un champ très étendu. On voit du reste, facilement, en étudiant la marche des rayons lumineux, que la forme la plus convenable à donner au miroir est presque triangulaire, le sommet, c'est-à-dire la partie la plus voisine des yeux, ayant une forme arrondie. - Pour éviter des réflexions multiples qui se produiraient pour les rayons presque rasants, il est utile d'employer une glace, platinée ou argentée, dont la face réfléchissante soit à l'extérieur, ou encore un miroir métallique.

Il est utile de remarquer encore qu'il n'est aucunement nécessaire que le plan bissecteur forme un panneau plein, mais qu'il peut tout aussi bien être formé (fig. 17) d'un cadre relié avec les deux faces du dièdre. Le miroir pourrait même à la rigueur n'être pas rattaché matériellement aux faces du dièdre, pourvu qu'un support convenable le maintînt correctement placé et orienté dans l'espace. Au reste, il est assez utile de relier le cadre ou panneau bissecteur aux deux panneaux extérieurs, portant les épreuves, parce qu'il est ainsi plus commode de guider le bissecteur, et de lui faire occuper dans l'espace la position régulière.

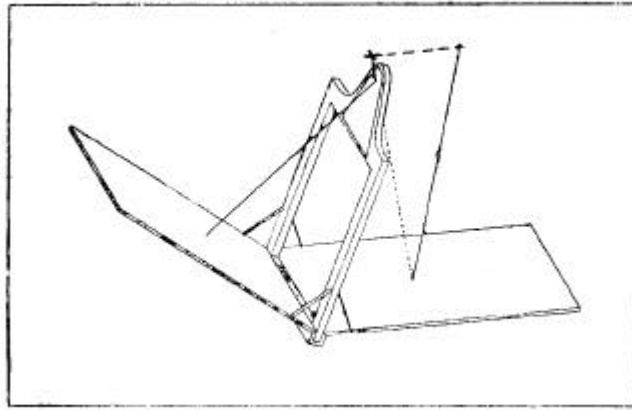


Fig. 17 Stéréoscope dièdre à cadre directeur

Un cadre bissecteur largement ouvert est assez commode à divers égards, parce qu'il est léger, parce qu'il laisse passer la lumière ambiante sans porter d'ombre, enfin parce qu'il permet de faire passer par la partie ajourée du cadre les feuillets d'un fascicule, que l'on examine l'un après l'autre.

Si le bissecteur, au lieu d'être un cadre, est, au contraire, un panneau plein, il semble qu'une difficulté puisse provenir d'ombres portées par ce panneau sur les épreuves. Cette difficulté n'existe à peu près pas en réalité, parce que l'angle du dièdre est très largement ouvert. Il est convenable toutefois, si l'on observe pendant le jour, de se placer juste en face d'une fenêtre bien éclairée. Pour observer le soir sous la lampe, il convient de disposer la flamme de manière que, placée dans le prolongement du panneau bissecteur, elle ne puisse porter aucune ombre sur l'une ou sur l'autre des épreuves.

Le stéréoscope à miroir bissecteur présente, avec les avantages signalés plus haut, quelques particularités curieuses. Voici quelles sont les plus importantes :

Si, l'appareil étant placé sur une table (fig. 18), dans la position habituelle 1, on laisse les épreuves sur les panneaux, et si on retourne cet ensemble pour lui donner la position 3, on observe, en approchant alors l'œil droit du miroir, une scène en relief naturel ; cette scène est celle que l'observateur verrait s'il se plaçait la tête en bas pour observer la nature.

On peut dire, pour abrégé, que le retournement simultané de l'appareil et des épreuves laisse subsister le relief stéréoscopique.

Si l'on passe, des positions 1 et 3, aux positions 2 et 4, obtenues en permutant l'une des épreuves avec l'autre, l'effet stéréoscopique subsiste encore ; l'observateur voit ainsi ce qu'il verrait en regardant la nature, non plus directement, mais par réflexion dans un miroir, en se plaçant la tête en haut, s'il s'agit de la position 2, et la tête en bas, s'il s'agit de la position 4.

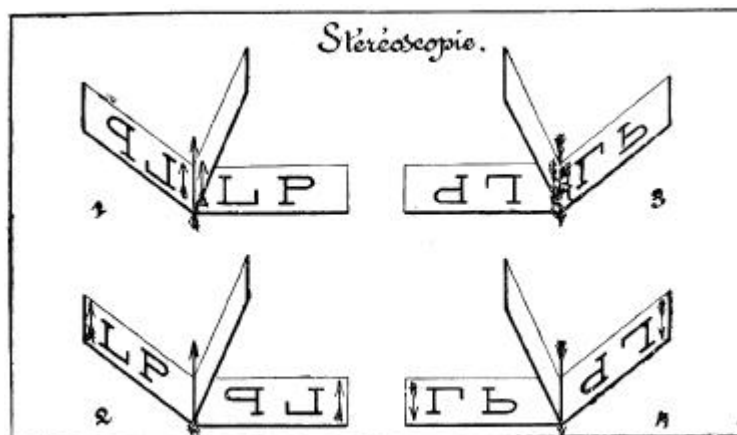


Fig.18

On remarquera que pour ces quatre positions de stéréoscopie, les flèches qui définissent les sens respectifs de l'appareil et des épreuves sont toujours en concordance.

Au contraire, pour les positions 5, 6, 7, 8 (fig. 19), l'appareil et les couples se trouvent disposés dans le sens marqué par les flèches, l'examen des épreuves donne l'effet pseudoscopique, c'est-à-dire que les objets du premier plan semblent reportés dans le lointain tandis que les objets lointains semblent s'avancer au premier plan. Lorsqu'on observe, dans ces conditions, des épreuves ordinaires, représentant des objets naturels, l'effet pseudoscopique, contraire à la vérité, produit une sensation désagréable. Mais on obtient, au contraire, des résultats curieux et intéressants lorsqu'on observe, dans les mêmes conditions, les dessins composés tout exprès, représentant des objets de formes simples, dessinés au trait, ou ombrés d'une façon sommaire. On remarquera, sur la figure 19, ce caractère commun, que les flèches marquant les sens respectifs de l'appareil et des épreuves se trouvent en discordance.

On peut donc résumer ceci en disant que retourner le couple des épreuves sans retourner l'appareil, ou retourner l'appareil sans retourner avec lui le couple des épreuves, c'est passer de la position de stéréoscopie à celle de pseudoscopie. La permutation des épreuves, si on l'opère, ne change pas la nature de ce résultat,

Dans tout ce qui précède, on a supposé que les épreuves étaient formées de deux vues monochromes, et que la couleur était la même pour l'une et pour l'autre. Cette condition, qui est habituellement réalisée, n'est aucunement nécessaire. Les deux épreuves, distinctes quant à la forme, et dont la fusion donne la sensation stéréoscopique de l'espace, peuvent être constituées par des tirages polychromes ; on peut, par exemple, avec deux couleurs seulement sur chaque épreuve, produire la fusion de quatre couleurs distinctes.

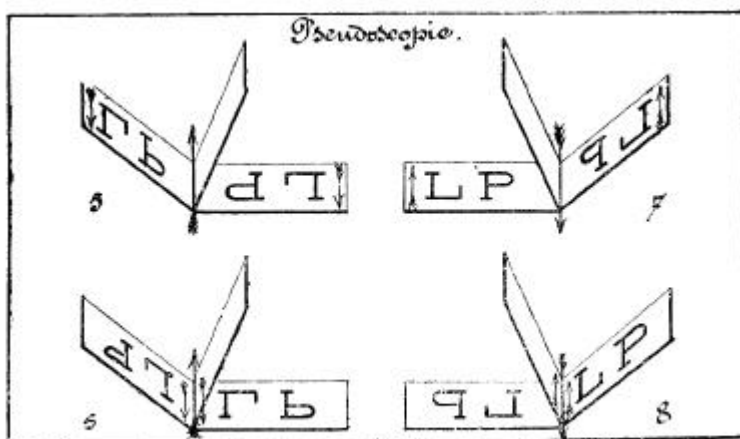


Fig. 19

Trois couleurs étant tirées sur chaque épreuve, les yeux fusionneraient six couleurs au total. On peut rencontrer vraisemblablement dans cette voie le moyen d'étendre, en quelque sorte, la palette du chromiste, souvent trop peu riche jusqu'ici pour rendre fidèlement la nature. La photographie en couleurs et l'impression polychrome rencontreront là quelques éléments de nouveaux succès, au grand avantage des arts et des sciences.

En résumé, le stéréoscope à miroir bissecteur réalise la fusion optique de l'épreuve droite et de l'épreuve gauche par des moyens particulièrement simples.

- Il étend la vision stéréoscopique, sans difficulté aucune, à un champ angulaire très étendu.
- Les épreuves étant examinées à l'œil nu, on peut employer indifféremment tous les procédés de tirage, sur verre ou sur papier, notamment ceux de la phototypie, ou même de la photogravure, si la trame en est assez fine.
- Enfin il permet facilement de fusionner non seulement deux formes un peu distinctes, ce qui donne la représentation fidèle de l'espace, mais de fusionner aussi des couleurs différentes sur

- 0 l'épreuve droite et sur l'épreuve gauche, donnant ainsi des moyens plus complets pour reproduire l'harmonie des formes et des couleurs.

Les faits qui viennent d'être exposés concernent seulement la vision normale. Dans un travail ultérieur, qui sera prochainement publié, l'auteur se propose de faire voir comment on peut faire emploi du stéréoscope à miroir bissecteur pour l'étude et le traitement du strabisme.

L. PIGEON