

# Introduction

Nous connaissons tous déjà plus ou moins bien le terme de 3 dimension notamment grâce au cinéma qui, depuis maintenant une dizaine d'années, nous propose de plus en plus de films à visionner en 3 dimensions grâce à de simples lunettes. En revanche, le terme de stéréoscopie n'est pas bien connu du grand public alors qu'il s'agit en réalité d'un synonyme de la 3D. En effet, cet acronyme anglo-américain qui signifie "three dimensions" (en français "trois dimensions") tandis que le mot stéréoscopie nous vient du grec *stéreo* pour solide et *scope* pour vision. Il existe tout de même une légère différence entre ces deux noms puisque le terme de 3D se réfère au relief tandis que celui de stéréoscopie englobe à la fois la notion de relief et l'ensemble des techniques mises en œuvre pour reproduire une perception du relief à partir de deux images planes.

Depuis maintenant une dizaine d'année, le cinéma nous propose des films à visionner en 3D grâce à de simples lunettes mais le relief ne date pas d'hier, l'Homme a la capacité de percevoir le relief depuis la nuit des temps. Il est vrai, que nous arrivons facilement à différencier les plans dans lesquels se trouve les objets présent dans notre champs de vision et c'est donc là tout le principe de la stéréoscopie: la profondeur.

Au fil du temps, de nombreux scientifiques comme Galilée, Charles Wheatstone ou encore David Brewster se sont penchés sur le sujet afin de comprendre ce phénomène, de savoir pourquoi le monde se présentait à nous en 3 dimensions et plus tard de le reproduire.

De la même manière que ces scientifiques, nous nous pencherons sur le sujet et nous nous demanderons comment l'oeil humain arrive-t-il à percevoir le relief, que ce soit naturellement grâce à ses propres yeux ou bien artificiellement à l'aide de procédés.

Pour cela, nous verrons donc dans une première partie le fonctionnement de l'oeil humain et la manière dont les informations visuelles arrivent jusqu'à notre cerveau ainsi que la raison pour laquelle nous arrivons à percevoir le relief et les différentes méthodes utilisées pour parvenir à voir des images en relief avec le simple pouvoir de nos yeux. Puis, dans une seconde partie, nous aborderons les différentes procédés utilisées pour arriver à leurrer le cerveau et lui faire croire que des images en deux dimensions sont en relief et plus particulièrement la méthode de la polarisation qui est de nos jours une des plus utilisée.

# I) Vision de l'œil

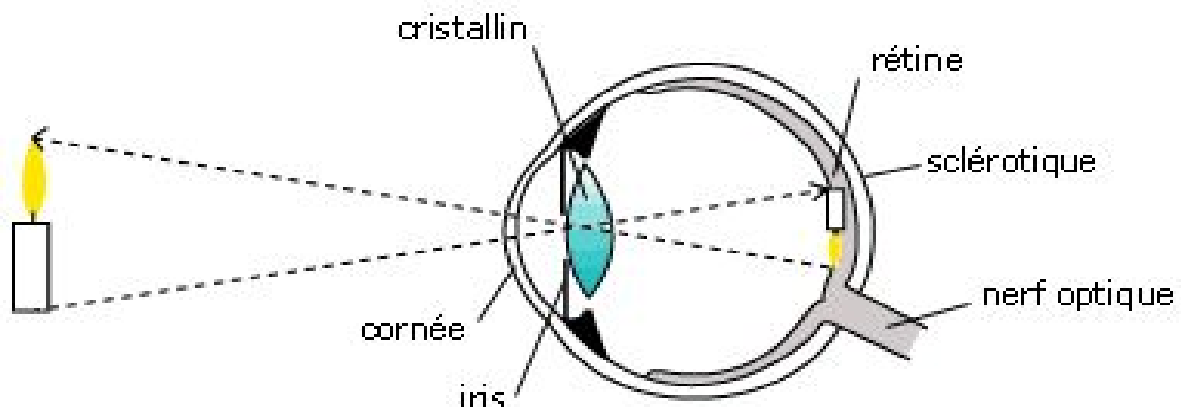
Il s'agit donc dans un premier temps d'analyser le fonctionnement de l'œil pour mieux comprendre comment celui-ci perçoit le relief.

## 1°) Le fonctionnement de l'œil

### A) Structure de l'œil humain

Afin de bien comprendre la manière dont l'œil voit le relief, il est important de comprendre le fonctionnement de l'œil, comment celui-ci traite les rayons lumineux qui parviennent jusqu'à lui.

Dans l'Antiquité, bons nombres de scientifique ont essayé de savoir comment l'œil pouvait voir les couleurs. Certains pensaient que les objets que nous regardions envoient des sortes d'émanations lumineuses à nos yeux et que c'est donc de cette manière que nous arrivions à percevoir les couleurs. D'autres imaginaient que c'étaient nos yeux qui envoient ces mêmes émanations sur les objets qui se trouvaient dans notre champ de vision (de la même manière que les dauphins utilisent l'écholocation pour se diriger). Aujourd'hui, grâce aux avancées scientifique, nous savons que lorsque nous regardons un endroit, tout ce qui se trouve dans notre champ de vision (que ce soit des objets, des animaux ou bien des paysages) nous renvoie des rayons lumineux. Ces rayons parviennent jusqu'à nos yeux et traversent le cristallin qui fait office de lentille convergente (c'est à dire que cette lentille fait en sorte que les rayons lumineux se dirigent tous en un même point). C'est rayons convergent donc pour aller se former à l'envers sur la rétine en un point que l'on nommera le foyer (aussi appelé point focal).



## B) Troubles de la vision liés à dus à un fonctionnement défectueux du système optique:

Il est impératif que le foyer se trouve sur la rétine. Dans le cas contraire (s'il est trop loin ou bien trop proche), l'image de l'objet regardé sera floue. C'est dans c'est cas là que l'on parle de trouble de la vision. Ce mauvais réglage du cristallin est dû aux muscles qui l'encadrent. Ces derniers ont pour but de presser ou de relâcher la lentille de notre oeil pour la bomber d'avantage et faire en sorte que les rayons lumineux convergent de plus belle dans le cas où on la compresse, ou inversement de la relâcher pour que les rayons soient moins convergents.

Chez certaines personnes, les muscles qui encadrent le cristallin n'arrivent pas bien à se contracter ou à se relâcher, ainsi les rayons lumineux ne viennent pas converger sur la rétine et s'est donc ce qui produit cette impression de vision flou.

Il existe plusieurs types de défauts visuels lié au cristallin parmi lesquels on retrouve:

- La myopie: dans ce cas-là, le cristallin est trop bombé et les rayons convergent avec exagération. Par conséquent, le foyer se retrouve devant la rétine et ce sont les objets les plus lointains qui apparaissent flous.
- La presbytie: Tout au contraire de la myopie, ce défaut visuel touche le plus souvent les personnes âgées. Pour cause, le cristallin n'est plus capable d'accommoder suffisamment (en raison des muscles qui n'arrivent plus à presser la lentille) et les rayons ne convergent pas assez. Le foyer se retrouve donc derrière la rétine et cette fois-ci, ce sont les objets proches qui semblent flous.

Dans tous ces cas de troubles de la vision, le port de lunettes de vues est impératif pour pouvoir retrouver une vision stable. Le rôle de ces lunettes est de modifier la vue de celui qui les porte. Pour cela, on place une lentille (qui sont en réalité les verres) qui a pour but de soit de faire converger les rayons davantage dans les cas de presbytie, soit de les faire moins converger dans les cas contraire. Tout cela ayant pour objectif final de replacer le foyer sur la rétine

## 2°) Captations et cheminement des informations visuelle jusqu'au cerveau:

### A) Captation des informations visuelles :

Sur la rétine, on trouve des photorécepteurs<sup>1</sup> qui ont pour objectif de capter les informations visuelles mais également de convertir l'énergie lumineuse des rayons en impulsions électriques (qui se compte par milliard).

---

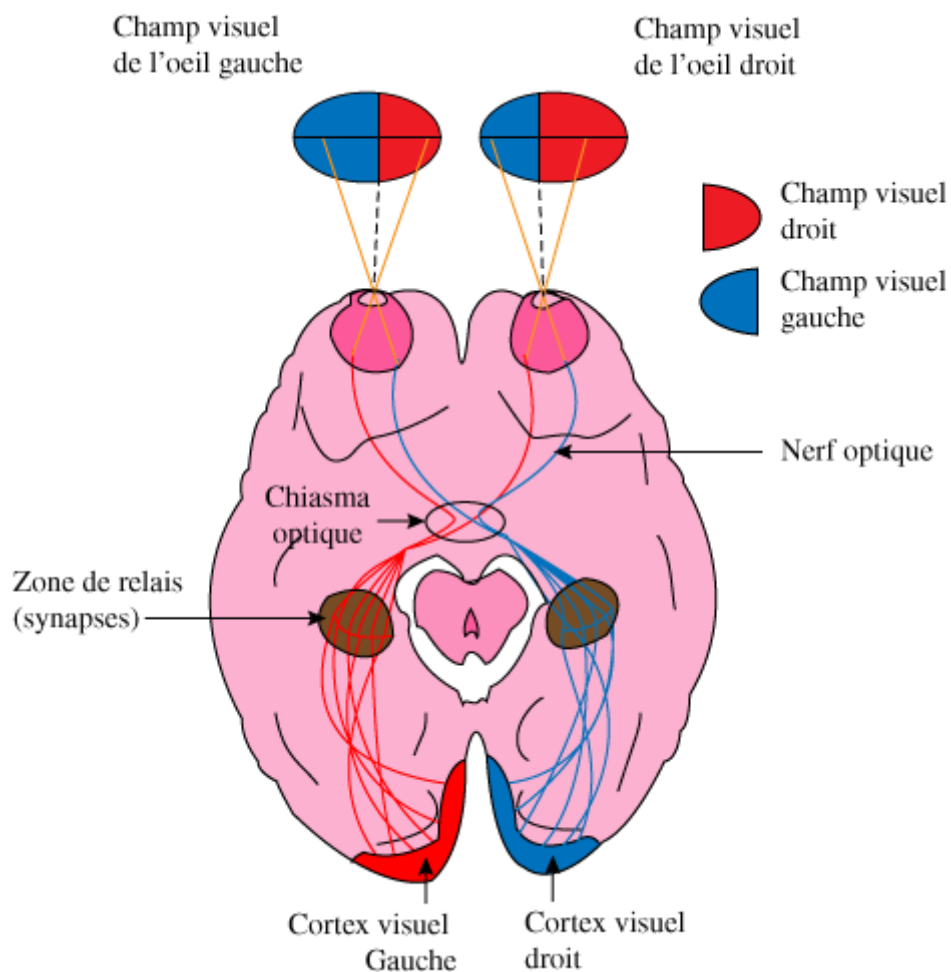
<sup>1</sup> Photorécepteurs: neurone sensoriel sensible à la lumière.

## B) Cheminement des informations visuelles de l'oeil au cortex visuel:

Chez l'être humain, c'est la droite du cerveau qui s'occupe de contrôler la partie gauche de notre corps et inversement. Par exemple si je veux lever mon bras droits, c'est la partie gauche de mon cerveau qui va s'en occuper. Cependant pour les yeux, ce principe n'est pas tout à fait le même. L'œil va recevoir des rayons lumineux venant à la fois de la droite et de la gauche. Les informations du champ visuel de droite vont venir sur la partie gauche de la rétine et réciproquement.

Ensuite, les informations lumineuses vont se diriger vers le chiasma optique où on décide de quel côté du cortex visuel les impulsions doivent se diriger. Celles provenant de la partie gauche de la rétine (et donc la droite de notre champs visuel) vont aller à gauche et celles de droites à droite.

Enfin les impulsions arrivent dans le cortex visuel et c'est ici que les informations sont traitées. La partie droite du cortex détient les informations de la partie gauche de notre champs de vision et inversement; et donc, pour bien comprendre ce qui se trouvent devant nos yeux, les deux partie du cortex vont communiquées entre elles dans le colliculus supérieur et le pretectum et vont donc pouvoir analyser parfaitement notre champs de visons.



### 3°) Notion de relief

C'est Euclide qui définit le premier le principe du relief en affirmant: " Voir le relief, c'est recevoir, au moyen de chaque œil, l'impression simultanée de deux images dissemblables du même sujet. "

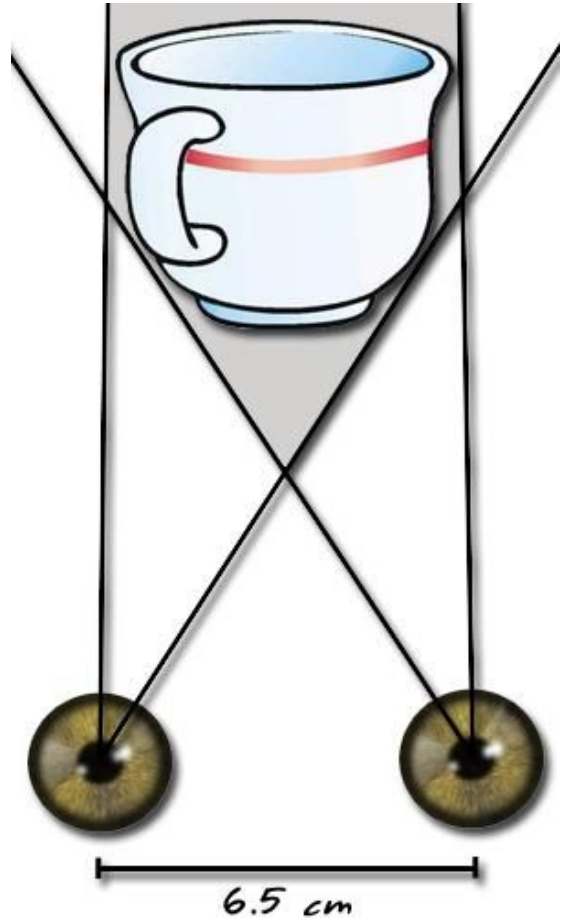
En effet, il faut bien comprendre que si nous voyons en relief, c'est uniquement grâce à notre vision binoculaire.

#### A) Notion de parallaxe

Dans le domaine de la vision, la notion de parallaxe réside dans le fait que nos deux yeux soient distant d'environ 6,5 cm. Ainsi, les axes visuels de chaque œil convergent sur l'objet observé pour venir former un angle que l'on nommera l'erreur de parallaxe (voir schéma ci-contre).

Les personnes dotées d'une vision monoculaire<sup>2</sup> ont donc un angle de parallaxe nul puisqu'aucun angle ne peut se former avec un seul axe visuel. C'est donc pour cette raison qu'ils ne peuvent percevoir le relief.

Il est également important de souligner que cet angle de parallaxe varie en fonction de la distance de l'objet. En effet, plus l'objet est proche, plus l'angle est obtus et inversement, plus l'objet est éloigné, plus l'angle est aigu. Notre cerveau interprète cet angle comme une distance et c'est de cette manière que nous arrivons à définir les différents plans dans lesquels sont placés les objets que nous observons, les distances qui les séparent les uns des autres et donc le relief.



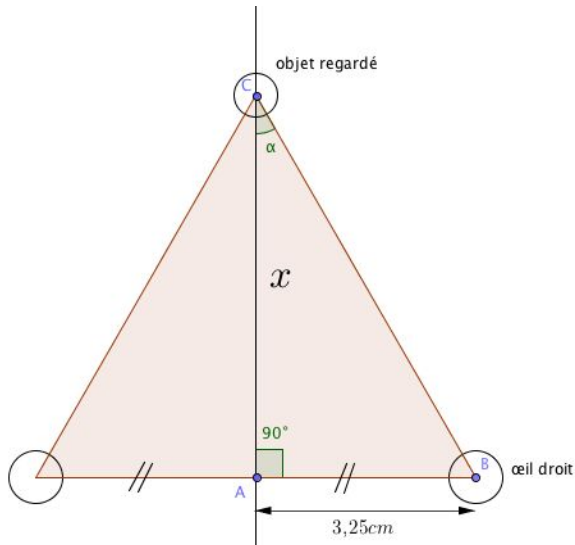
<sup>2</sup> vision monoculaire: mode de vision dans lequel un seul œil est utilisé.

## B) Calcul de l'angle de parallaxe

L'objectif est de calculer l'angle de parallaxe en fonction de l'écart entre nous et l'objet observé. Pour cela, nous allons définir la fonction  $f$  qui associe à cette distance (notée  $x$ ) l'angle de parallaxe correspondant.

### 1) Schéma de notre vision :

Pour nous aider à déterminer cette fonction, nous allons schématiser notre vision grâce à un triangle isocèle (voir dessin ci-dessous) :



Sur le schéma ci-contre :

- $x$  représente la distance entre nous et l'objet ;
- le point A correspond au milieu de l'écart entre nos deux yeux ;
- le point B représente notre œil droit ;
- le point C représente l'objet observé ;
- $\alpha$  représente de demi-angle de parallaxe  $\widehat{ACB}$

Ainsi,

- $AB = 3,25\text{ cm}$  (car l'écart de nos yeux vaut  $6,5\text{ cm}$ )
- $\widehat{CAB} = 90^\circ$

### 2) Ensemble de définition :

Nous pouvons déterminer l'ensemble de définition de la fonction  $f$  avec un simple raisonnement.

Tout d'abord, la distance  $x$  ne peut pas être négative ni égale à 0 car l'être humain n'a pas la capacité de loucher au-delà de  $0^\circ$  ;

Et ensuite, l'objet regardé n'ayant pas de distance limite, la distance  $x$  peut être infinie.

Donc, la fonction  $f$  est définie sur  $]0 ; +\infty[$ .

### 3) Détermination de la fonction $f$ :

$$\begin{aligned}\tan(\alpha) &= \frac{\text{coté opposé}}{\text{coté adjacent}} \\ &= \frac{AB}{AC} \\ &= \frac{3,25}{x}\end{aligned}$$

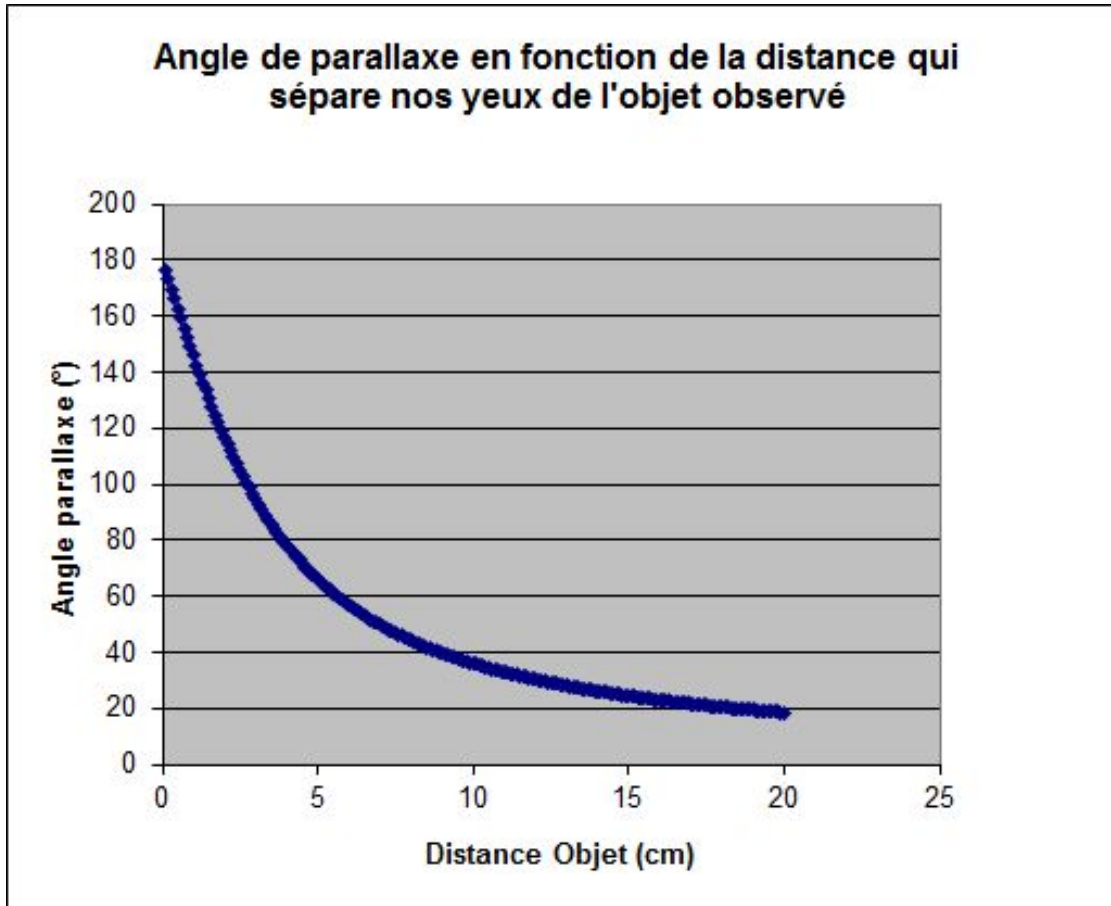
$$\text{Donc } \alpha = \arctan\left(\frac{3,25}{x}\right)$$

Or nous ne cherchons pas le demi-angle de parallaxe mais bien l'angle complet,  
Donc  $f(x) = 2 \times \arctan\left(\frac{3,25}{x}\right)$

Nous pourrions garder cette fonction dans l'état avec un résultat en radian, mais afin que le résultat soit plus parlant, nous allons le transformer en degrés. Pour cela, il suffit simplement de multiplier la fonction  $f$  par  $\frac{180}{\pi}$

$$\text{Donc } f(x) = 2 \times \arctan\left(\frac{3,25}{x}\right) \times \frac{180}{\pi}$$

Représentation graphique de la fonction  $f$  :



(Courbe réalisée avec Excel)

A la vue de la représentation graphique de la fonction  $f$  nous pouvons en déduire plusieurs choses :

- Plus la distance est grande, plus l'angle de parallaxe est petit, c'est pour cette raison que le relief est plus visible sur des objets proches que sur des objets lointains.
- Plus la distance augmente, plus l'angle de parallaxe réduit rapidement. C'est pourquoi lorsqu'on regarde une voiture au loin, de face ; on ignore parfois si celle-ci avance ou non. Mais lorsqu'elle se rapproche assez, on se rend alors compte qu'elle avance belle et bien.



### C) Couple stéréoscopique

Nous venons donc de vous expliquer qu'il est indispensable d'avoir deux images pour voir en relief. Par conséquent, nous pouvons deviner que la seule façon de reproduire le relief est de fusionner deux images d'un même objet très légèrement décalées l'une de l'autre de la même manière que notre cerveau la fait avec les images provenant de nos yeux.

Pour poursuivre notre étude, nous avons besoin de définir ce qu'est un couple stéréoscopique. Il s'agit de deux images presque identiques mais prises de deux points de vue légèrement différents qui doivent cependant impérativement se trouver à la même hauteur et à la même distance de l'objet.

Le but du couple stéréoscopique est de reproduire les images de chacun de nos yeux.

Nous verrons par la suite qu'il existe plusieurs méthodes pour fusionner ces images comme notre cerveau le fait si bien afin de percevoir ces images en relief.



(Exemple d'un couple stéréoscopique)

### D) Problèmes de vision liés à la morphologie

Vous aurez donc compris que pour percevoir le relief, il est indispensable d'avoir deux images et donc bien évidemment deux yeux. Alors vous devez probablement vous demander si les borgnes ont la même vision que nous, et si oui comment cela est-il possible puisqu'ils n'ont qu'un seul œil et donc aucune erreur de parallaxe. Et bien il est vrai que les personnes borgnes ne peuvent pas à proprement parler voir en relief. Cependant, ils utilisent d'autres moyens pour estimer les distances (leur cerveau compense le déficit) :

- la différence de taille des objets (si deux objets sont identiques, celui qui paraît le plus petit est le plus éloigné)
- les informations de positionnement (si un objet en cache partiellement un autre, celui qui est caché est plus éloigné)
- l'observation des ombres
- les mouvements (si deux objets se déplacent latéralement à la même vitesse, le plus éloigné paraît parcourir moins de chemin)
- etc.

En fait, la vision binoculaire sert surtout à apprécier les distances axiales (dans l'axe de l'œil) et moins les distances latéralement.

Pour vous en rendre compte, il existe une expérience très simple. Placez-vous devant un évier pour verser l'eau d'une carafe dans un verre. Dans un premier temps restez debout



regard à environ 40 cm du verre. Fermez un œil et versez l'eau dans le verre, vous devez y arriver sans trop de difficultés car vous devez apprécier les distances latéralement. Puis asseyez-vous de façon à ce que vos yeux soient à la même hauteur que le verre. Fermez un œil et essayez de verser rapidement sans en mettre à côté... c'est moins facile!

Les borgnes ne sont pas les seuls à avoir des problèmes de perception du relief, les personnes atteintes

de strabismes y rencontrent également des difficultés. Pour bien comprendre cela, il faut déjà savoir en quoi consiste cette anomalie.

Le strabisme est un problème visuel caractérisé par un défaut de parallélisme dans l'alignement des yeux. En effet, les personnes souffrants de strabismes ont un œil « normal » et un autre qui devie de sa trajectoire. Le strabisme est classé en fonction de la direction du désalignement:

- L'ésotropie: un œil se dirige vers l'intérieur. Aussi appelé strabisme convergent.
- L'exotropie: un œil se dirige vers l'extérieur. Egalement appelé strabisme divergent.
- L'hypertropie: un œil se dirige vers le haut
- L'hypotropie: un œil se dirige vers le bas



Le regard des personnes atteintes de strabisme n'ont donc pas les yeux qui convergent correctement (voir pas du tout) et par conséquent ces personnes rencontrent certaines difficultés toujours dans la perception du relief. En effet, l'erreur de parallaxe qui crée normalement le relief ne peut être présente avec un strabisme puisque les axes visuels ne viendront jamais se croiser et ne formeront donc jamais l'angle de parallaxe (l'ésotropie est à considérer différemment puisque ces axes visuels convergent bien mais ne viennent pas former l'angle de parallaxe attendu).

Heureusement, il est aujourd'hui possible de traiter cette anomalie grâce à plusieurs méthodes:

- L'opération lorsque le strabisme est trop sévère ;
- Les verres correcteurs pour aider à redresser les déviations oculaires ;
- Des exercices peuvent qui peuvent aider à renforcer les muscles oculaires ;
- Ect.

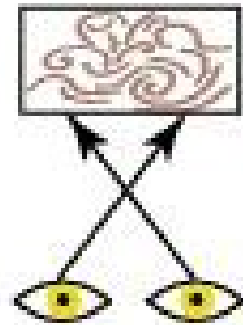
Sans ces traitements, les personnes atteintes de strabismes utilisent les mêmes méthodes que les borgnes pour appréhender le relief.

## 4°) Comment observer le relief sans instrument ?

Nous verrons dans une seconde qu'il existe de nombreuses méthodes grâce auxquelles nous pouvons facilement observer le relief. Cependant, nous allons d'abord voir qu'il est possible d'observer certaines images en relief sans même avoir besoin d'utiliser des lunettes ou même un stéréoscope. Pour cela différentes méthodes sont possibles :

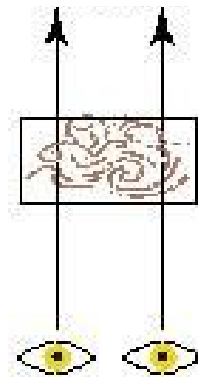
- La vision croisée :

Ce mode de vision est utilisé pour observer une image en relief principalement lorsque celle-ci est sous la forme d'un couple stéréoscopique. Le principe est simple, il faut tenir ce dernier à une distance d'environ 25 cm de ses yeux et commencer à loucher pour que les deux images viennent en former une troisième en relief cette fois-ci. Cependant, cette technique nécessite un peu d'entraînement et certaines personnes n'y arrivent même pas du tout. De plus, elle fait rapidement mal aux yeux puisque ce n'est pas naturel et que l'on demande à nos yeux d'effectuer un effort plutôt important.



- La vision parallèle : Cette méthode est utilisée pour observer des images en reliefs en partie quand elles sont mises sous la forme de stéréogramme<sup>3</sup>. Contrairement à la vision croisée où il fallait essayer de faire converger ses yeux un maximum, l'objectif de la vision parallèle est de garder son regard le plus parallèle possible (comme nous le montre le schéma ci-contre). Il faut essayer de regarder l'image comme si celle-ci se trouvait à l'infini (bien qu'elle se trouve en réalité à environ 25cm de nos yeux) et avoir le regard "dans le flou".

Toutefois, cette technique est assez difficile à effectuer et seule une petite partie de la population y arrive.



---

<sup>3</sup> Stéréogramme : Un stéréogramme est une image calculée par ordinateur. On part d'une image à motif comme du papier peint par exemple, et on déforme légèrement le motif sur l'ordinateur d'une façon particulière et qui dépend du relief que l'on cherche à faire apparaître.

Nous venons de vous exposer les deux méthodes utilisées pour observer des images en relief librement ainsi que la difficulté de ces dernières. Alors, nous vous proposons maintenant d'expérimenter de vous-même ces deux méthodes.

Pour commencer, voilà un couple stéréoscopique qui devrait être facile à regarder en relief grâce à la technique de la vision croisée :



Et maintenant, si vous voulez vous essayer à la vision parallèle, voici un stéréogramme relativement simple :



(Si votre vision vous le permet, vous devriez normalement parvenir à voir un avion A747

Nous avons donc vu dans cette première partie comment l'œil était constitué et la manière dont les informations visuelles arrivaient au cerveau. Nous avons également étudié de quelle manière l'Homme pouvait, grâce à une vision binoculaire, percevoir le relief ainsi que les deux différentes méthodes que nous pouvions utiliser pour arriver à voir le relief sur des images ou photos.

Ainsi, dans une seconde partie nous envisagerons les techniques utilisées pour reproduire le relief que ce soit sur des photos ou bien des films comme au cinéma.

## II) La représentation du relief

Dans une seconde partie, nous étudierons plus largement l'évolution de la stéréoscopie au cours du temps puis nous analyserons une méthode stéréoscopique très utilisée au cinéma, la polarisation.

### 1°) La stéréoscopie

#### A) La découverte de la stéréoscopie

La vision stéréoscopique représente notre capacité à voir en relief. Elle est liée à l'interaction entre nos deux yeux. Quand on observe un objet, chaque oeil le perçoit avec un angle différent et un léger décalage. Dans ces conditions, lorsque que vous fermez un oeil, puis l'autre vous pouvez remarquer que l'image que vous obtenez est différente selon votre oeil. C'est alors notre cerveau qui utilisera ce décalage pour superposer les deux images et nous transmettre la perception du relief.

Le stéréoscope, un appareil de vision stéréoscopique, cultive cette faculté du cerveau humain pour donner du relief à une image ou à une photographie.

Il apparaît donc évident que nous ne pouvons dissocier l'histoire de la stéréoscopie à celle de la photographie.

#### ***L'histoire de la photographie:***

- Depuis la nuit des temps, nos ancêtres sont fascinés par les étoiles et la Lune et cherchent à fabriquer des appareils pour les observer. C'est ainsi que nous pouvons retrouver de nombreux travaux sur des lentilles ( ancêtre de l'objectif <sup>4</sup> ) partout dans le monde.
- Cependant l'histoire de la photographie commence réellement avec Nicéphore Niépce, un ingénieur français qui synthétise toutes les recherches précédentes sur le sujet, en 1816. Onze années plus tard, en 1827, il parvient à réaliser sa toute première photographie qu'il nommera le *Point de vue du Gras*. Sa technique nécessitait une plaque d'étain et du bitume de Judée <sup>5</sup> et semblait fastidieuse puisque son temps de pose était de plusieurs jours.
- Par la suite, il s'associe à Louis Daguerre en 1829 pour mettre en commun leurs découvertes. Le but premier étant de perfectionner la technique utilisée par Niépce. Malgré tout, la mort subite de ce dernier, en 1833, permettra à Daguerre d'avoir une totale maîtrise du projet. C'est alors qu'il poursuivra ses recherches et créera le daguerréotype, un procédé photographique utilisant une plaque de cuivre recouverte d'argent. On l'expose alors à des vapeurs de mercure chauffées qui se condensent sur la plaque et forment des alliages métalliques seulement aux endroits où la lumière a agi. Ce procédé connaît alors un immense succès et sera commercialisé dans toute la France.
- En 1884, Georges Eastman conçoit les premières pellicules en bobine. Quatre ans plus tard il met sur le marché son appareil photo "Kodak" qui révolutionne son temps, puisqu'il permet de prendre 100 photos et qu'il ne coûtait que 25 euros.

---

<sup>4</sup> Objectif : système optique d'un appareil photographique.

<sup>5</sup> Bitume : pigment organique d'origine fossile.

- Le XXe siècle est également à l'origine de petites révolutions photographiques telles que l'exploitation du système réflex à la sortie de la 2e guerre mondiale ou encore l'invention du polaroid en 1947 qui traduit une photo instantanée. Cependant l'apparition du numérique dans les années 1990 marquera l'histoire de la photographie grâce encore une fois à l'industrie Kodak.

De nos jours, la photo numérique est encore au centre du marché grâce à des techniques beaucoup plus performantes et innovantes.

### ***L'histoire de la stéréoscopie:***

La stéréoscopie apparaît dès le milieu du XIXe siècle et a constitué une incroyable expérience pour représenter l'espace en trois dimensions tel que nous le voyons.

- Son histoire débute avec Charles Wheatstone qui cherche, un moyen pour observer les dessins en relief en 1832. C'est alors qu'il invente en 1838 le premier stéréoscope à miroir qui lui vaudra d'être lauréat de la Royal Medal. Il utilise cependant des dessins de formes géométriques élémentaires ou des objets très simples. La photographie naissant quelques mois plus tard, il lui vint à l'idée de commander des photographies stéréoscopiques pour parfaire son invention et la rendre plus impressionnante.

- Ensuite, David Brewster, un anglais, met au point en 1844 son stéréoscope à deux lentilles qui apparaît en fait comme une amélioration de celui de Wheatstone. Son invention est présentée à la Royal Scottish Society of Arts en 1849 et est jugée beaucoup plus pratique car il peut être porté à deux mains. Ici l'effet stéréoscopique est obtenu non plus par réflexion mais par réfraction grâce aux deux lentilles faisant office de prismes.

En quête de reconnaissance pour son appareil, il se rend à Paris où il fait connaissance avec l'abbé Moigno qui, grâce à ses nombreux contacts, pourra lancer la production, à grande échelle, d'un nouveau stéréoscope. Étant convaincu du fort potentiel que l'appareil présentait, Jules Duboscq, un célèbre fabricant français, décide d'exposer cette invention à l'Exposition Universelle de Londres en 1850. C'est ainsi que la reine Victoria, conquise par ce système, permettra de faire évoluer le statut du stéréoscope passant d'invention scientifique à un objet destiné au commerce. La nouvelle mode est lancée rapidement et les commandes affluent.

- Non seulement le marché des appareils stéréoscopiques explose mais également celui des photographies stéréoscopiques. Une véritable industrie se développe donc à Londres puis à Paris qui deviennent les lieux où sont fabriquées le plus d'images stéréoscopiques.

De nouvelles techniques se développent telles que le collodion humide<sup>6</sup> ou le papier albuminé<sup>7</sup> qui permettent de faire baisser les coûts de production puisqu'elles représentent de vrais progrès. C'est alors que la stéréoscopie est en plein essor. Des associations de stéréoscopiques se créent tout d'abord en Angleterre avec la Stereoscopic Society à Londres en 1893, puis en France le Stéréo-Club Français fondé en 1903 par Benjamin Lihou.

- De nos jours, la stéréoscopie est encore bien présente. En effet nous pouvons la retrouver avec les techniques IMAX qui nous permettent de voir des films en trois dimensions au cinéma ou dans des parcs d'attractions tels que le Futuroscope qui donne la possibilité à ses visiteurs de plonger dans des mondes fictifs. Elle a aussi été intégrée dans certaines télévisions qui nécessitent des lunettes pour voir en relief. Cependant, dans le domaine des

---

<sup>6</sup> Collodion humide : Permet d'obtenir des clichés d'une très grande finesse de grain et capable de rendre une plage de gris très étendu

<sup>7</sup> Papier albuminé : L'image ne se forme pas sur les fibres du papier mais à l'intérieur de la couche d'albumine, raison pour laquelle on obtient une meilleure définition et contraste

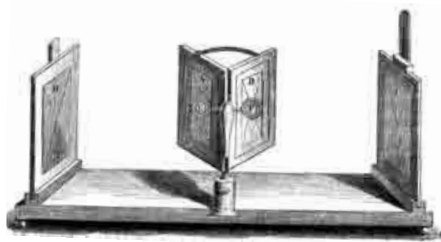
jeux vidéos, la Nintendo 3DS pouvait transformer l'image du jeu en image relief sans que le joueur ne porte de lunettes, grâce à l'auto-stéréoscopie à barrière de parallaxe<sup>8</sup>. Enfin même la NASA l'utilise pour photographier en relief le soleil et les sols des planètes du système solaire.

## B) L'évolution des appareils de vision stéréoscopique

Au fil du temps, le savoir sur la vision binoculaire n'a cessé d'évoluer, tout comme les techniques stéréoscopiques utilisées. De nombreux appareils nommés "stéréoscopes" ont vu le jour et ont permis à toute personne, dotée de ses deux yeux, de voir en relief.

### **Le stéréoscope de Wheatstone:**

Il a été conçu en 1838 par Charles Wheatstone, un physicien et inventeur anglais. Ce tout premier modèle dispose de deux miroirs à 90° au centre et permet de mettre sur le plateau de gauche, l'image gauche et sur le plateau de droite, l'image droite. Il forme alors un stéréoscope à réflexion pratique pour démontrer la superposition des images, mais encombrant.



### **Le stéréoscope de Brewster:**

David Brewster est un physicien écossais, inventeur du kaléidoscope et à l'origine de la loi de Brewster. Il met au point un stéréoscope à deux lentilles en 1844. Un prisme est placé dans chaque tuyaux qui traduit la réfraction des images. Au milieu de la boîte se trouve une cloison qui permet à l'utilisateur de voir l'image sans provoquer une fatigue due à l'effet stéréoscopique. Ce système apparaît comme beaucoup plus pratique que son prédécesseur puisqu'il peut être tenu à deux mains.



### **Le stéréoscope de Holmes:**

Il est inventé en 1850 par Olivier Wendell Holmes. Il nécessite un couple d'images stéréoscopiques. L'utilisateur ne peut voir avec chaque œil que l'image destinée à son œil

---

<sup>8</sup> Barrière de parallaxe : sorte de filtre qui dédouble les images atteignant l'œil gauche et l'œil droit avec une impression de relief.



droit ou gauche grâce à une paroi. De plus, son front prend appui sur une oeillère qui lui permet d'être stable et de ne pas avoir de lumières parasites dans les yeux.



### **Le stéréoscope de table:**

Il est semblable aux précédents mais occupe beaucoup plus d'espace, c'est un véritable meuble. Une nouvelle fonctionnalité apparaît : on peut désormais stocker les images à l'intérieur et les faire défiler grâce à une mécanique de chaîne. Il suffit de tourner les boutons sur les côtés.



Les appareils de vision stéréoscopique sont de nos jours moins exploités bien que nous puissions en trouver facilement. La marque Loreo a créé des stéréoscopes en carton et pliables permettant de voir un couple stéréoscopique en trois dimensions. Il est alors beaucoup plus transportable et tout aussi efficace.

## **C) La création d'images stéréoscopiques**

Une image stéréoscopique est créée sous le même principe que notre vision binoculaire : il nécessite deux images légèrement décalées et bien alignées. Il existe alors deux principales techniques utilisées pour obtenir une image stéréoscopique.

### **La prise de vue en deux temps dite "cha-cha":**

Cette méthode implique un modèle statique et un appareil photo. Elle consiste à prendre une première photo du modèle en prenant appui sur l'une de ses jambes, puis sans bouger les pieds prendre une seconde photo en prenant appui sur son autre jambe. Le décalage correspond l'écartement entre nos deux yeux (6,5 cm environ ).



### **La prise de vue en un temps:**

Pour cela nous avons besoin d'un appareil avec deux objectifs comme par exemple le Fujifilm w3 conçu spécialement pour les images en relief. Ainsi, il prend simultanément deux photos d'un même objet qu'il superposera par la suite.



### **L'utilisation de logiciels:**

StereoPhoto Maker ou Anabuilder sont des logiciels spécialisés dans la stéréoscopie qui permettent à l'utilisateur de bien positionner les images en les alignant et recadrant pour que le relief soit le mieux possible. Grâce à eux il est possible de disposer les images sous toutes les techniques du relief : anaglyphe, vision croisée, vision parallèle, couple stéréoscopique...

NB : Plus l'objet photographié est petit, plus l'écartement des deux photos doit être faible. A l'inverse plus l'objet est imposant plus l'écartement doit être important. La règle du trentième permet de calculer l'écartement que devraient avoir les deux prises de vue en fonction de la distance entre l'objet et l'appareil. Par exemple une abeille se situant à 30 cm de l'appareil donne un écartement entre les images de :  $\frac{1}{30} \times 30 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$

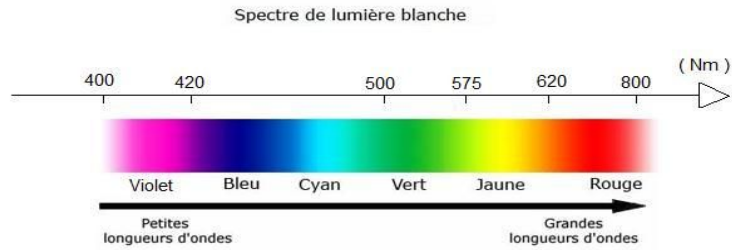
## **[2°\) Une technique du relief : la polarisation](#)**

Pour comprendre le fonctionnement de cette méthode stéréoscopique nous devons tout d'abord définir ce qu'est la lumière dite polarisée.

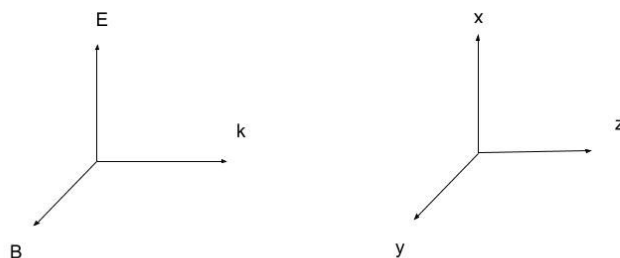
### **[A\) La lumière polarisée](#)**

La lumière est un phénomène physique correspondant à un transport d'énergie sans transport de matière. Dans son acception générale de lumière visible, elle est constituée de

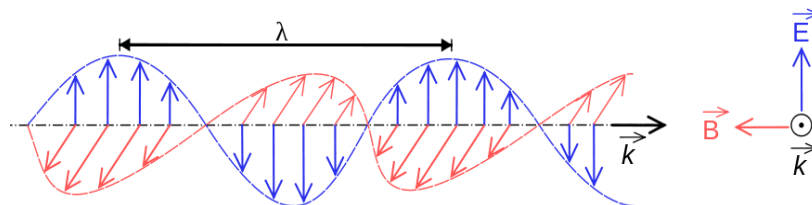
l'ensemble des ondes électromagnétiques perçues par la vision humaine, c'est-à-dire dont les longueurs d'ondes, dans le vide, sont comprises entre 380 nm (violet) et 780 nm (rouge)  
voir schéma ci-dessous



La lumière est une onde, soit une perturbation d'un milieu physique ou d'un champ consistant en une vibration ou une oscillation. On dit qu'elle est décrite par des signaux qui oscillent dans l'espace et le temps. Ces signaux sont les champs électrique E et magnétique B, d'où le nom d'onde électromagnétique. Ces deux champs ont une direction et sont perpendiculaires, entre eux, et à la direction de propagation de l'onde que l'on nomme k. Ces trois vecteurs forment un **trièdre orthonormé direct** s'écrivant sous la forme (k ; E ; B).



Une onde électromagnétique est caractérisée par : sa période T en seconde, sa fréquence  $\nu$  en Hertz , sa longueur d'onde  $\lambda$  en mètre, son amplitude ou intensité lumineuse I en  $\text{W/m}^2$  et sa célérité c en m/s . Elle est la résultante d'un champ électrique et d'un champ magnétique dont les amplitudes varient de façon ondulatoire, dite **sinusoïdale**<sup>9</sup>, au cours du temps.



Sur ce schéma, nous pouvons voir l'oscillation du champ magnétique B caractérisée par les flèches rouges, et du champ électrique E par les flèches bleues. Elles évoluent selon leur direction de propagation k.

<sup>9</sup> Sinusoïdal : Qui fait des sinuosités, des zigzags.

## ***Attachons-nous désormais à la polarisation de la lumière.***

Historiquement, Etienne-Louis Malus est le premier à utiliser le terme “polarisation”. En effet, il découvre que la lumière du soleil couchant observée après réflexion puis à travers un cristal biréfringent <sup>10</sup> change d'intensité avec la rotation du cristal. Il publie ses travaux en 1810 et reçoit alors le prix de l'Académie des Sciences.

Suivant les traces de Malus, d'autres grands scientifiques permettront d'élargir les connaissances liées à la polarisation de la lumière avec notamment :

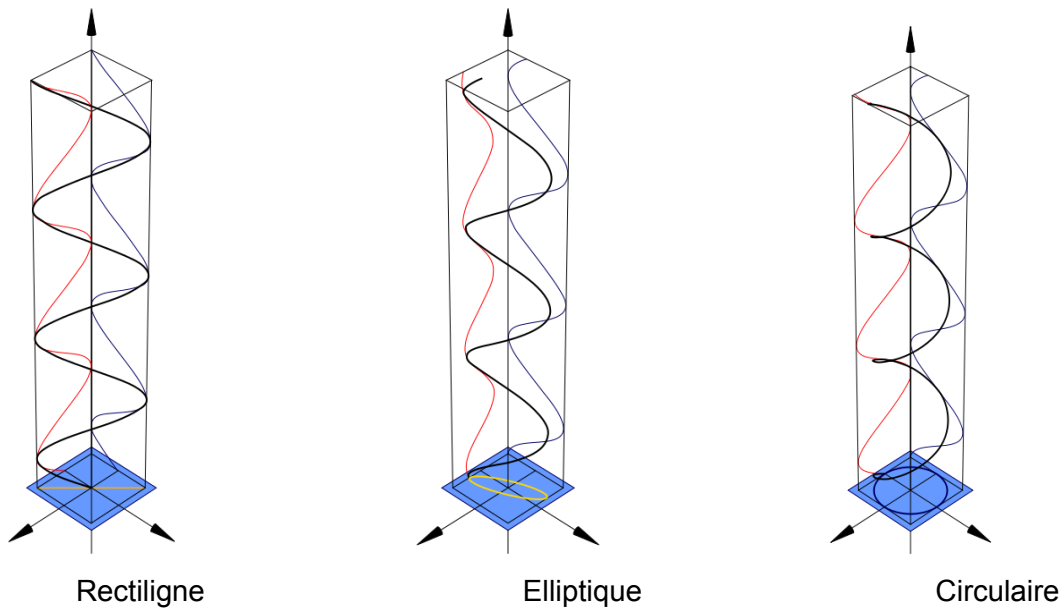
- David Brewster qui, grâce à ses résultats expérimentaux, a défini des lois sur la polarisation par réflexion avec par exemple l'angle de Brewster.
- Michael Faraday qui découvre en 1845 un effet magnéto-optique nommé l'effet Faraday qui décrit l'interaction entre la lumière et un champ magnétique dans un matériau. Son expérience consistait à faire traverser un faisceau de lumière polarisée rectilignement dans un matériau exposé à un champ magnétique orienté dans la direction de propagation de la lumière. A sa sortie, la direction de propagation du matériau est changée, prouvant que la lumière est sous l'effet d'un champ magnétique.
- James Clerk Maxwell qui réalise une synthèse des travaux effectués par ses prédécesseurs sur la lumière et la polarisation avec les équations de Maxwell.
- Pieter Zeeman qui découvre que certaines raies d'émission spectrales d'un spectre atomique soumis à un champs magnétique peuvent se diviser en plusieurs composantes polarisées.

### **Mais qu'est ce que la polarisation de la lumière ?**

La polarisation permet de présenter une répartition privilégiée de l'orientation des vibrations qui composent les ondes vectorielles. De ce fait, les ondes électromagnétiques , qui caractérisent la lumière, ont des propriétés de polarisation. Il existe alors trois types de polarisation : on dit que l'onde est polarisée rectilignement/linéairement, elliptiquement ou circulairement. Par ailleurs nous pouvons la rencontrer au quotidien avec par exemple : les affichages à cristaux liquide ( ex: écran d'ordinateur ou montres numériques ) ; la réflexion de la lumière sur une vitre ; les systèmes de vision 3D au cinéma ; les minéraux qui ont des propriétés de biréfringence...

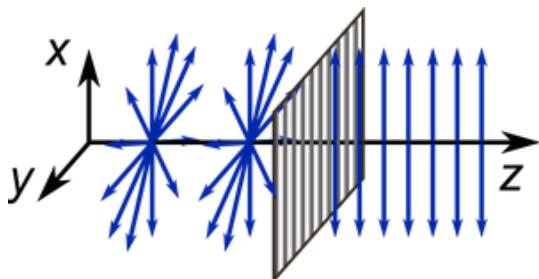
---

<sup>10</sup> Biréfringent : Se dit de certains corps transparents qui ont la propriété de diviser en deux le rayon qui les pénètre.



- Pour la polarisation rectiligne, nous pouvons constater que la courbe noire évolue de manière sinusoïdale, passant par la diagonale du carré bleu dans un plan vertical. On remarque que les deux composantes du champ électrique ( les courbes rouge et bleue ) oscillent en même temps.
- Pour la polarisation elliptique, la courbe noire dessine une hélice s'enroulant autour d'un cylindre vertical dont la base est le cylindre aplati du bas. Les deux composantes présentent un déphasage, c'est à dire que l'une est en retard par rapport à l'autre.
- Pour la polarisation circulaire, la courbe noire représente un ressort qui s'enroule autour d'un cylindre vertical ayant pour base le cercle du bas. Ici, le déphasage des deux composantes correspond à  $90^\circ$ .

Cependant, la lumière naturelle n'est pas polarisée : les champs qui la constituent n'ont pas d'orientation privilégiée dans le plan perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde, et leur phase n'est pas constante dans le temps. Pour la transformer en lumière polarisée, nous pouvons utiliser un filtre polariseur qui permet de ne laisser passer que la composante du champ électrique dans une direction donnée.



Sur ce schéma, on remarque que le faisceau de départ (à gauche) est constitué d'ondes allant dans toutes les directions. En traversant le filtre polariseur (ici linéairement) nous pouvons constater que le faisceau ne contient plus que la polarisation verticale décrite par le filtre.

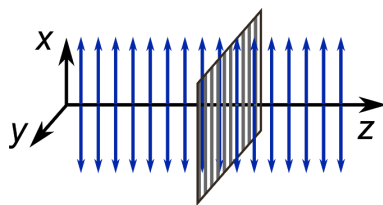
### Comment fonctionne un filtre polariseur ?

Un filtre polariseur est constitué de longues chaînes de molécules orientées dans une même direction. Les molécules conductrices absorbent le champ électrique lorsqu'il est orienté dans la même direction qu'elles et transmettent l'onde lorsque le champ électrique est perpendiculaire à leur orientation. En passant par le filtre, seule la composante du champ électrique perpendiculaire au champ de molécule sera transmise.

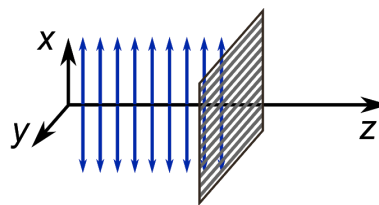
Lorsqu'une lumière non polarisée est transmise par un filtre polariseur, l'intensité de la lumière sortante est la moyenne des intensités incidentes selon l'axe de transmission du polariseur. L'intensité d'une lumière non polarisée comme celle du soleil ou des lampes habituelles diminue de moitié quand elle traverse le filtre.

Cela s'écrit :  $I = \frac{I_0}{2}$

Que se passe-t-il lorsque la lumière envoyée sur le filtre est polarisée linéairement ?



Lumière entièrement transmise



Lumière non transmise

Sur le schéma, nous pouvons voir que quand la lumière incidente est orientée dans le même sens que le filtre, elle le traverse. A l'inverse lorsque la lumière et le filtre sont orthogonaux, la lumière est bloquée et ne le traverse pas.

En résumé :

- La lumière naturelle traduit des orientations du champ E.
- La lumière polarisée traduit une orientation privilégiée du champ E.

### B) La polarisation au cinéma

#### Histoire de la 3D au cinéma:

Pendant la fin du XIXe siècle, le cinéma en relief connaît des débuts difficiles. En effet, William Friese-Green un cinéaste anglais fait breveter en 1890 un processus de projection de deux films simultanément, un pour chaque œil. Le spectateur doit donc utiliser un stéréoscope pour faire converger les deux images. Cette méthode s'avère gênante et n'est donc pas appliquée.

Cependant dès les années 1920, le cinéma 3D connaît son premier succès, notamment grâce au premier film en anaglyphes<sup>11</sup> à arriver sur les écrans : *The Power of Love*.

Par la suite, il rencontrera son premier âge d'or dans les années 1950 avec des films tels que *Bwana Devil* projeté avec une double bande et des filtres polaroïds ou encore *Dial M for Murder* d'Alfred Hitchcock considéré comme le film qui a le mieux exploité la 3D dans son époque.

Les années 1980 permettent un second âge d'or au cinéma en relief notamment grâce à l'arrivée des films IMAX, technique qui consistait à projeter les films sur un immense écran pour améliorer l'impression d'immersion.

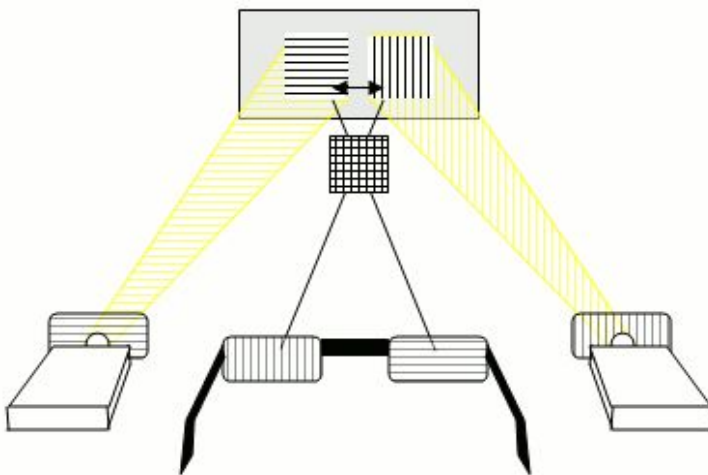
Depuis, le XXe siècle a été considéré comme "l'ère de la 3D". On y retrouve en effet le film *Avatar* de James Cameron datant de 2009 qui a marqué l'histoire du cinéma.

Grâce aux nouvelles technologies, le cinéma 3D ne cesse d'évoluer et s'impose dans les cinémas traditionnels bien qu'il nécessite des coûts beaucoup plus importants.

### **Principe de fonctionnement de la polarisation au cinéma:**

La polarisation est une méthode stéréoscopique permettant la création d'une image en 3D grâce au phénomène de la polarisation de la lumière.

Une projection polarisée au cinéma nécessite deux projecteurs, des lunettes et un écran métallique.



*Ce schéma nous présente une projection avec polarisation rectiligne.*

- Les deux projecteurs sont disposés au fond de la salle et équipés de filtres polarisants : l'un d'un filtre avec une polarité horizontale et l'autre verticale. Ils projettent simultanément la même image en étant décalés de quelques cm.
- Les lunettes contrôlent la lumière qui atteint les yeux. Elles utilisent des filtres polarisants : l'un laisse passer les ondes horizontales et bloque les ondes verticales et inversement pour l'autre.

---

<sup>11</sup> Anaglyphe : Photographie stéréoscopique en deux couleurs donnant l'illusion du relief par utilisation de lunettes bicolores.



- L'écran métallisé ou écran à cristaux liquides<sup>12</sup> est constitué de 6 couches avec des filtres polarisants, des électrodes, des cristaux liquides et un miroir. Il utilise la polarisation de la lumière par le biais des propriétés de biréfringence de certains cristaux. Il conserve alors la polarité des rayons lumineux réfléchis.

### **L'inconvénient d'une polarisation rectiligne:**

Ce type de projection présente en effet un défaut majeur. Lorsque le spectateur penche la tête, les polariseurs ne sont plus alignés et l'oeil voit donc les deux images superposées.

C'est pour cela que la plupart des cinémas utilisent de nos jours une polarisation circulaire. Elle emploie le même type de fonctionnement sauf que les ondes sont polarisées circulairement avec pour l'oeil droit une polarisation dans le sens horaire et pour le l'oeil gauche dans le sens anti-horaire ( selon la disposition des filtres sur les projecteurs ). De plus les lunettes disposent du côté de l'écran, d'une lame  $\frac{1}{4}$  d'onde<sup>13</sup> et du côté de l'oeil, d'un filtre polarisant rectilignement. En fait, la lame transforme les deux images en ondes polarisées linéairement, puis les filtres des verres ne laissent passer qu'une seule des deux images. Son utilisation apparaît donc comme étant optimale car même si le spectateur incline la tête, la polarisation circulaire est toujours vue de la même manière sans perte d'intensité. L'image en 3D est donc parfaitement conservée. Cependant les lunettes polarisées circulairement restent beaucoup plus onéreuses que celles polarisées rectilignement : de 2 à 100 euros.

### **Les lunettes 3D et leurs filtres polarisants:**

Leur utilisation est indispensable pour toute personne souhaitant assister à un film en relief. Sans elles, le spectateur verra deux images superposées légèrement décalées et floues. Pour mieux comprendre comment les lunettes filtrent l'image correspondante à chaque oeil, nous pouvons réaliser une petite expérience :



Expérience réalisée avec deux paires de lunettes 3D polarisées rectilignement.

<sup>12</sup> Cristal liquide : Un état de la matière qui combine des propriétés d'un liquide conventionnelles et celles d'un solide cristallisé.

<sup>13</sup> Lame  $\frac{1}{4}$  d'onde : C'est une lame biréfringente, c'est-à-dire qu'elle présente un indice de réfraction différent selon la polarisation de la lumière incidente.

Sur l'image de gauche, nous pouvons remarquer que les deux paires de lunettes sont disposées l'une devant l'autre. Ainsi les verres sont orientés dans le même sens et laissent tous les deux passer la lumière. A l'inverse sur l'image de droite, les verres sont tournés de sorte que les polarités soient orthogonales. De ce fait, les verres bloquent les ondes et deviennent noirs.

## Conclusion

Pour conclure, nous pouvons désormais répondre à notre problématique : la vision binoculaire est primordiale pour voir en relief. Les informations sont d'abord captées par l'oeil puis transmises à notre cerveau qui les interprète de manière à ce que nous percevions le relief. Des appareils stéréoscopiques sont alors mis à notre disposition pour recréer cet effet de vision en trois dimensions.

Au cours de notre étude, nous avons pu analyser une technique stéréoscopique destinée à leurrer notre cerveaux : la projection polarisée. Elle permet donc de voir des images ou des films en trois dimensions tout en gardant un support par le biais de lunettes polarisées et de deux projecteurs.

Cependant, la vision en relief présente des limites notamment au cinéma.

Premièrement, le coût est plus important, un film en 3D est 10% plus cher à développer qu'un film en 2D. Si ce type de film arrive à s'installer définitivement dans nos salles de cinéma, il faudra s'attendre à une certaine hausse du prix de places. Il faut également rajouter dans les dépenses le prix des équipements utilisés ( lunettes, projecteurs etc...), car la majorité des salles de cinéma n'en disposent pas.

Ensuite, bien que le cinéma en relief soit apprécié des enfants avec les effets qui semblent jaillir des écrans, nombre d'entre eux sont victimes d'une fatigue visuelle due au film auquel ils assistent. Les promoteurs de ces films accordent donc plus d'importance aux nouvelles technologies plutôt que de satisfaire le souhait des spectateurs de vivre une véritable expérience.

Enfin, le contenu cinématographique n'est pas assez varié. La plupart des films sont en 2D ce qui ne permet pas de satisfaire totalement les attentes du public.

Elle reste néanmoins très utilisée au quotidien dans de nombreux domaines, bien qu'elle ne soit pas exploitée dans la totalité de ses capacités. En effet, notre société actuelle ne cesse de progresser et les avancées technologiques évoluent constamment. De ce fait, nous pouvons par exemple envisager de regarder des films en 3D au cinéma sans lunettes d'après le projet de James Cameron qui aurait l'intention de filmer Avatar 2 dans ces conditions.

La 3D pourrait donc très prochainement dépasser les limites qui la contraignent et révolutionner une nouvelle fois notre temps avec de nouvelles techniques stéréoscopiques qui lui permettront de s'inscrire durablement dans l'histoire.

## **Remerciements**

Nous remercions nos professeurs de Sciences de l'Ingénieur, Monsieur Rondache et Monsieur Vasnier ainsi que Madame Tillard professeur de Sciences Physiques, qui nous ont encadré tout au long de notre TPE en nous donnant de précieux conseils et certaines informations.

Nous tenons à remercier plus particulièrement le Stéréo Club Français et notamment deux de ses membres Monsieur François Lagarde et Monsieur Patrick Demaret qui ont su nous accorder du temps pour nous transmettre leur savoir. Grâce à eux, nous avons pu étudier le sujet de la stéréoscopie plus en détail. Leur aide aura été bénéfique non seulement pour notre étude mais également pour notre expérience personnelle.

Enfin, nous remercions nos proches qui nous ont aidé à imprimer notre TPE.

## Sources

### Webographie:

#### I- Vision de l'oeil

1. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Image\\_st%C3%A9r%C3%A9oscopique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Image_st%C3%A9r%C3%A9oscopique)
2. <http://stereo-club.fr/TEMPO/spip.php?page=accueil>
3. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Vision\\_binoculaire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Vision_binoculaire)
4. <http://sante-medecine.journaldesfemmes.fr/faq/33180-vision-binoculaire-definition>
5. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Trois\\_dimensions](https://fr.wikipedia.org/wiki/Trois_dimensions)
6. <https://fr.wikipedia.org/wiki/St%C3%A9r%C3%A9oscopie>
7. [http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve\\_tulloue/optiqueGeo/instruments/correction.php](http://www.sciences.univ-nantes.fr/sites/genevieve_tulloue/optiqueGeo/instruments/correction.php)
8. <http://www.ac-nice.fr/clea/lunap/html/Couleurs/CoulApprof.html>
9. <http://sante-medecine.journaldesfemmes.fr/faq/36396-troubles-de-la-vision-symptomes-et-definitions>
10. <http://strabisme.org/>
11. <https://www.aix-planetarium.fr/ficimages/Parallaxe.pdf>
12. [http://www.stereo-club.fr/SCFWiki/index.php/Vision\\_crois%C3%A9e%2C\\_vision\\_parall%C3%A8le](http://www.stereo-club.fr/SCFWiki/index.php/Vision_crois%C3%A9e%2C_vision_parall%C3%A8le)

#### II- La représentation du relief

1. [https://fr.wikisource.org/wiki/Les\\_Merveilles\\_de\\_la\\_science/Le\\_St%C3%A9r%C3%A9oscope](https://fr.wikisource.org/wiki/Les_Merveilles_de_la_science/Le_St%C3%A9r%C3%A9oscope)
2. [http://www.stereo-club.fr/documents/Principe\\_Stereo.pdf](http://www.stereo-club.fr/documents/Principe_Stereo.pdf)
3. [http://olivier.granier.free.fr/cariboost\\_files/Tr-PC-pola-lumiere-1213.pdf](http://olivier.granier.free.fr/cariboost_files/Tr-PC-pola-lumiere-1213.pdf)
4. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Lumi%C3%A8re>
5. <https://fr.khanacademy.org/science/physics/light-waves/introduction-to-light-waves/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>
6. [https://fr.science-questions.org/comment\\_ca\\_marche/158/Polarisation\\_de\\_la\\_lumiere/](https://fr.science-questions.org/comment_ca_marche/158/Polarisation_de_la_lumiere/)
7. <http://www.stereoscopie.eu/expo1/Conf1.pdf>
8. <http://expliquenoustout.blogspot.fr/2010/01/cinema-3d-en-lumierepolarisee.html>
9. <http://la3daucinema.e-monsite.com/pages/les-techniques-de-la-3d/les-lunettes-polarisee.html>
10. [http://sesp.esep.pro/fr/pages\\_polarisation/html\\_images/envimage3.html](http://sesp.esep.pro/fr/pages_polarisation/html_images/envimage3.html)
11. [http://sesp.esep.pro/fr/pages\\_polarisation/histoire.html](http://sesp.esep.pro/fr/pages_polarisation/histoire.html)

12. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Polarisation\\_\(optique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Polarisation_(optique))
13. [https://cpinettes.u-cergy.fr/S6-Electromag\\_files/fig1.pdf](https://cpinettes.u-cergy.fr/S6-Electromag_files/fig1.pdf)
14. <http://blog.guillaume-loubet.fr/polarisation-circulaire-et-cinema-3d>
15. <http://la3dimension.e-monsite.com/pages/la-polarisation/la-polarisation-au-cinema.html>
16. <http://la3dimension.e-monsite.com/pages/evolution-de-la-3d/l-evolution-de-la-troisieme-dimension-et-la-reaction-du-public.html>
17. <http://la3daucinema.e-monsite.com/medias/images/capture-d-ecran-2012-02-11-a-13-43-00-3.png>
18. <http://www.stereoscopie.eu/comm/comment.htm>

### Livre:

1. Micromega Physique-Chimie 1re S éd. 2011 de Jean-François Le Maréchal

### Vidéos:

1. [https://www.youtube.com/watch?v=pwp-Bs0-v\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=pwp-Bs0-v_A)
2. <https://www.youtube.com/watch?v=2622hbzT43s>