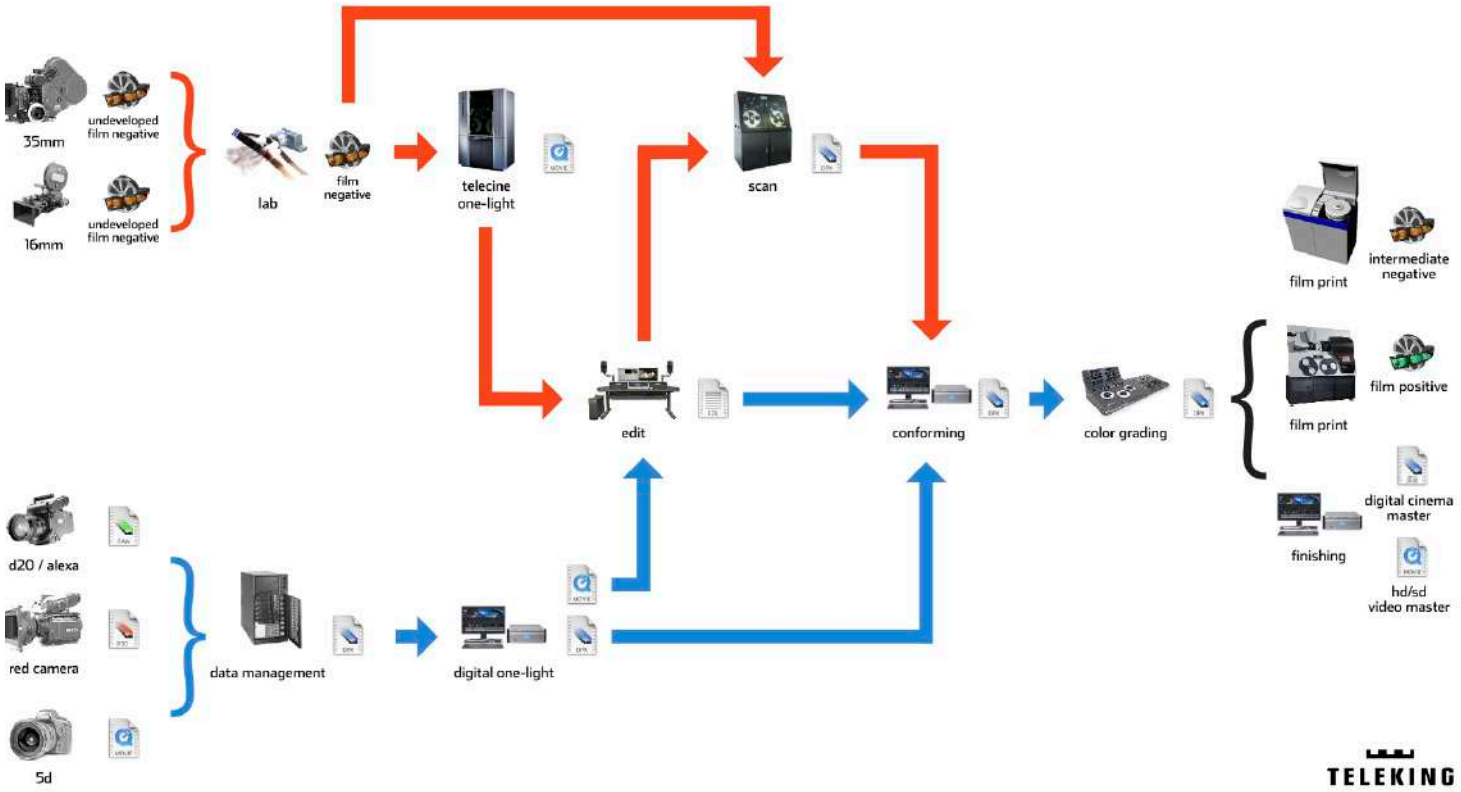
Le Cinéma Numérique et la 3D Relief

1) Workflow cinéma 3
A) Tournage film 4
B) Développement 5
C) Télécinéma 6
D) Tournage en numérique 8
E) Montage, Mixage, Trucages 8
F) Conformation 9
G) Etalonnage 9
H) Kinéscopage 10
I) Compression et DCP 10
2) La 3D relief 13
A) Principe de la vision en 3D 15
a) Le point ou le Focus 16
b) La perspective 17
c) L'occlusion 18
d) Les ombres et Lumières 18
e) Les intensités chromatiques et le contraste 19
f) Le mouvement Relatif 20
g) La vergence 20
h) La stéréopsie 21
B) Convergence, Parallaxe et Profondeur 22
a) Rig Linéaire ou Rig Parallèle 22
b) Rig Opposé 23
c) Rig à Miroir 23
C) Exploitation des Images 3D 24
a) L'anaglyphe 24
b) La polarisation 25
c) Obturateur 25
d) Barrière ou lentille de parallaxe 27

1) Workflow cinéma

Les techniques utilisées par l'industrie du cinéma ne cessent d'évoluer. En l'espace d'une centaine d'années, on est passé de la pellicule des frères lumières aux super-ordinateurs et à la projection d'image en 3D reliefs.

De nos jours l'utilisation des techniques numériques est incontournable et les étapes nécessaires à la réalisation d'un programme suivent la plupart du temps un schéma bien établi. On parle de workflow ou de chaîne de post-production.

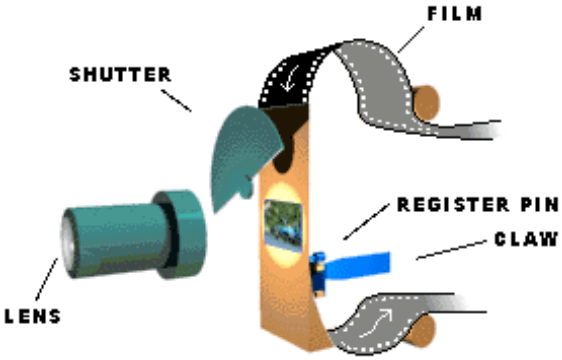


Nous allons revenir sur les principes de bases du cinéma et décrire l'ensemble de ces étapes de manière à expliquer le fonctionnement du cinéma numérique tel que nous le connaissons aujourd'hui.

A) Tournage film

Aujourd'hui encore on utilise des caméras chargées de pellicules pour tourner en argentique. Le principe consiste à prendre dans le temps une série de photos imprimées sur une pellicule qui sera développée par la suite.

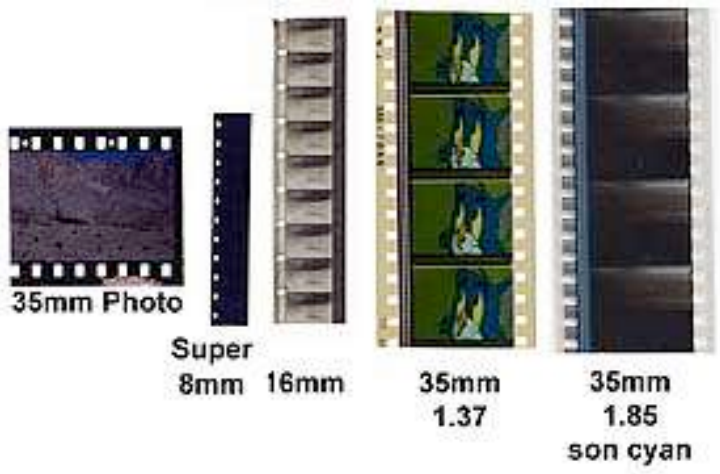
Le mécanisme de mouvement intermittent, permet, dès que le film est immobilisé, que l' obturateur s'ouvre et laisse passer la lumière qui impressionne le film. Après cette phase d'exposition, l'obturateur cache à nouveau la lumière et le film peut avancer de la longueur requise pour une nouvelle exposition (c'est la phase d'escamotage). Cette avance intermittente est assurée grâce au mécanisme de la griffe, qui constitua un des apports majeurs des frères Lumière à l'invention du cinéma.



Mécanisme de l'obturateur

Caméra actuelle

Chaplin et sa caméra d'époque !



La surface sensible, pour films de prise de vue noir et blanc (cinéma ou photo) est composée d'une émulsion aux sels d'argents en suspension dans une couche de gélatine (de bœuf). Pour obtenir de la couleur, on utilise 3 couches noir et blanc, sensibilisées chromatiquement aux 3 couleurs primaires, rouge, vert, bleu (RVB). C'est au développement que seront associés des couleurs à chaque couche.

En cinéma professionnel, la bande fait 35mm de large et présente 2 rangées de perforations à raison de 4 perforations par image. Le format d'une image est défini par le rapport entre la largeur et la hauteur projetées sur l'écran. A l'époque du muet, toute la surface de l'émulsion était utilisée entre les deux rangées de perforations. D'autres formats ont existés au cours du temps (8mm,16mm, 70mm) mais le standard actuel s'articule autour du format 35mm.

Le photogramme, (image rectangulaire enregistrée) a une dimension de 18mm de haut sur 24mm de large. Soit un rapport de 1.33

- Format standard : 1.37
- Formats panoramiques 1,66 et 1.85
- Format avec anamorphose (scope) 2.39

Lors du tournage l'image est compressée dans sa largeur par un objectif spécial anamorphoseur. À la projection, un autre objectif anamorphoseur restitura l'image dans les bonnes proportions.

Le cinéma parlant apparaît à la fin des années 1920. Le principe utilisé est l'enregistrement du son sous forme optique sur le même support que l'image. Une marge sonore de 2 mm a donc été dégagée sur le coté gauche et de ce fait la surface dédiée à l'image a été réduite.

B) Développement

Le développement et la duplication des films cinéma est un processus délicat à maîtriser et seulement pratiqué par quelques laboratoires dans le monde. Au cours des années, le procédé a été grandement automatisé et simplifié. Le traitement Kodak négatif ECN-2, par exemple, comprends trois étapes principales :

• Le développement chromogène qui révéle l'image latente et associe les couleurs aux 3 couches RVB.

• Le blanchiment qui va effacer les couches argentiques noir et blanc et ne garder que les colorants des couches couleurs.

• Le fixateur qui va dissoudre l'argent blanchi et stabiliser l'image dans le temps. Bien sûr, il y a différents bains intermédiaires, (pré-mouillage, rinçages…) et le lavage et séchage final.

Les pellicules sont alors extrêmement fragile et chaque manipulation peut en dégrader la qualité(rayures, taches, poils...).On fabrique de nombreuses copies intermédiaires (internégatif, interpositif) qui éviteront de manipuler les originaux.

On les passe dans différents bains de révélateur pour faire apparaître les photogrammes en couleur. Chaque film a sa sensibilité propre et sa manière de réagir à la lumière. On utilise des pellicules différentes en fonction du résultat souhaité. C'est lors du développement que l'on va choisir de privilégier telle ou telle couleur (balance des blancs) ou gérer l'exposition de l'image finale en modifiant les temps de trempage dans les différents bains chimiques.

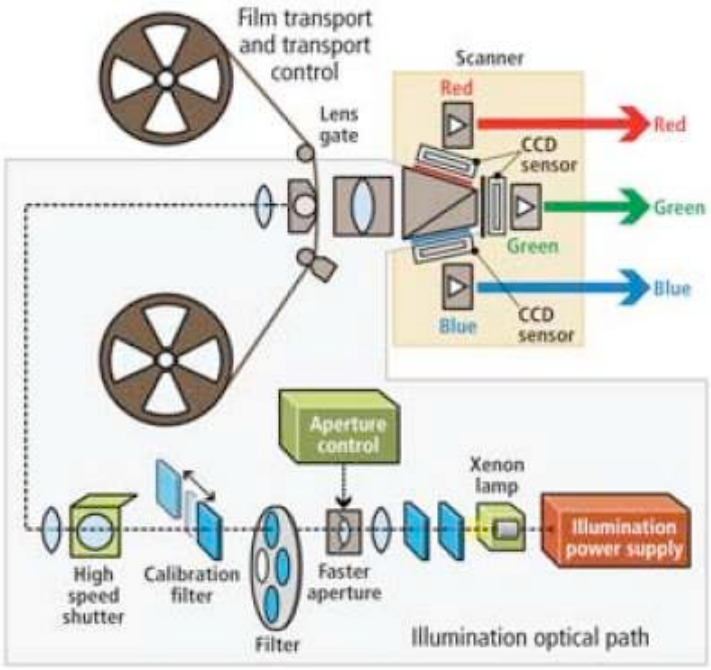
Banc de développement 35 mm

C) Télécinéma

On n'utilise plus aujourd'hui les techniques de montage directement sur les pellicules (avec une paire de ciseaux et du scotch !) Ces machines ont été remplacées par les station de montage informatiques.

Il reste à convertir les images de la pellicule sous la forme de fichiers informatiques. On utilise des scanners pour prendre en photo chaque photogramme de la pellicule.

Cette étape est réalisée par une machine appelée télécinéma :



On récupère alors des fichiers informatiques (dpx, mov, tga…) utilisable directement par l'ordinateur ou bien un flux vidéo (SDI, HD-SDI…) qui est enregistré par un magnétoscope numérique.

D) Tournage en numérique

On utilise de plus en plus des caméras numériques en lieu et place des caméras film. Elles intègrent un capteur qui transforme l'information lumineuse en information numérique en lieu et place de la pellicule photochimique.

Beaucoup plus maniable et versatile, elles offrent beaucoup plus de souplesse aux opérateurs de prise de vue. De plus il est possible de voir le résultat final directement ce qui n'était pas possible avec le film à cause du développement ultérieur.

Les caméras numériques actuelles proposent des capteurs permettant de filmer en 4K (4096x2160 pixels) et même plus offrant une précision plus supérieure à ce que l'on pouvait obtenir avec les films 35mm.

Les capteurs (CCD, CMOS, Foveon…) remplacent la pelicule et facilitent grandement le travail. La caméra produit elle aussi des fichiers ou des flux vidéos numériques.

Depuis peu, un nouveau type de caméra fonctionnent en RAW. En pratique, elles se résume à un capteur et au système permettant d'enregistrer les données brutes qui seront traitées plus tard (à la manière du développement de l'argentique)

Sony F65

Red Scarlet

Les caméras actuelles disposent de capteurs transformant l'information lumineuse sous forme d'électricité (vidéo). Ces capteurs comportent plusieurs millions de photosites et jouent le rôle des éléments chimiques présent sur les pellicules. 4K, 5K, 7K, 8K sont les standard utilisés aujourd'hui pour la captation cinéma avec ces caméras numériques.

E) Montage, Mixage, Trucages

Les étapes de post productions sont réalisées en utilisant des ordinateurs de plus en plus puissants et capables de traiter des quantités d'informations très importantes.

On fait appel à des cartes prenant en charge la décompression des médias en temps réel. L'utilisation de solutions de stockage centralisé (NAS, SAN) permet le travail à plusieurs sur un même projet et facilite les échanges d'informations entre les différents opérateurs.

Les effets spéciaux font de plus en plus souvent appel aux images de synthèse réalisées par ordinateur qui nécessitent de nombreuses heures de calcul.

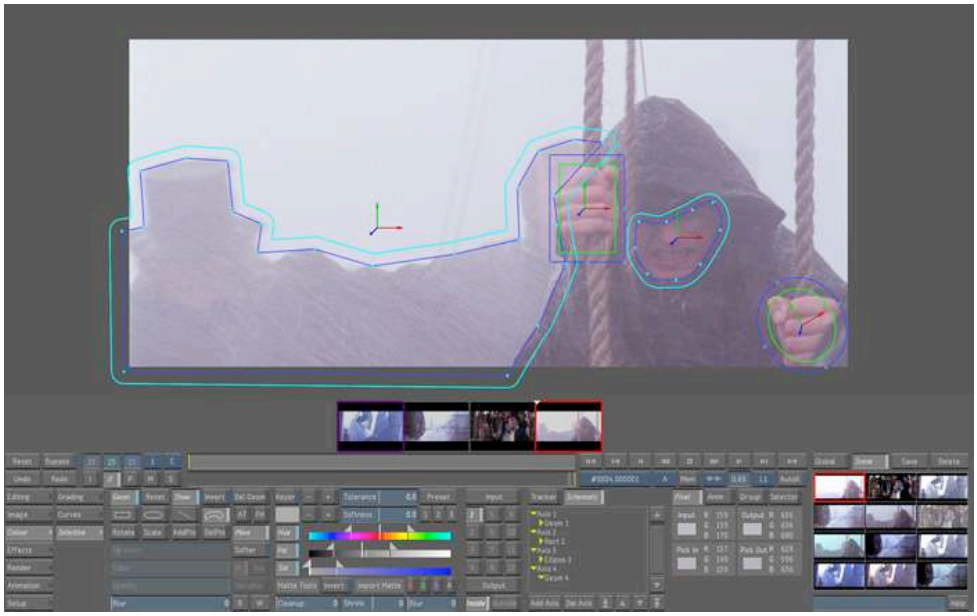
F) Conformation

La manipulation des données numériques en qualité maximale n'est pas nécessaire à chaque instant et pose de nombreux problèmes (temps de calculs, espace de stockage, transferts…) On travaille souvent sur des fichiers de qualité inferieur (proxy) pour accélérer les étapes pour lesquelles la qualité n'est pas primordiale (dérushage, test effets spéciaux, mixage son…)

Il restera néanmoins à remplacer ces fichiers par les originaux lors de la conformation. Chaque image est identifiée précisément (Time code, nom de la cassette ou du fichier de départ, etc…) de manière à établir la correspondance avec les médias en pleine qualité.

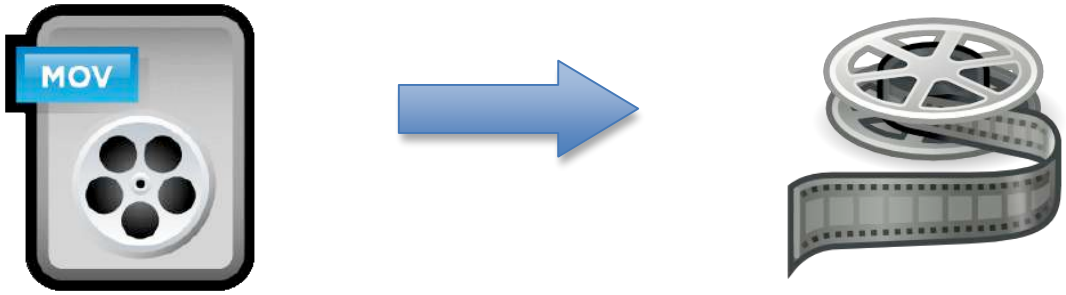
G) Etalonnage

Le travail de post production est bientôt terminé. Il ne reste plus qu'à apporter la touche finale au programme en harmonisant les plans pour donner une homogénéité à l'ensemble. On peut intervenir sur les couleurs, rajouter des lumières…



H) Kinéscopage

Dans certains cas, il est nécessaire de finaliser le film en le transférant sur une pellicule pour une diffusion cinéma traditionnelle. On tirera alors plusieurs copies des différentes bobines (une bobine dure entre 15 et 20 minutes) du film pour les envoyer sur les sites de projection.



Cette opération doit être faîte avec un soin particulier dans la mesure ou chaque type de pellicule réagit différemment. Elle permettra également de donner du grain à un film réalisé à partir d'image de synthèse.

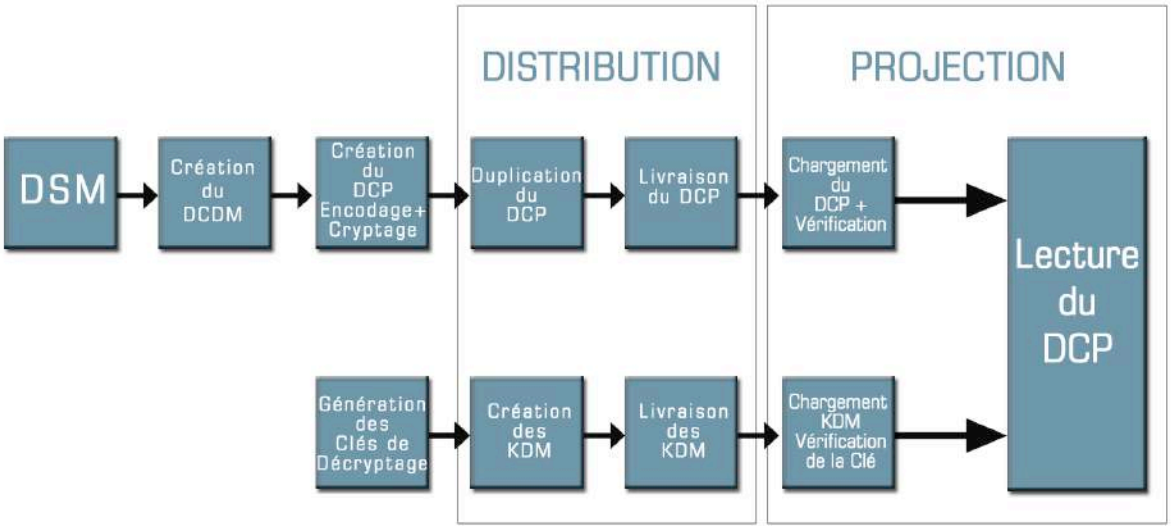
Le projecteur cinéma traditionnel (Kinoton) n'est rien d'autre qu'une lampe qui projette une lumière sur l'écran au travers de la pellicule.

I) Compression et DCP

La projection numérique se développe de plus en plus : les films peuvent être distribués sur support physique (disque dur), ou par satellite ou via des réseaux de télécommunication. Ils sont projetés au moyen d'un projecteur numérique spécial et non d'un projecteur conventionnel (35 mm), couplé à un lecteur (ou serveur) de contenus D-Cinema.

Ces contenus sont des fichiers DCP (Digital Cinema Package) stockés sur le disque dur du lecteur et remplacent dans le monde numérique les bobines de film argentique.

Ces fichiers sécurisés doivent être accompagné d'une clé pour les décrypter. La clé autorise la salle à projeter un fichier un certain nombre de fois avant que le fichier ne devienne inutilisable.



- Le DSM (Digital Source Master) : master numérique issu de la chaîne de postproduction

- Le DCDM (Digital Cinema Distribution Master) : Master numérique créé à partir du DSM et qui sert de base pour réaliser les DCP. Il contient toutes les données pour la projection : images, sons, sous-titres...

- Le DCP (Digital Cinema Package) : c'est la copie numérique destinée à l'exploitation en salle. Les images sont compressées et le contenu est crypté. Ce « package » de fichiers est donc adapté au transport vers les salles et au stockage dans les cabines de projection, au sein du serveur D-Cinema. Ce sont les fichiers DCP qui sont lus et projetés en salle par le couple lecteur-projecteur.

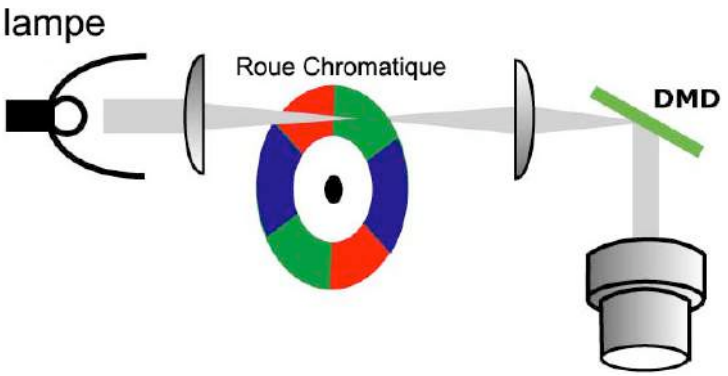
La syntaxe pour la description des éléments du DCP (métadonnées) est le XML. La norme de réduction de débit pour les images est la compression JPEG 2000 avec un taux de compression proche de 10 :1 en général. Chaque image est compressée indépendamment des autres qui la précèdent ou qui la suivent (images I, ou intra). L'audio n'est pas compressé, le format retenu est le PCM.

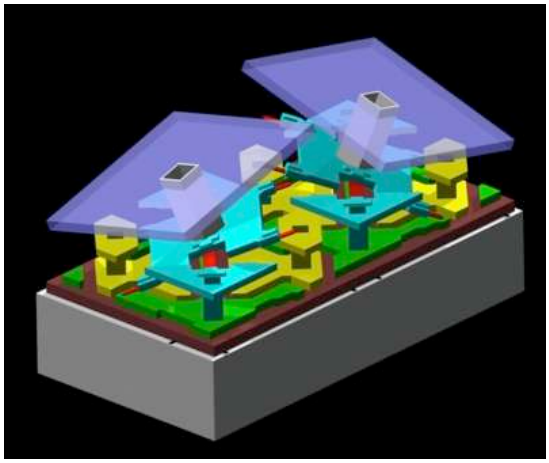
Le format de fichier pour le conteneur des essences image et audio est le MXF. Il y a un conteneur MXF qui contient les images, un autre pour l'audio. Il peut y avoir d'autres conteneurs MXF, autant que du pistes audio.

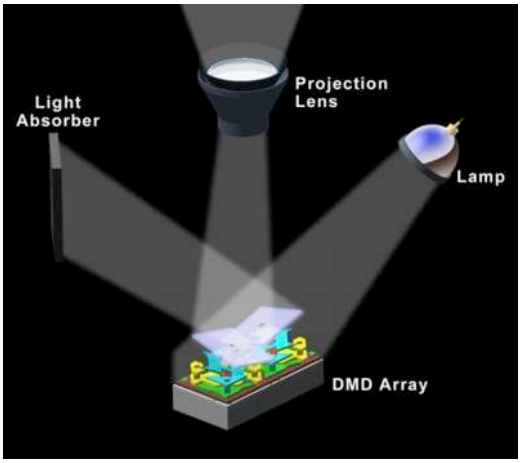
Lors de la fabrication de la « copie 0 » au format DCP à partir du DCDM, le « packaging » abouti au cryptage des pistes audio et images. Une clé de lecture principale (dite « clé primaire ») est générée.

Format	Paramètres	Luma/chroma	Compression	Codec	Débit	Audio	Support	Interfaces
DCI 2K JPEG2000 D-Cinema	4096x2160 (4K) 2048x1080 (2K)	4:4:4 12 bits X Y Z	I frames only 7:1 max	Jpeg2000 Wavelets MXF	250 Mbps VBR	16 canaux PCM 24 bits 48/96 Khz	Disque dur Satellite ADSL – Fibre	Dual HD SDI

Les projecteurs utilisent le plus souvent une technologie appelée DLP (Digital light Processing) reposant sur une matrice de miroirs orientables qui réfléchissent des faisceaux de lumière colorée et forment ainsi une image. Les matrices actuelles sont en 2K ou 4K.





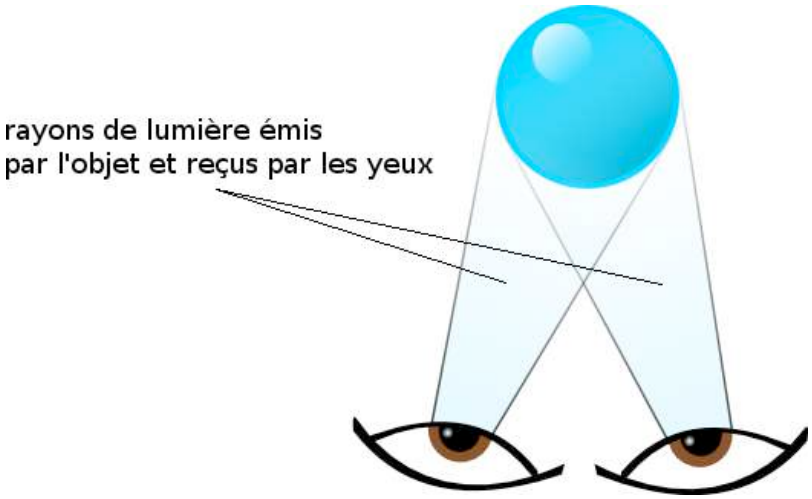


Le système offre une grande souplesse d'utilisation (sous-titres, doublages) et un coût d'exploitation 10 fois moins important que pour le cinéma traditionnelle (prix des pellicules vs utilisation de disque durs)

2) La 3D relief

Depuis quelques années, de plus en plus de films sont proposés en 3D relief. Il s'agit en fait de l'exploitation de la stéréoscopie en vidéo.

La captation se fait toujours selon le même principe, et ce quelque soit la solution retenue pour la diffusion des images. Elle repose sur un principe simple

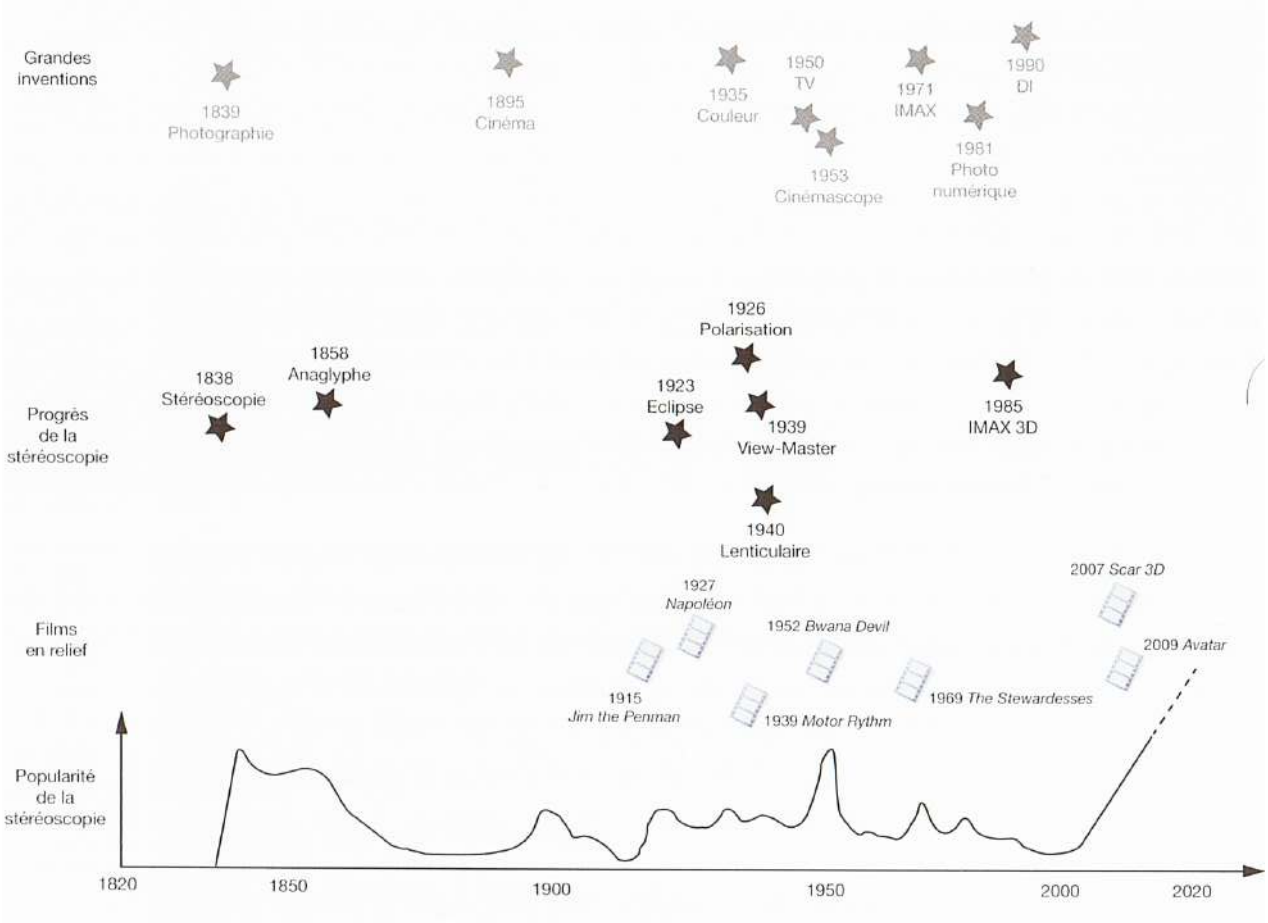


On remplace les yeux par des caméras appairées lors de la captation pour obtenir deux images distinctes, une pour chaque œil. Les 2 vidéos obtenus seront alors diffusés en utilisant différents systèmes.

Il existe différents réglages (écartement et convergence des axes) plus ou moins spécifiques en fonction du type de plan voulu.

Contrairement à ce que l'on pourrait croire l'exploitation de ce systèmes n'est pas récente mais remonte aux origines du cinéma. Les frères lumières avaient déjà expérimenté des techniques utilisant deux caméras pour l'arrivée du train en gare de La Ciotat. Les équipements étaient bien moins évolués qu'aujourd'hui mais le principe était le même.

Stéréoscope permettant de visionner des cartes stéréoscopiques (1891)



La vision en relief a connu plusieurs périodes de succès depuis le XIX^{ème} siècle au grès des évolutions technologiques.

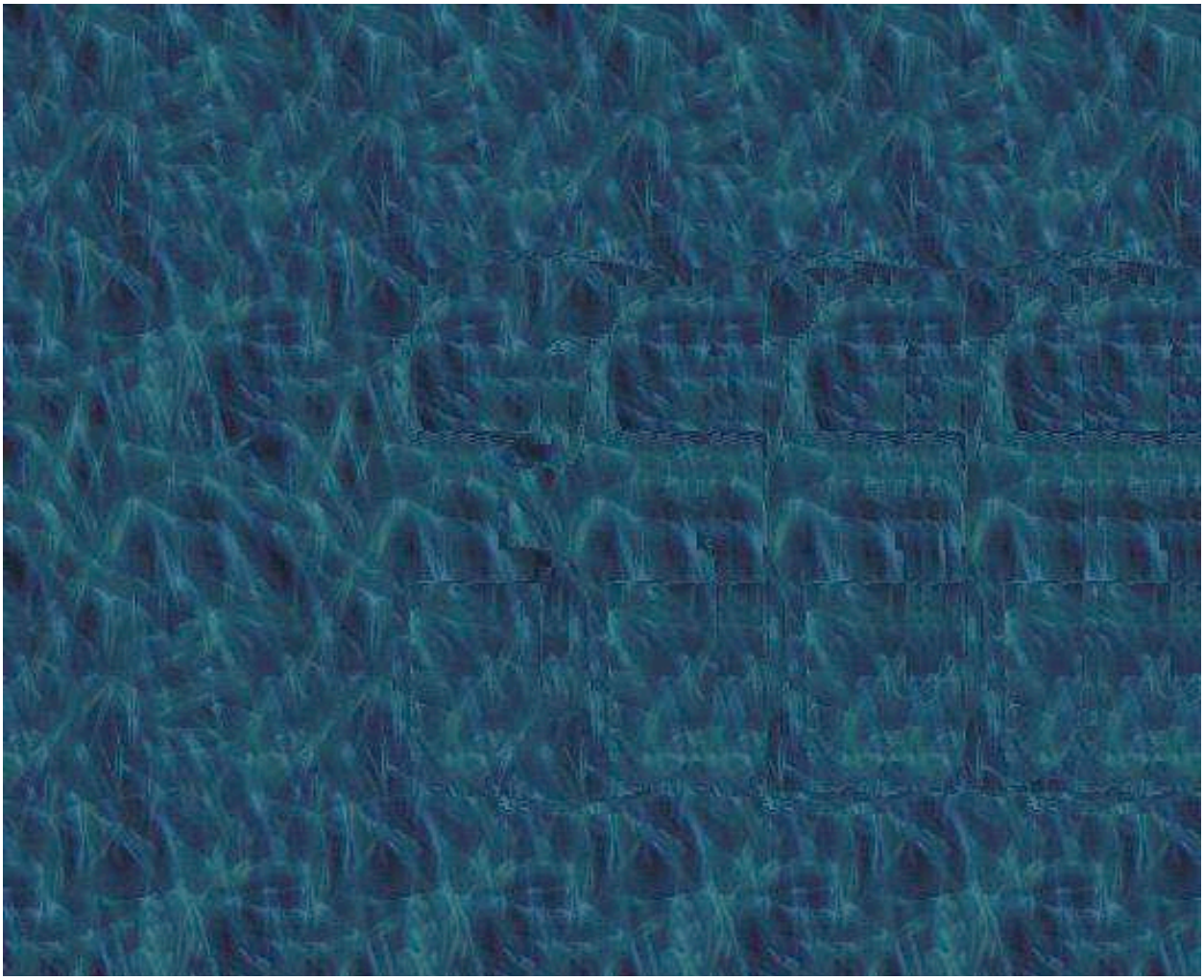
La première période est l'âge d'or des images en 3D (1848-1860) puis à partir du XX^{ème} siècle le cinéma donne un second souffle au relief avant que le cinéma parlant ne s'impose dans les années 30. Les années 50 voient en la télévision un sérieux concurrent au cinéma s'imposer dans tous les foyers. Les majors américaines contre attaquent en proposant à nouveau des films en 3D. Mais cette expérience s'essouffle très vite du fait de la faible qualité des productions.

A) Principe de la vision en 3D

L'œil et le cerveau humain utilisent 8 facteurs pour déterminer et ressentir les 3 dimensions de notre espace.

Parmi ces 8 éléments, cinq d'entre eux sont déjà utilisés depuis la Renaissance par les peintres et illustrateurs pour donner aux tableaux l'impression de profondeur. Le sixième est utilisé en vidéo et en film. Les deux derniers, vergence et stereopsis sont quant à eux, ceux ayant le plus d'impact sur notre cerveau.

Mais il est également possible de tromper la vision humaine par exemple avec les auto-stéréogrammes basés sur l'utilisation de la dissociation de la vision.



a) Le point ou le Focus

Notre œil et notre cerveau dispose du meilleur autofocus existant. Quand nous balayons une scène du regard, notre œil fait en permanence le point sur l'endroit auquel nous prêtons attention. Pendant ce temps là, notre cerveau enregistre les différentes valeurs de points et en extrapole la profondeur de la scène observée.

b) La perspective

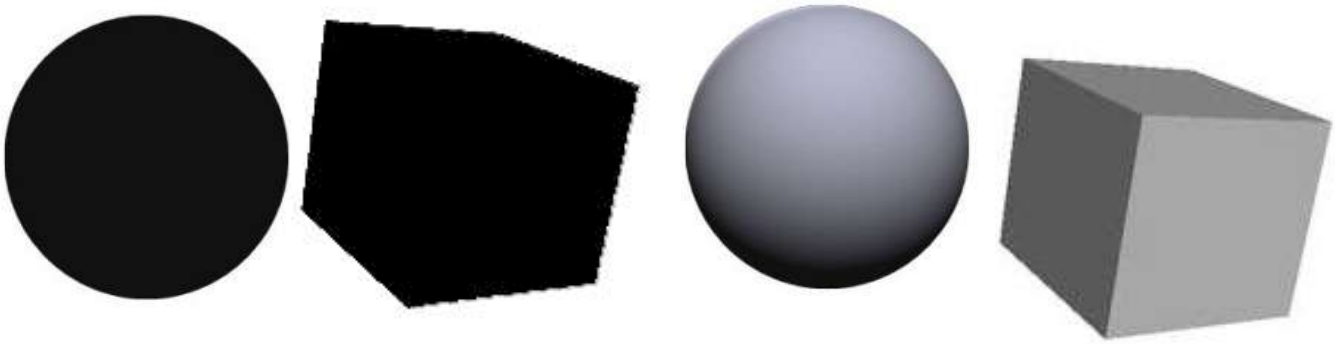
Principe bien connu depuis la Renaissance, la perspective nous donne une indication du relief. En effet, notre cerveau analyse inconsciemment la perspective et en déduit le point de fuite qui donne une indication quant à la profondeur de la scène.

c) L'occlusion

C'est le principe de l'arbre qui cache la forêt ou celui de la photo de groupe… En gros, un objet qui est plus près de nous cache celui qui est derrière et nous en déduisons que l'un est derrière l'autre.

d) Les ombres et Lumières

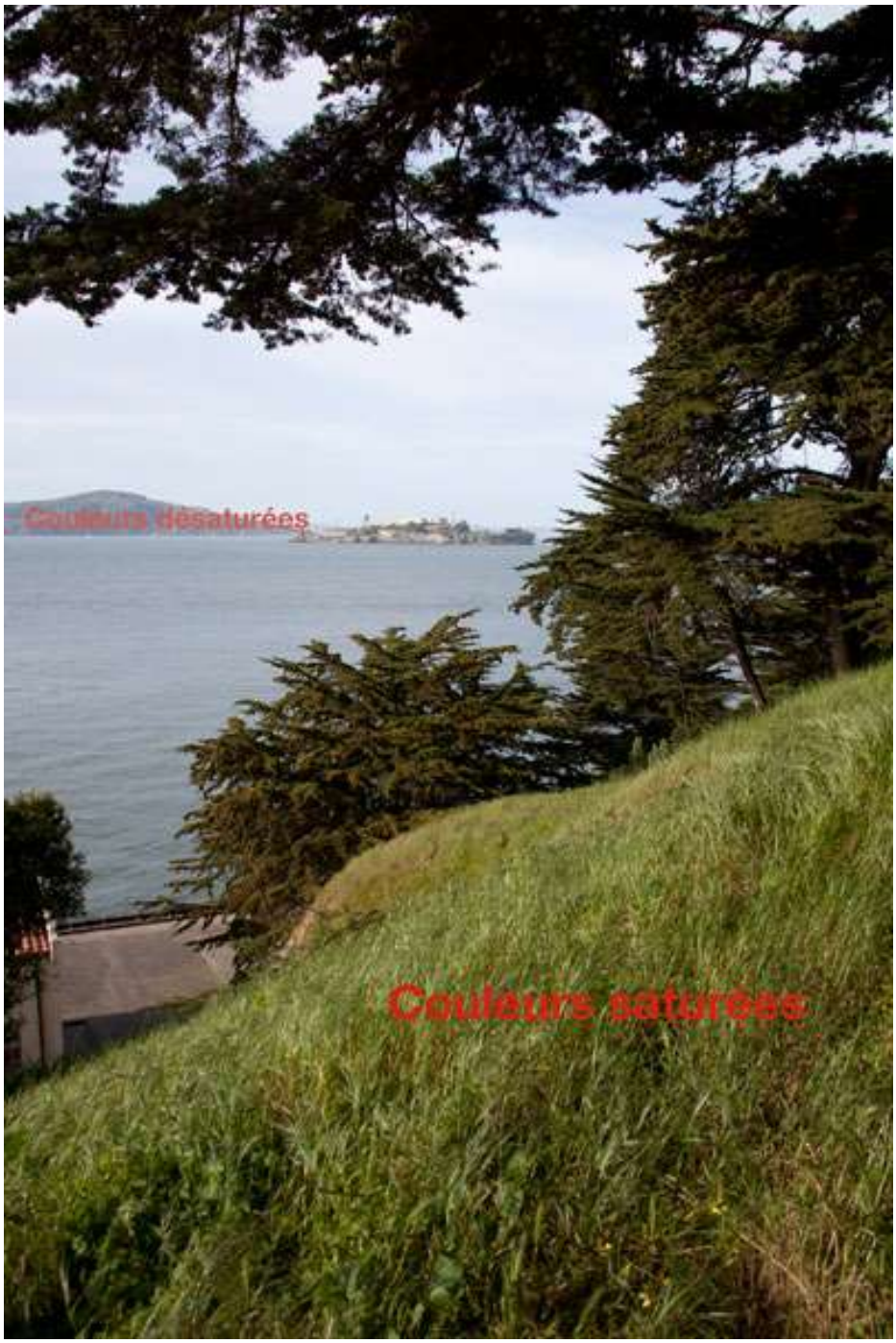
Un objet est plus ou moins lumineux en fonction de sa position relative à la source de lumière. La face exposée à la source lumineuse sera plus brillante que celle qui ne l'est pas. Ajoutons à cela les ombres portées et notre cerveau construit de lui même la position des objets les uns par rapport aux autres.



e) Les intensités chromatiques et le contraste

Plus un objet est loin plus son intensité chromatique (sa saturation) et son contraste (la différence entre ses hautes et ses basses lumières) semblent diminuer. De l'analyse de ces deux facteurs notre cerveau en déduit un indice de relief et de profondeur.

Ce phénomène s'explique facilement si l'on considère que l'athmospère qui nous entoure n'est pas rigoureusement transparente. En effet le ciel est bleu, ce qui signifie qu'une partie des rayons lumineux en provenance du soleil sont absorbés. Il en va de même pour les autres sources lumineuses et objets que nous observons.

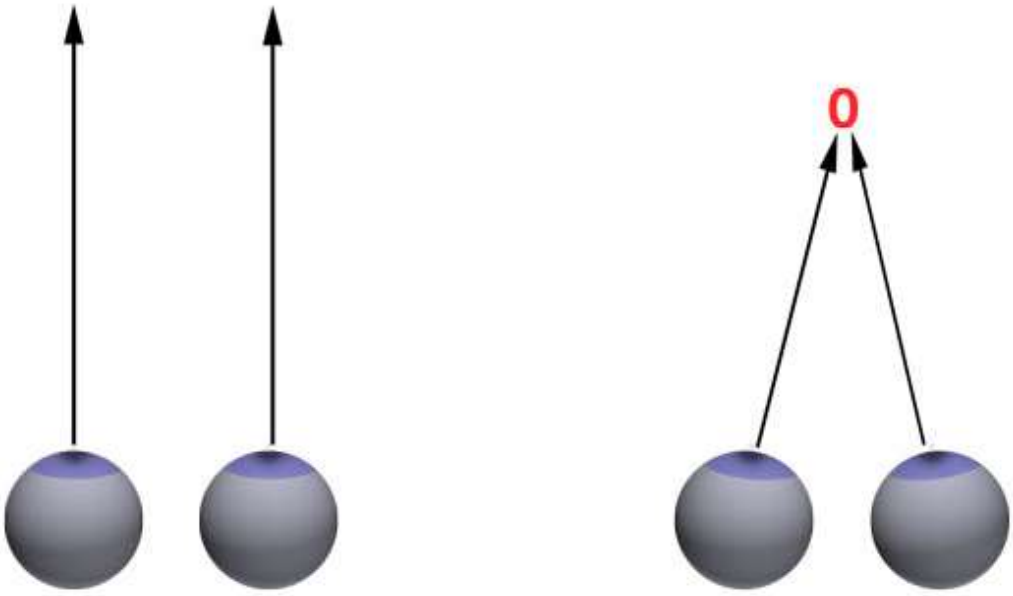


f) Le mouvement Relatif

Prenons deux voitures roulant à la même vitesse, la première est proche de nous, la deuxième plus éloignée. La première semblera aller plus vite et son déplacement relatif semblera plus grand.

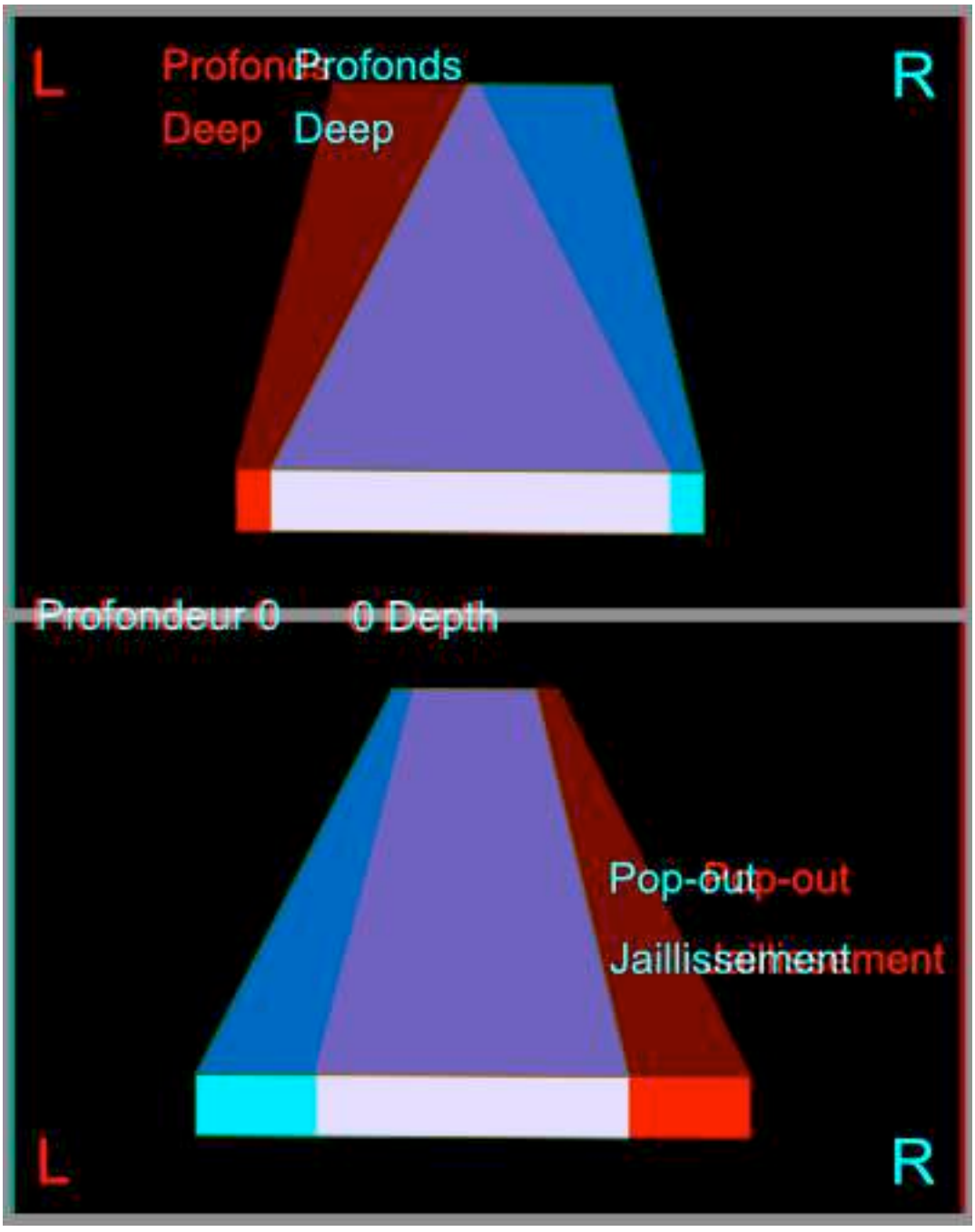
g) La vergence

La vergence définit le parallélisme des axes visuels : l'axe de nos yeux par exemple. Quand nous regardons à l'infini, l'axe de nos yeux est quasiment parallèle. Lorsque nous regardons un objet proche de nous, l'axe a tendance à converger vers un seul et même point.



h) La stéréopsie

La stéréopsie est inhérente à la vision binoculaire et représente le delta existant entre ce que voit l'œil gauche de ce que voit le droit. A partir de cette différence, le cerveau recalcule la profondeur : plus la différence est grande plus l'objet est près.



Le challenge pour les producteurs de contenus et de nous donner l'impression de 3D, tout en ayant à leur service une surface qui elle est à 2 dimensions : TV ou écran de cinéma.

B) Convergence, Parallaxe et Profondeur

L'idée de base est la suivante : faire voir à chaque oeil alternativement, l'image qu'il verrait si il regardait effectivement une scène en 3D.

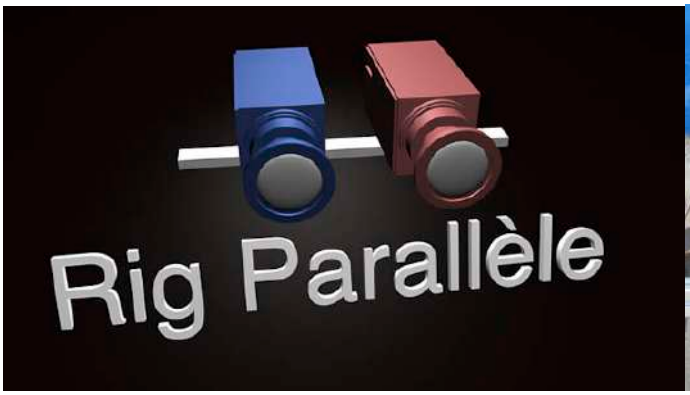
Solution : les lunettes spéciales 3D qui permettent de gérer cette différenciation. Il en existe plusieurs sortes, nous reviendrons sur ce point un peu plus tard.

Grâce à ces lunettes, deux images distinctes seront observées et reconstituées par notre cerveau comme un seul objet. En faisant varier horizontalement l'écart entre les deux images d'un même objet, on donnera une impression de profondeur à notre cerveau.

Cet écart entre les deux image d'un même objet est nommé la **Parallaxe**. Notre cerveau, selon cette parallaxe, imaginera un point de convergence situé en fonction de l'écart, devant ou derrière le plan de l'écran. Ces deux facteurs donneront une profondeur à la scène observée.

a) Rig Linéaire ou Rig Parallèle

Les deux caméras sont installées côte à côte. Il est convenu d'utiliser les mêmes caméras pour ce genre d'installation.

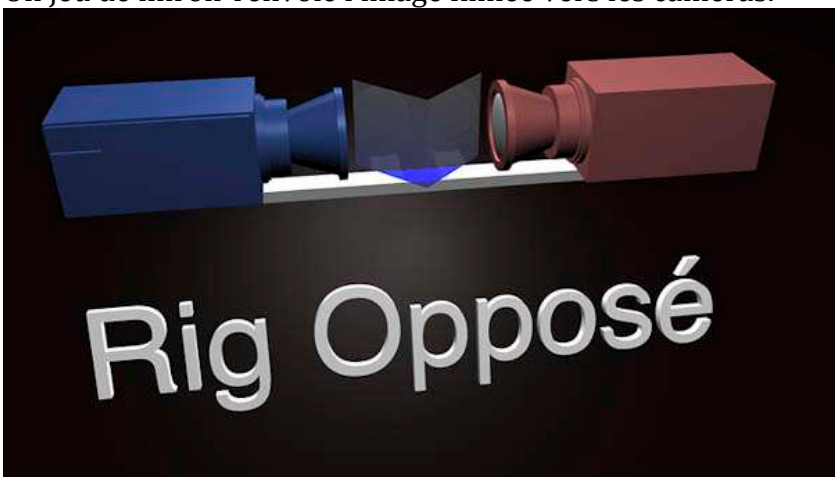


Avantages
- Compact et facile d'utilisation
- Pas de jeu de miroir

Inconvénients
- Difficulté d'obtenir un entraxe standard ou fin avec des caméras volumineuses.

b) Rig Opposé

Les deux caméras sont installées face à face.
Un jeu de miroir renvoie l'image filmée vers les caméras.



Avantages
- Alignement et installation facile et pratique
- Pas de perte de luminosité.

Inconvénients
- Pas très compact avec les caméras volumineuses
- Très peu utilisé à cause de l'encombrement

c) Rig à Miroir

Une caméra verticale, une caméra horizontale, séparées par un mirroir semi-transparent.

Avantages
- Permets des réglages d'entraxes jusqu'à 0
- Installation possible avec de grosses caméras

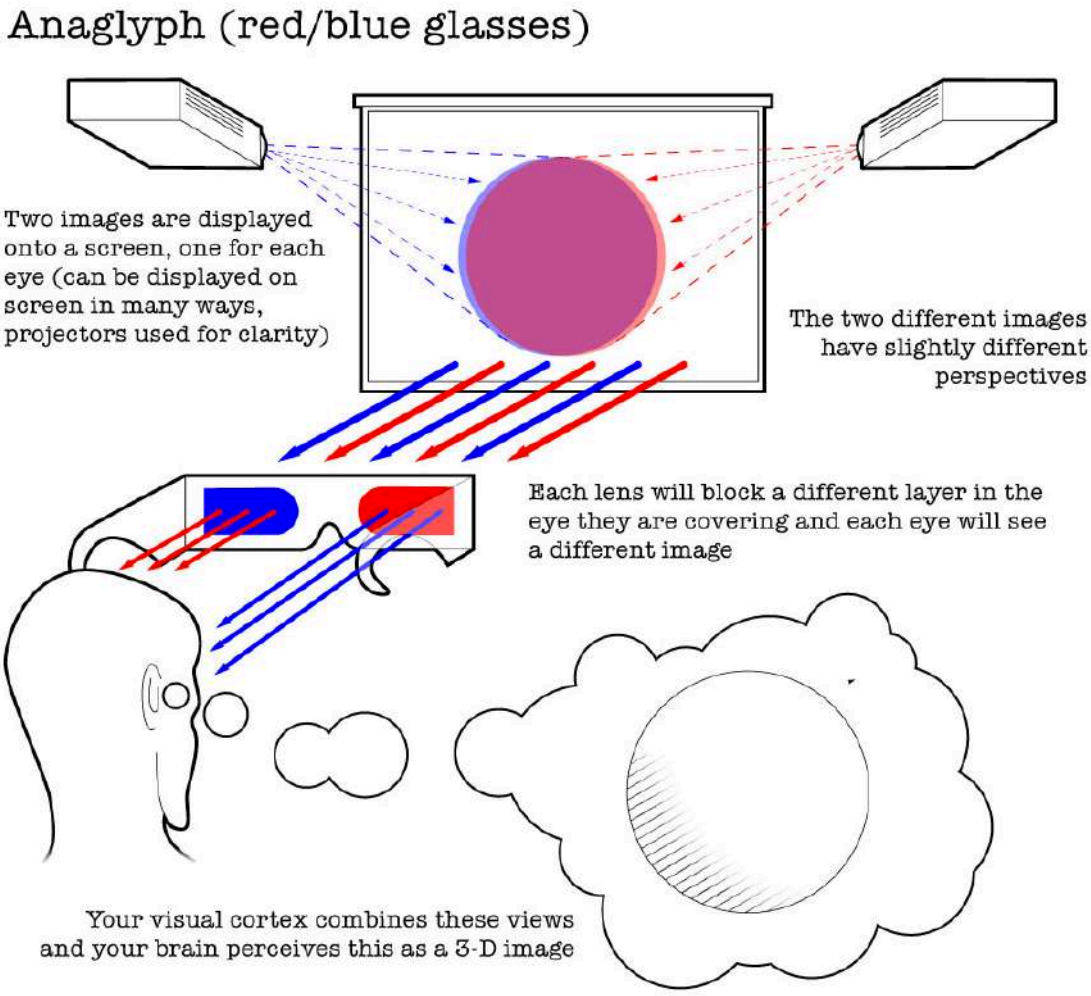
Inconvénients
- Installation lourde
- La qualité du miroir peut engendrer des défauts et des pertes de luminance

C) Exploitation des Images 3D

Quelque soit la manière de les capturer, nous obtenons deux images destinées à être vues par chacun de nos yeux. Il existe plusieurs dispositifs permettant de realiser cela.

a) L'anaglyphe

On recompose une seule image à partir des 2 sources en utilisant des filtres pour séparer ce qui provient de chacune d'entre elles.

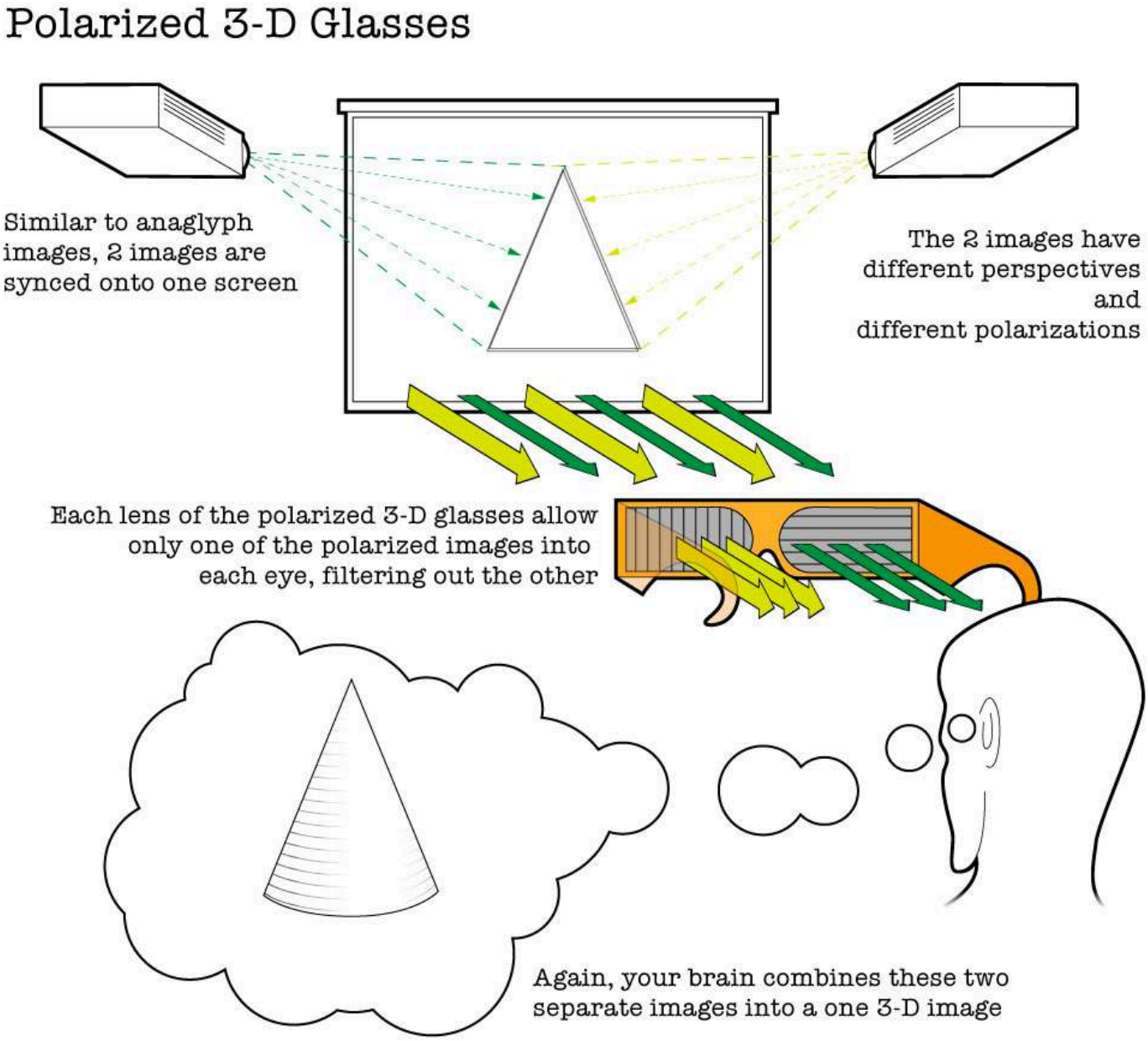


On utilise des lunettes dotées de filtres colorés pour recomposer l'image en décomposant ce qui doit être vu ou non pour chaque œil. Les couleurs sont dénaturées pour permettre le filtrage à destination de chaque œil.

Ce système est souvent utilisé pour vérifier l'effet de la 3D si on ne dispose pas de moniteur 3D lors des étapes de post-production. C'est un système limité mais simple à utiliser.

b) La polarisation

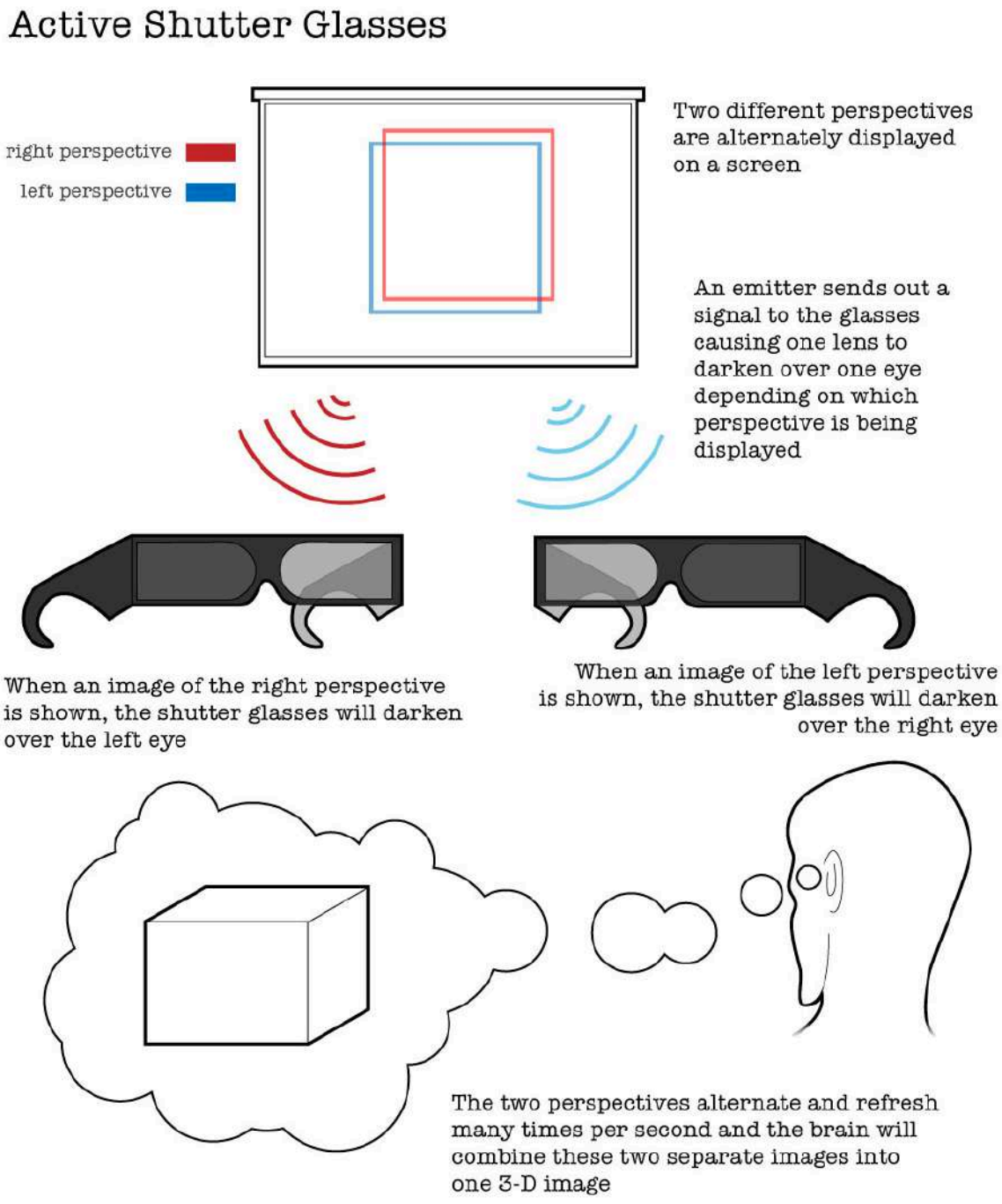
Cette technique assez proche de la précédente utilise le filtrage de la lumière en fonction de la polarisation de la lumière à la place d'un filtrage de la longueur d'onde. Les couleurs ne sont pas altérées. C'est le système le plus couramment utilisé dans les salles de cinéma.



Les projecteurs polarisent la lumière émise à destination de chaque œil. Sans lunettes, on a une impression de flou.

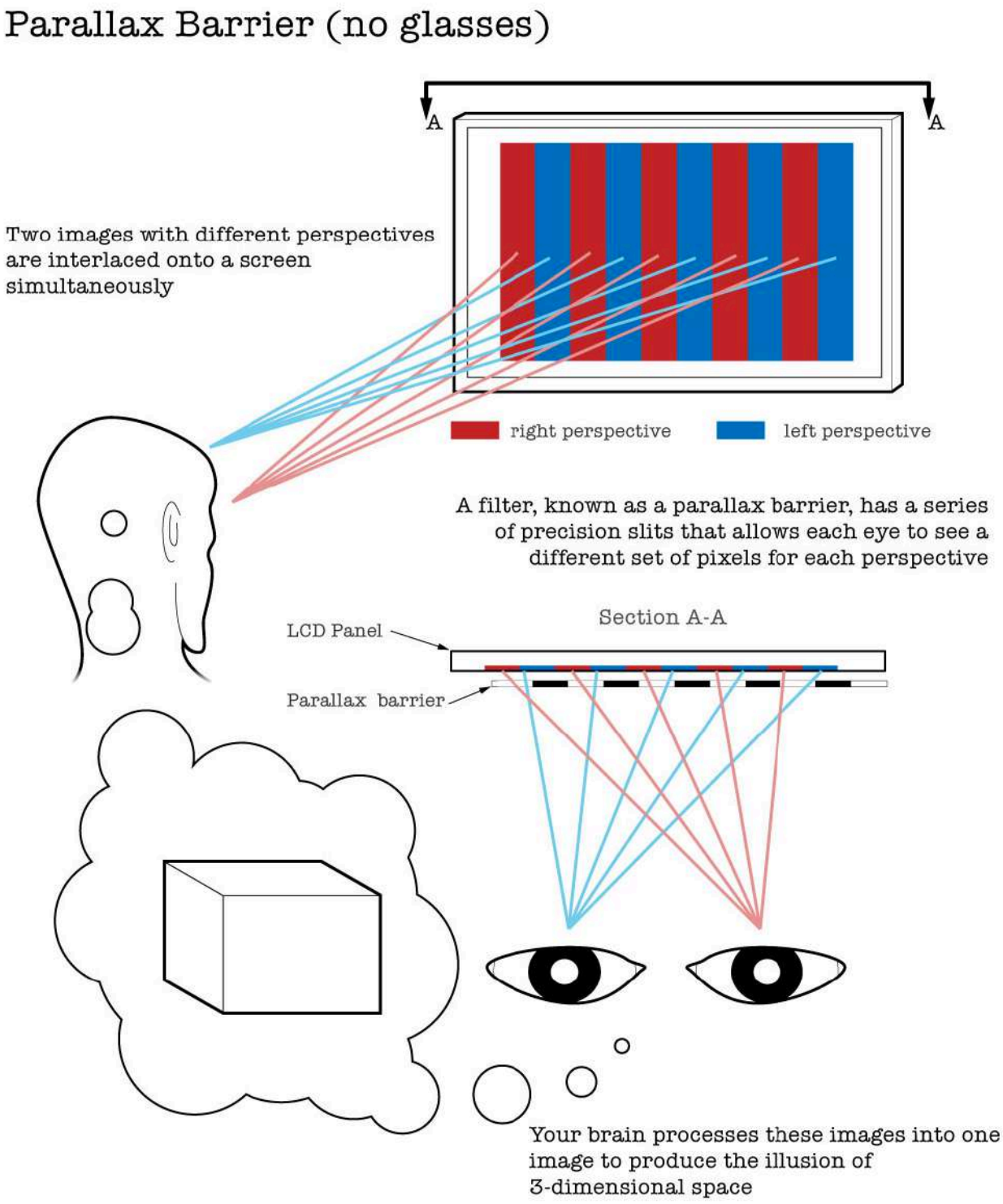
c) Obturateur

On utilise des lunettes actives synchronisées au dispositif d'affichage. Le projecteur ou la télévision affiche alternativement l'image gauche puis l'image droite. Dans le même temps les verres transparents deviennent opaque devant chaque œil de manière synchronisé de manière à ce que l'œil gauche puisse voir l'image gauche et l'œil droit l'image droite.



La lumière arrive seulement 2 fois moins en direction de chaque œil, l'image est plus terne, il y a moins de contraste. Ici aussi l'image sera floue sans lunettes.

d) Barrière ou lentille de parallaxe



La dernière méthode (sans lunettes !) consiste à afficher les deux images simultanément mais de manière à ce que chaque œil ne puisse voir que celle qui lui est destiné par un jeu de lentilles, grilles, ou miroir qui sépareront géométriquement les deux images.

L'inconvénient majeur du système est lié à la position d'observation qui se restreint à un petit périmètre.