E - Interfaces de visualisations

Dans ce chapitre, il est question d'analyser les différentes techniques et support de visualisation dont disposent les joueurs à ce jour.
Quant je parle d'interface de visualisation, il s'agit surtout d'interface d'entrée : notre système visuel perçoit ce que ces interfaces affichent.

E - 1 Techniques de visualisation

E – 1.1 Généralités

Les techniques / technologies de visualisations employées dans le cadre des jeux vidéos sont choisis en général fonction du degré d'immersion, du prix, du degré d'interactivité, de l'encombrement, de leur résolution, …

C'est la raison pour laquelle tant d'interfaces de visualisation ont été crées.

Au niveau de la perception visuelle, les paramètres techniques classiques de ces interfaces sont en général :

- l'étendue du champ de vision efficace,
- résolution et nombre de couleurs,
- contraste et luminosité,
- transparence du support,
- déformation et imperfection de l'image,
- taux de rafraîchissement
- vision monoscopique ou stéréoscopique

Tous ces paramètres sont important pour les aficionados de jeux vidéos, mais il est vrai que le dernier, le choix de la vision stéréoscopique plutôt que monoscopique, reste encore un luxe pour ceux dont les finances sont encore modestes…

C'est cependant très clairement une technologie d'avenir.
Je compte donc la développer d'avantage que les autres.

E – 1.2 La vision en relief

Notre perception du relief est essentiellement fondée sur la vision binoculaire : c'est parce que nous avons deux yeux que nous pouvons situer la position des objets en profondeur.

En fait, la perception du relief est également, mais artificiellement, possible avec un seul oeil, à raison d'un degré d'appréhension inférieur, ceci en utilisant, entre autres, les couleurs, luminosités, masquages, taille des objets aperçus,… et en les comparant inconsciemment avec nos souvenirs.

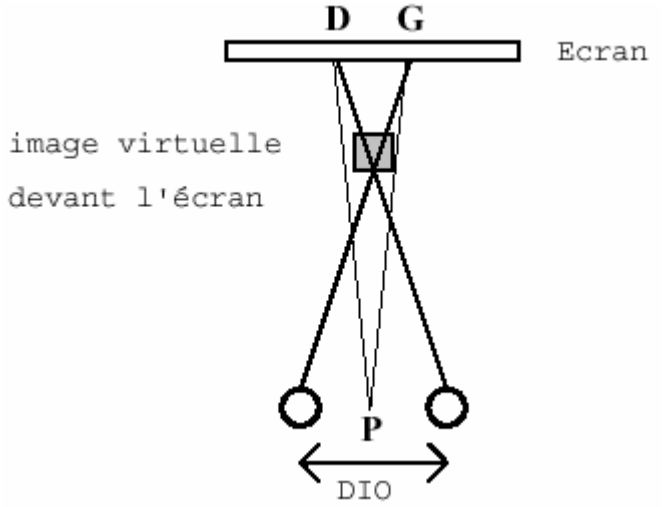
On ne perçois pas la perspective en vision monoculaire : c'est un indice de distance construit par notre cerveau à partir d'un certain nombre d'éléments de réflexions.

Une véritable vision en relief nécessite une vue droite et une vue gauche légèrement décalées, en 1ère approximation, de 65 mm horizontalement (distance moyenne intra oculaire DIO).

Les 2 images rétiniennes différentes, associées et perçues séparément par chaque oeil (disparités rétiniennes), sont "fusionnées" au niveau du cerveau.

Si le cerveau est incapable de fusionner les deux images dans un 1er temps, il tente de le faire avec une certaine fatigue (accommodation pour un plan de netteté de profondeur différente entraînant un travail de ré-interprétation de la vision).

Ce que l'on appelle la stéréoscopie est en quelque sorte la technique qui consiste à reconstituer la vision binoculaire naturelle à partir d'images plus ou moins artificielles.
Pour des images en relief affichées sur un 'écran stéréoscopique', la disparité horizontale est approximativement égale à la parallaxe horizontale. Elle est définie par l'angle DPG, formé par les deux points homologues des images droite et gauche vues du point de vue de l'observateur.



E – 1.3 Les techniques de visualisation et création de supports vidéos pour la vision en relief

Je ne développe ici que les procédés généraux de visualisation sans rentrer dans le détail des différents types de dispositifs techniques existant (développés plus loin).

Si on souhaite recréer cette dimension de profondeur, il s'agit de se replacer dans une configuration spatiale et musculaire (cristallin -> focalisation) équivalente à la vision binoculaire naturelle, aussi bien lorsque l'on enregistre/génère la séquence vidéo stéréoscopique, que lorsqu'on la restitue (vis-à-vis d'un observateur donné).

Quand il s'agit de filmer une scène réelle, on peut utiliser des caméras simples montées en couple pour obtenir deux films légèrement décalés l'un par rapport à l'autre ou se servir de caméras à objectif double qui permettent la prise de vue de films dont les images - droite et gauche - ne sont pas côte à côte mais l'une au dessus de l'autre.

Certains jeux vidéo encore peu courants utilisent ce principe de stéréoscopie, et ceci en utilisant divers procédés de restitution de la vision tridimensionnelle :

- **le stéréoscope (classique)**

  De manière générale, il s'agit d'un dispositif opto-mécanique (ci-contre) permettant à chaque œil de ne voir que l'image qui doit lui être attribuée afin qu'au final, après synthèse de la vision binoculaire par le système optique et le cerveau, l'impression de relief soit restituée.

- **les anaglyphes**

  C'est en 1858 que *Ch. D'ALMEIDA* fait connaître à l'Académie des Sciences de Paris son procédé de restitution du relief. A l'aide de deux lanternes magiques équipées de filtres jaune et bleu , il projette des dessins géométriques légèrement différents que l'on peut voir en relief en s'équipant de lunettes à verres de coloration identique à celle de chaque lanterne de projection.

  En 1891, *L. DUCOS DU HAURON* dépose son premier brevet décrivant, sous le nom d'ANAGLYPHES, la réalisation d'images photographiques en relief par le procédé de superposition de deux clichés de couleurs différentes. Contrairement à *Ch. D'ALMEIDA* qui utilise deux épreuves indépendantes, il réalise des images dont les deux éléments sont superposés. Le décalage provoqué à la prise de vues produit, sur l'épreuve à regarder, un effet de flou qui disparaît et se transforme en relief

grâce au port des lunettes.

Très vite, on choisi d'autres couleurs et on opte pour le rouge et le vert dont les densités donnent de meilleurs résultats.

Le qualité de l'impression de relief n'étant pas à la hauteur du gène causé par le port des lunettes, il n'y a que peu de jeux vidéo qui utilisent ce procédé (bien qu'il soit des plus facile à mettre en œuvre et qu'il n'entraîne que très peu de frais supplémentaires).



Exemple de photo d'écran de vidéo utilisant la technique des anaglyphes

Ce procédé ne dépend pas, dans le cas des jeux vidéos, du support de visualisation, mais nécessite toutefois le port de lunettes

- la vision par alternance gauche/droite (vision monoculaire/obturation alternée)

Cette méthode de vision implique le port de lunettes actives capables masquer alternativement (obturateur) le champ de vision d'un œil puis de l'autre, ceci en continu, et de manière synchronisée avec le support affichant les images stéréographiques alternées en question.

Ce dispositif utilise la persistance rétinienne, nécessite un fonctionnement à haute fréquence, une synchronisation afficheur-lunette parfaite et des temps de réponse d'obturation des lunettes les plus courts possibles (pour limiter en temps le moment même ou l'obturation se fait et aucun des 2 yeux ne voit d'image entière).

- la projection polarisée

Elle permet une vision confortable en couleur Le principe général est le suivant :

Les images stéréoscopiques sont projetées à l'aide de deux projecteurs ou d'un projecteur double dont les objectifs sont équipés de filtres polarisant la lumière dans deux directions différentes. Les spectateurs sont équipés de lunettes dont les verres sont composés de filtres dont le sens de polarisation est en concordance avec celui des projecteurs. Ainsi, chaque oeil ne voit que l'image qui lui est destinée, comme dans la vision naturelle.

- **Autres**

L'holographie, images gaufrées, … sont d'autres procédés permettant une sauvegarde / restitution d'une scène tridimensionnelle avec beaucoup plus de réalisme et nettement moins de contrainte d'angle de vue que les procédés stéréoscopiques précédents.

Cependant, ces procédés ne sont pas encore vraiment adaptées à la vidéo pour des raisons techniques

(encombrement, stabilité, poids, réglages,…) et économiques.

Ils ne s'appliquent guère qu'à des images 3D fixes, exception faite de certains procédés tels que le cinéma holographique utilisant des supports cristallins ou autres, qui non seulement sont particulièrement onéreux, mais ne sont guère adaptés à une vidéo interactive (jeux).

E - 2 Technologies d'afficheurs

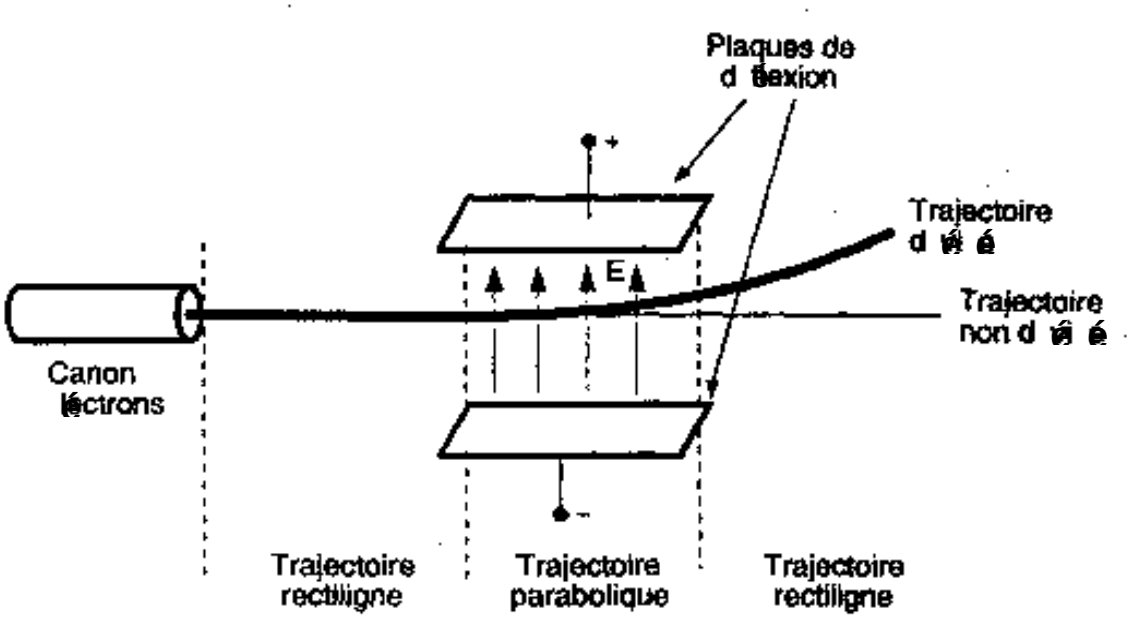
E – 2.1 CRT : afficheurs à tube cathodique

Définition

Le tube cathodique est le composant principal d'un écran cathodique. On trouve aujourd'hui des tubes traditionnels et des tubes courts qui diminuent sensiblement l'encombrement au prix d'une perte de qualité d'affichage (notamment dans les coins). Certains tubes offrent une surface d'affichage plane qui procure un meilleur confort visuel en diminuant les reflets.

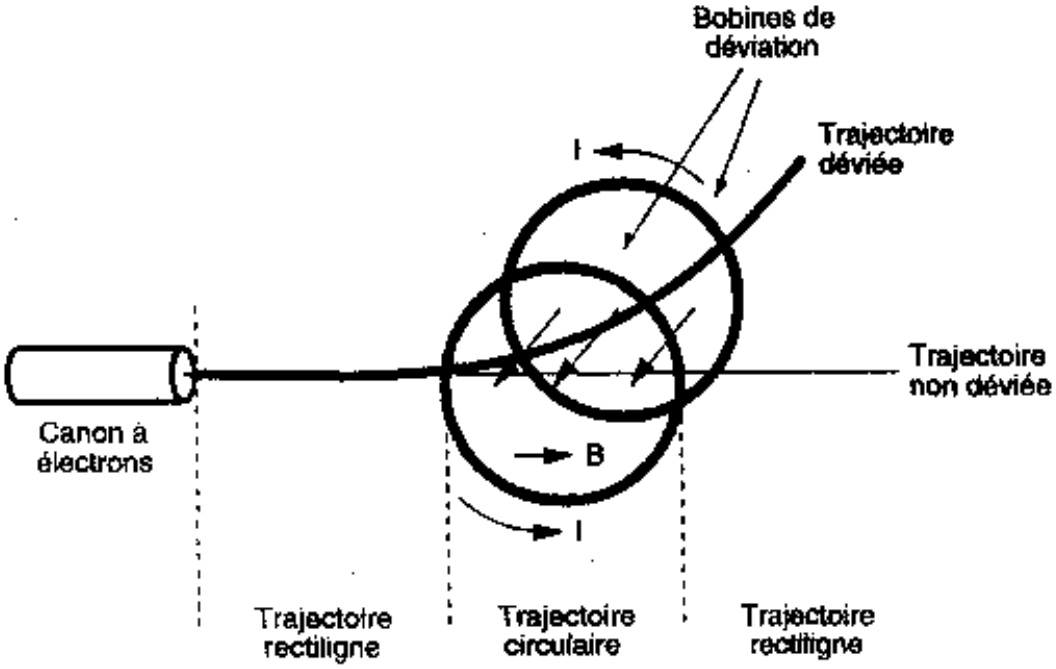
Fonctionnement

Le fonctionnement des écrans à tube cathodique repose sur la déviation d'un faisceau d'électrons émis par un dispositif appelé canon à électrons. Grâce à l'ajustement de la direction du faisceau, celui-ci vient heurter l'écran en un point précis, donnant par là même la couleur d'un point appelé « pixel ».
La déviation du faisceau d'électrons peut être obtenue grâce à des plaques entre lesquelles règne un champ électrique (déviation électrostatique). Ce procédé nécessite deux paires de plaques -l'une horizontale, l 'autre verticale- pour pouvoir orienter le faisceau vers l 'endroit souhaité.



La déviation électrostatique

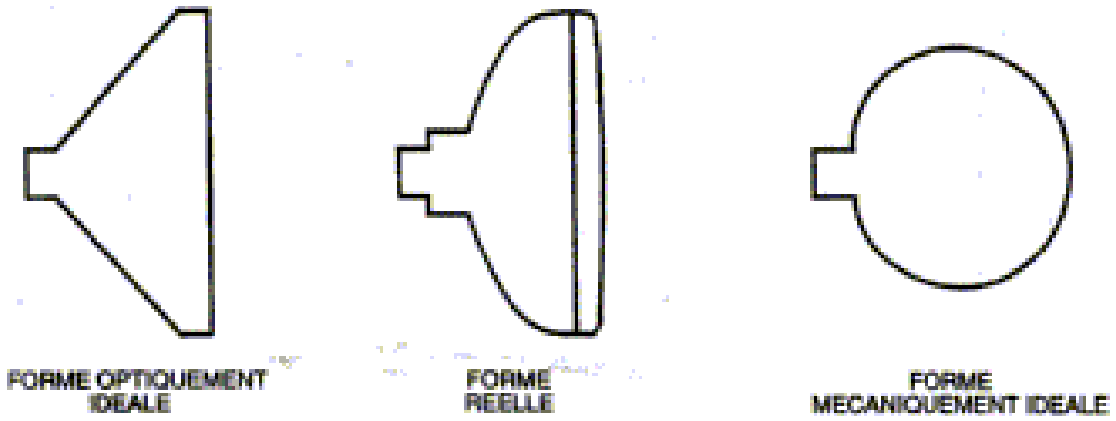
En pratique, les constructeurs utilisent une autre technique pour dévier le faisceau d'électrons: la déviation magnétique. Le faisceau est dévié par le champ magnétique régnant entre deux bobines parcourues par un courant d'intensité variable, ce qui permet de dévier le faisceau.



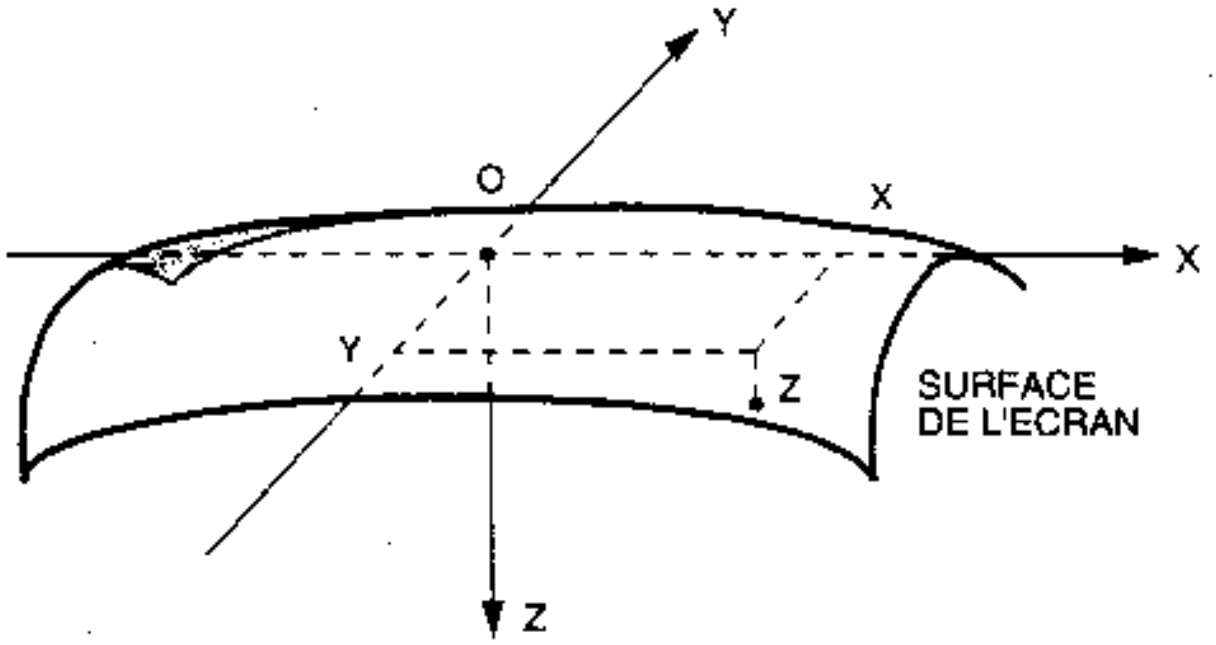
La déviation magnétique

Considérations techniques

Si la forme du tube cathodique pour une image optimale reste un tube plat (l ' écran plat est celui qui offre le moins de déformations de l 'image et le moins de reflets), la forme mécaniquement idéale est la sphère, qui permet une répartition uniforme de la pression sur toute la surface du tube. Il est alors nécessaire de trouver un compromis entre les deux formes recommandées

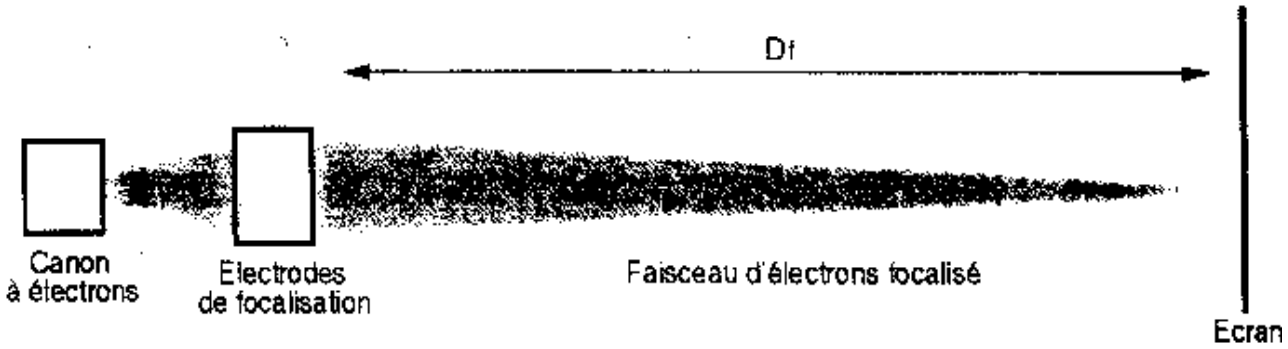


La forme des tubes cathodiques



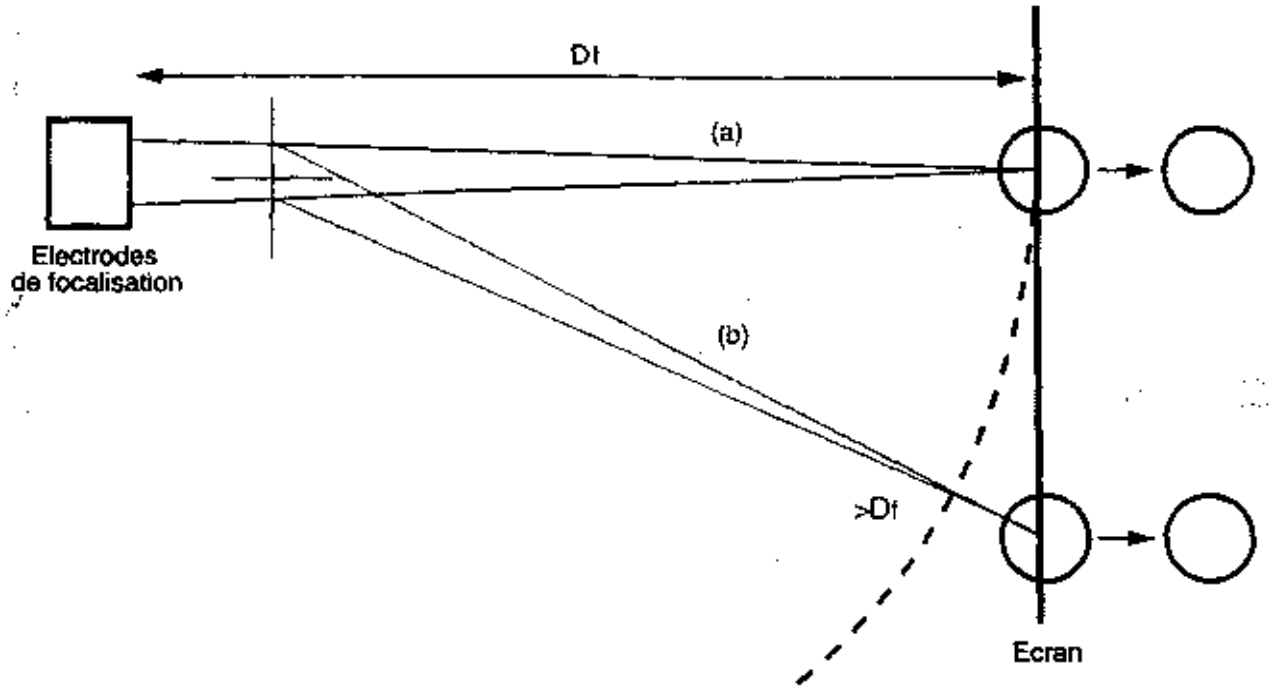
La forme réelle des écrans

Nous avons vu qu'il était nécessaire de dévier le faisceau d'électrons pour le faire atteindre la zone souhaitée. Afin d'avoir une image correcte, il est aussi nécessaire de le focaliser, sinon on a création de halos sur l'écran.



La focalisation

Le problème d 'une focalisation fixe est dû au fait que la distance du faisceau à l 'écran varie en fonction de la position du pont de l 'écran considéré, et qu 'un faisceau d 'électrons est par nature divergent (les électrons ont tendance à se repousser). Si l'on ne corrige pas la focalisation du faisceau en fonction de la position du point, on risque le formation de halos lumineux, d'autant plus gênants que la taille de l 'écran est grande, d 'où la nécessité de la focalisation dynamique.



La focalisation dynamique

Deux grands principes de fonctionnement existent donc :

- écrans FST, *BlackMatrix* : un canon envoie un faisceau d'électron qui passe au travers d'un masque avant de frapper l'écran composé d'une multitude de composants rouge-vert-bleu.
- écrans *Trinitron* ou *Diamondtron* : le masque est remplacé par une grille pourvue de fentes verticales qui laissent passer un plus grand nombre d'électrons, ce qui se traduit par une image plus lumineuse et contrastée.

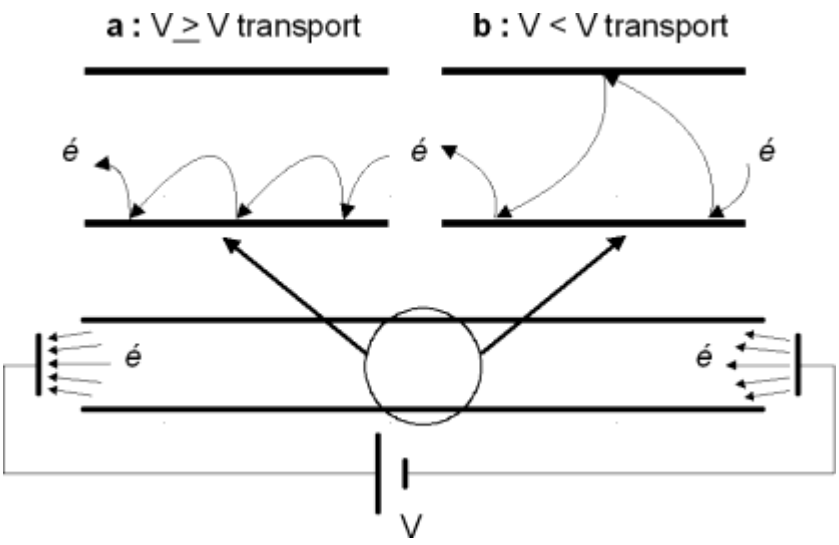
Améliorations

- Augmentation de la fréquence de balayage

Afin de réaliser des images de meilleures qualités, on peut doubler la fréquence de balayage, en mixant deux images consécutives d'une trame normale entre elles (on mixe deux lignes consécutives : rechnique dite de l'entrelacement).

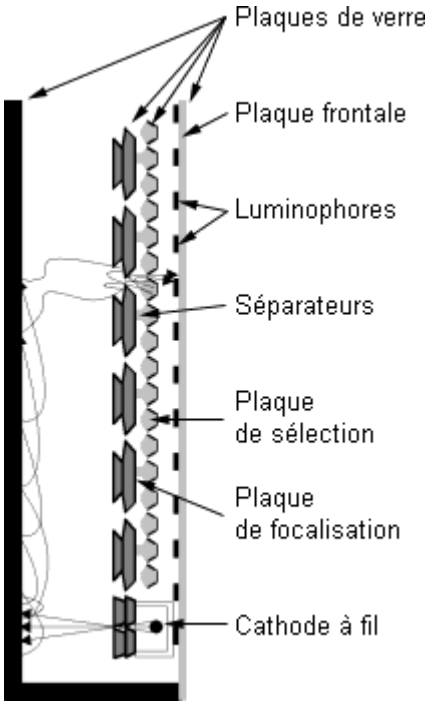
- Les tubes cathodiques plats

Plusieurs constructeurs travaillent à la réalisation d'un écran cathodique plat. *Matsushita* a commercialisé au Japon en 1994 un modèle de 14" nommé " Flat Vision ". Le laboratoire de recherche de *Philips* à Eindhoven, a présenté un projet nommé CRP (Cathodic Ray Panel), à la conférence de la " Society for Information Display " à Boston. Le CRP est basé sur le transport d'électrons par petits sauts dans une structure isolante. Le principe est simple : si des électrons émis par une cathode chauffée sont injectés dans un tube de verre dans des conditions bien précises, ils vont s'écouler à l'autre extrémité du tube, après avoir cheminé à proximité de la paroi par petits sauts. La tension de transport, pour laquelle chaque électron qui heurte la paroi en génère un autre dépend des paramètres physiques du tube, notamment de son diamètre et de sa longueur. Si la tension est inférieure à la tension de transport, les électrons tendent à rebondir entre les parois. Dans ce principe de transport, les électrons émis par un fil (cathode) situé en bas de l'écran vont se déplacer par petits sauts sur la plaque du fond avant d'être attirés vers des luminophores traditionnels.



Le mode de transport des électrons dans le tube cathodique plat

La figure suivante montre l'une des structures possibles présentée par *Philips*.
Si le principe est simple, sa mise en oeuvre dans un écran l'est beaucoup moins. Toute la difficulté réside dans l'adressage des électrons vers la plaque avant. Le contrôle de l'énergie avec laquelle les électrons vont heurter les luminophores, garant d'une bonne uniformité de luminance, est aussi un problème délicat à résoudre. Cette " cure d'amaigrissement " fera peut-être renaître le bon vieux tube cathodique, transformé pour les 50 années à venir !



Une possibilité de fonctionnement d'un écran à tube cathodique plat

E - 2.2 LCD : afficheurs à cristaux liquides

Les écrans LCD (Liquid Crystal Display) sont des écrans plats qui n'utilisent pas de tubes. Les écrans rétro-éclairés disposent d'une source lumineuse placée derrière le panneau de cristaux liquides. Ces derniers laissent ou non passer la lumière selon le courant électrique qui leur est appliqué. Plusieurs types de cristaux liquides ont été utilisés. Les plus répandus font appel à la technologie de matrice active ou TFT (Thin Film Transistor ou transistors à film fin)

Ils permettent de créer des écrans moins encombrants ou miniaturisés (idéal pour ordinateurs et consoles de jeux portables) et, de disposer d'écrans à grande durée de vie, mais le principal avantage est la faible consommation d'énergie (inférieure de 60% de celle des écrans à tubes cathodiques) ainsi que l'absence de dégagement de chaleur. De plus, cette absence de rayonnement entraîne une suppression des interférences avec des appareils émettant des rayonnements électromagnétiques.
Cependant, la technologie a ses limites. Au niveau des problèmes optiques, il faut regretter un manque de luminosité et d'uniformité, un contraste limité, des couleurs douteuses, un temps de réponse insuffisant et surtout un angle de vision trop faible. Au niveau de la fabrication, cette technologie est lourde a mettre en oeuvre ce qui cause un faible rendement de production. De plus, les poussières causent de nombreux défauts lors de l'assemblage des différents composants. Il faut donc disposer d'usines extrêmement propres. Enfin, l'écran ne peut pas avoir une taille trop grande : la taille actuelle semble être limitée à 21 pouces.

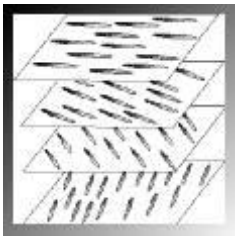
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D UN LCD AU NIVEAU D UN PIXEL

Dans cette partie, on va se baser sur le LCD le plus simple à savoir un LCD de type TN c'est-à-dire avec des molécules " twisted nematic ".

Arrangement hélicoïdal des cristaux liquides :

Les cristaux liquides tendent à avoir une orientation constante. Ceci est d'autant plus vrai quand on les place au contact d'une plaque gravée de sillons : les cristaux vont s'arranger parallèlement suivant les sillons.
Si, au repos, on place ces cristaux entre deux plaques gravées de sillons dont les directions sont perpendiculaires l'une à rapport à l'autre, les cristaux alors vont passer progressivement d'une direction à l'autre. Ils vont donc tout d'abord avoir la direction de la première plaque, puis ils vont s'arranger suivant la direction de la deuxième plaque. Cela va donc former une hélicoïde qui va tourner de un quart de tour (c'est-à-dire que l'angle de rotation sera égal à 90°). Ces plaques gravées sont appelées des couches d'ancrage .

Le nom " twisted nematic " (ou TN) vient du fait que le cristal utilisé est un cristal nématique et que ce dernier est disposé selon une hélicoïde.



Remarque :
Cette structure ressemble à celle d'un cristal cholestérique. D'ailleurs, on rajoute quelques fois du cristal cholestérique avec le nématique pour que l'hélicoïde formée, grâce aux plaques gravées, soit plus uniforme.

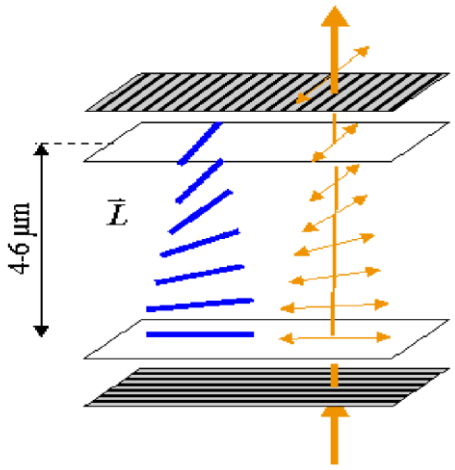
La lumière suit l'hélicoïde des cristaux grâce à leur pouvoir rotatoire :

Si on fait passer une lumière à travers une couche de cristal TN (c'est-à-dire une cellule comprenant deux plaques gravées de sillons et une couche de cristal nématique), celle-ci va suivre la rotation de l'hélicoïde grâce au pouvoir rotatoire des cristaux liquides

Utilisation de deux polariseurs

Cependant, le pouvoir rotatoire des cristaux n'est guère intéressant si la lumière n'est pas polarisée avant de les traverser car on ne peut pas définir de plan de polarisation. En appliquant une lumière polarisée, on pourra observer que le plan de polarisation tourne en même temps que le directeur des molécules de cristal liquide. En effet, si on imagine une lumière polarisée de vecteur E, lorsqu'il " traverse " la couche de cristal, "tourne" avec les molécules. En sortie, le plan de polarisation subit une rotation de 90°.
Pour polariser la lumière, on utilise deux polariseurs : on place le premier à l'entrée de la couche de cristal TN pour obtenir une lumière polarisée, le deuxième en sortie. Les directions des polariseurs correspondent avec celles des plaques gravées. Les polariseurs ont donc des directions perpendiculaires.

Sans la présence des cristaux liquides, si les directions de polarisation des deux polariseurs sont identiques, la lumière passe à travers le deuxième. Si les polariseurs ont des directions perpendiculaires, la lumière est bloquée par le deuxième.

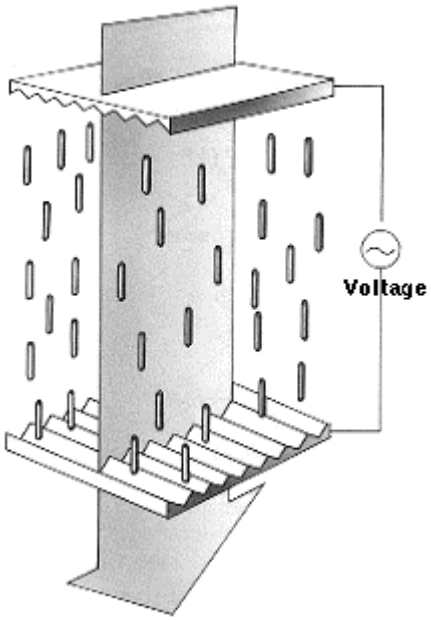


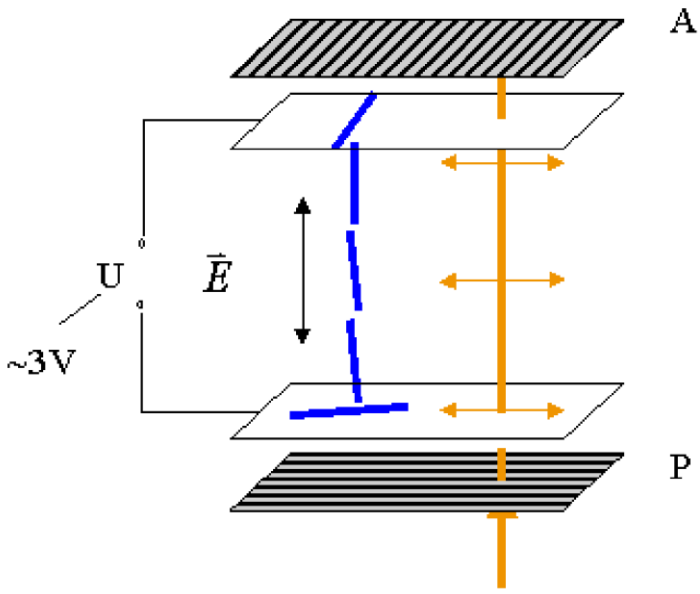
Dans cette configuration, la lumière est tout d'abord polarisée suivant la direction du premier polariseur, puis elle suit l'hélicoïde des cristaux pour subir une rotation de 90°. Ensuite, elle traverse le deuxième polariseur car après sa rotation, la direction de polarisation de la lumière est la même que celle du polariseur de sortie.

Il s'agit de la configuration passante.

Application d'un champ électrique sur ces cristaux liquides :

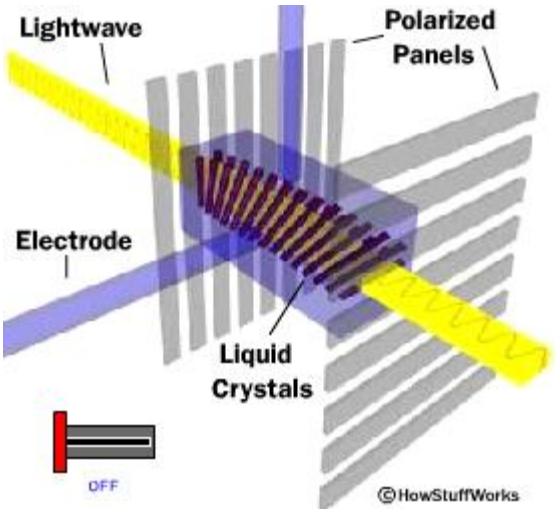
On sait que les cristaux liquides tendent à s'arranger suivant la direction du champ électrique qu'on lui applique. On place deux électrodes en haut et en bas de la couche de cristal, c'est-à-dire sur les deux plaques, que l'on relie à un générateur.
Quand on applique une tension aux électrodes, un champ électrique se forme dont la direction est perpendiculaire aux deux plaques (direction verticale). Les molécules de cristal liquide s'arrangent donc suivant cette direction ce qui neutralise l'hélicoïde observée au repos.





La lumière passe le long des molécules sans subir de rotation. Le plan de polarisation reste donc le même et le vecteur E garde la même direction que le polariseur d'entrée. Quand la lumière arrive au niveau du polariseur de sortie, celle-ci est bloquée car la direction du polariseur est perpendiculaire à la direction du vecteur E. **Il s'agit de la configuration bloquée.**

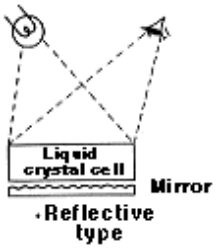
On peut combiner les deux configurations dans cette simulation du comportement d'une cellule LCD en fonction de la tension appliquée à ses bornes :



Les deux configurations d'utilisation des écrans LCD :

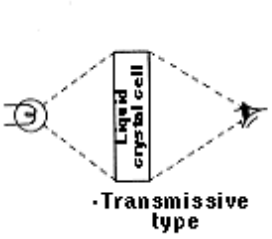
Les deux configurations des écrans LCD sont les écrans réflectifs et ceux utilisant un rétro-éclairage.

·Les écrans réflectifs :



Ces écrans utilisent la lumière ambiante. Au repos, nous sommes en configuration passante : la lumière traverse le cristal avant de subir une réflexion dans le miroir et de repasser à travers le cristal. On observe un point blanc. Quand on applique une tension, on observe un point noir (la lumière est bloquée avant la réflexion).

-Les écrans avec rétro-éclairage :



Ces écrans possèdent une lumière artificielle. Cette lumière va traverser le cristal. Sous tension, on observe un point noir sur l'écran ; au repos on a un point blanc. Ce type d'écran LCD donne une meilleure intensité de l'écran, surtout avec peu de lumière ambiante. Cependant, ce dispositif consomme plus d'énergie qu'un écran réflectif.

CONSTITUTION D UN PIXEL :

Pour constituer un pixel de LCD, il suffit de rassembler tous les composants cités précédemment : la couche d'ancrage, le cristal liquide, les polariseurs et les électrodes

·La couche d'ancrage :

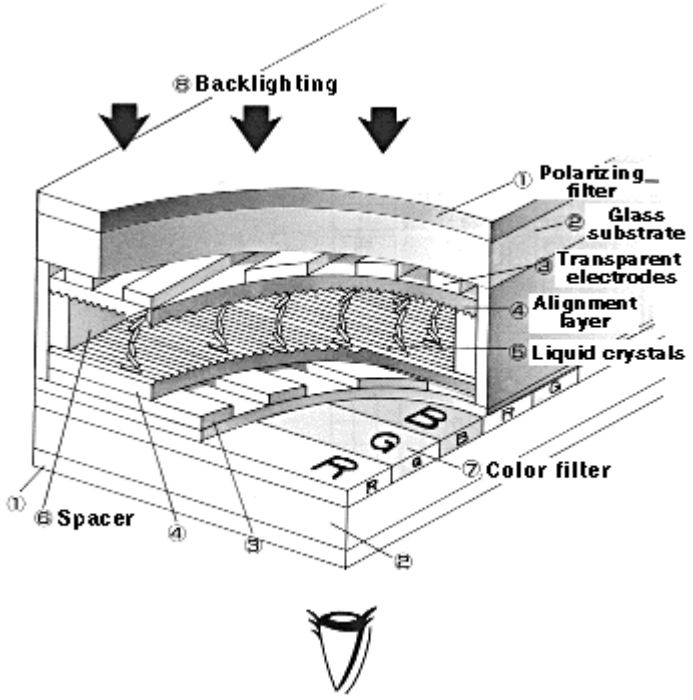
Cette couche permet d'aligner convenablement les molécules de cristal liquide suivant une certaine direction sur cette couche. Elle est constituée de deux couches de verre qui permettent de maintenir l'ensemble. Le tout est scellé à l'aide d'époxyde. Mais un coin est laissé non scellé de telle sorte que l'on puisse injecter le cristal liquide sous vide d'air. Une fois que le cristal a été injecté, le coin est scellé.

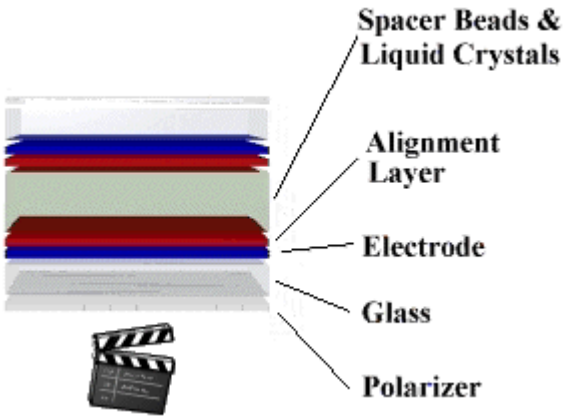
·Les polariseurs :

Les polariseurs sont collés sur les couches de verre. Il s'agit d'un film contenant des cellules organiques alignées et espacées d'une certaine longueur. Cela permet d'absorber les radiations de l'onde (ici la lumière) qui se trouvent selon les lignes de cellules organiques et de polariser la lumière suivant la direction perpendiculaire (dans le même plan) à ces lignes.

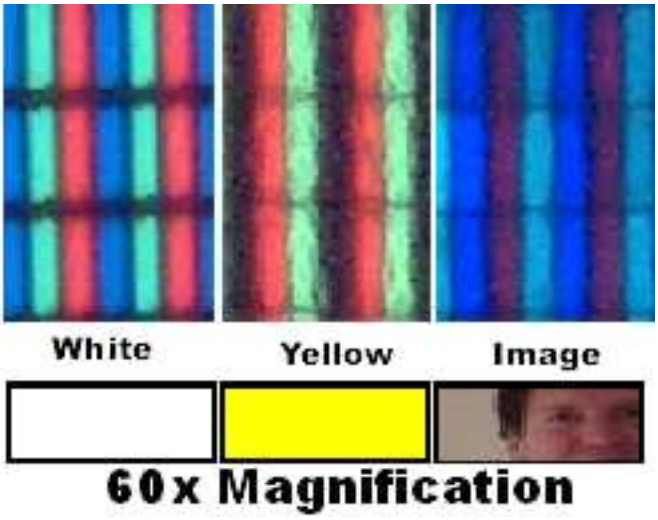
·Les électrodes :

Elles sont constituées d'une feuille de verre recouverte avec un film transparent d'oxyde de métal. En fait, l'oxyde de métal utilisé est un conducteur semi-transparent ; l'indicium tin oxyde(ITO). Le film peut être modélisé pour former les lignes ou les colonnes de la matrice d'affichage (voir partie suivante)

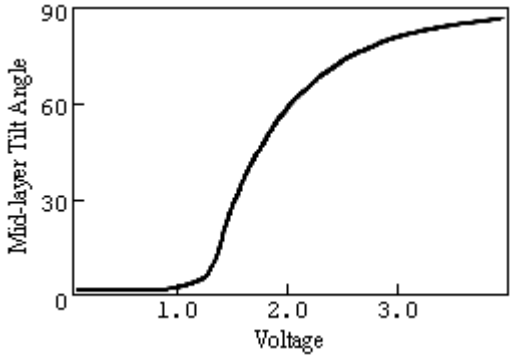




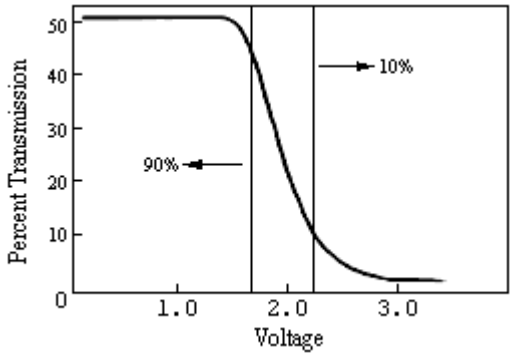
Les couleurs sont obtenues en utilisant des couches de couleurs vert rouge et bleu, les trois couleurs primaires. Voici les exemples pour obtenir le blanc, le jaune ou une couleur intermédiaire (pour une image).



Dépendant de l'intensité du champ électrique, les systèmes à cristaux liquides peuvent laisser passer toutes les nuances entre le noir (extinction) et la couleur de la lumière envoyée. Il suffit juste de faire varier l'intensité du champ électrique, donc la tension appliquée aux électrodes.
Il faut savoir comment réagissent les molécules de cristal aux différentes valeurs appliquées aux électrodes. Pour cela, on regarde la courbe d'électro-distorsion :



Le tilt des molécules est l'angle que fait le directeur des molécules avec les plans des couches de verre. Pour les cristaux liquides, cette courbe détermine directement la transmission de lumière à travers la cellule en fonction de la tension appliquée. On obtient alors le diagramme suivant :



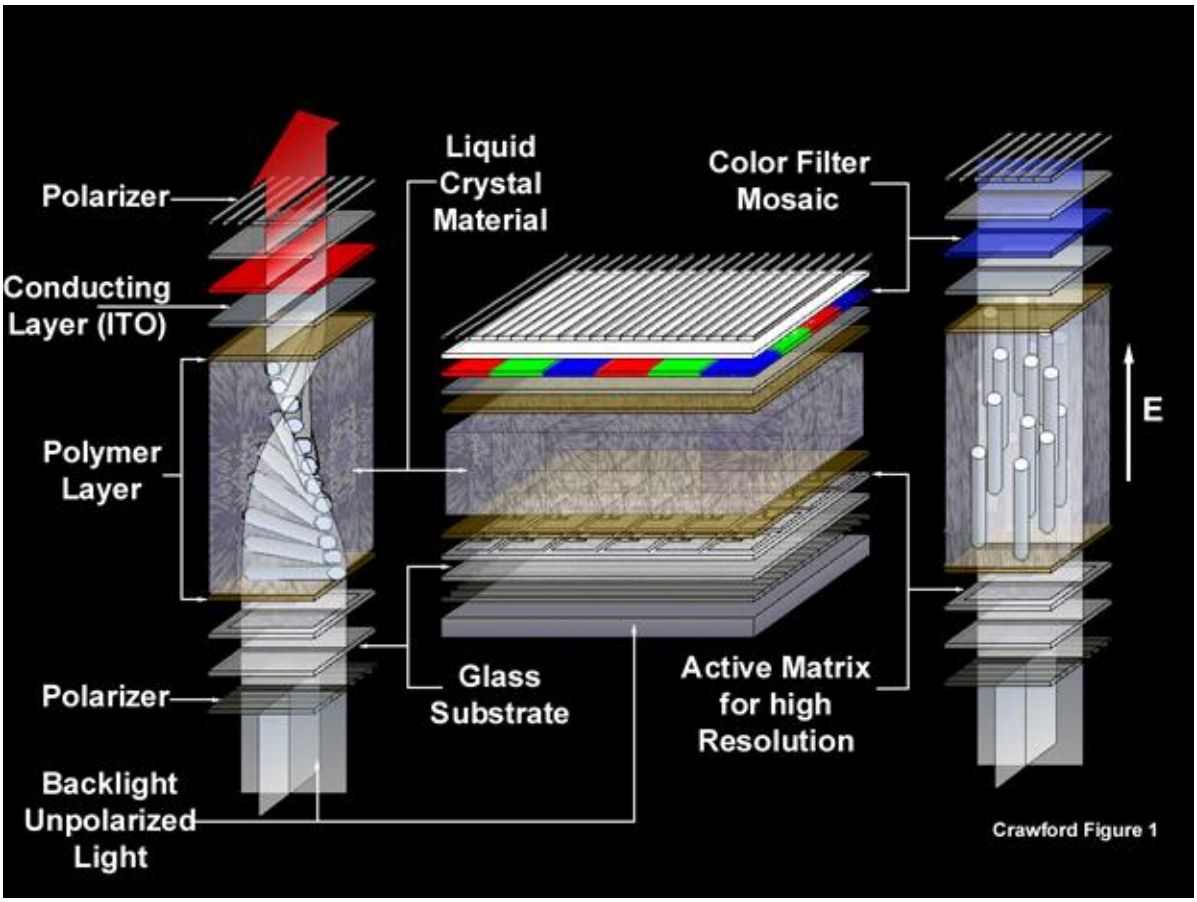
Les deux lignes verticales (Von et Voff) permettent de se rendre compte de la tension utilisée en pratique pour passer de l'extinction au passage maximal (50% de la lumière). Il est indispensable de choisir un écart faible afin de diminuer " l'effet de traînée " c'est-à-dire le temps de " commutation " des molécules. Plus la

différence entre Von et Voff sera grande, plus le temps de passage de la configuration bloquée à celle passante sera élevé et plus il y aura de nuances de gris.

Il faut donc trouver un compromis pour cet écart entre Von et Voff afin d'obtenir un " effet de traîné " minime et une nuance de niveau de gris acceptable. C'est pour cela qu'on a crée d'autres types de LCD.

Remarque :
L'intensité lumineuse maximale est de 50% ce qui est cohérent avec l'intensité lumineuse d'une lumière polarisée I (I=I0/2). On ne peut pas obtenir un meilleur rendement. C'est pour cela que le rétro-éclairage devient indispensable lorsque la lumière ambiante est de faible intensité.

Le schéma suivant peut finalement résumer le principe global ainsi que la disposition de la structure LCD:



SYSTEME D AFFICHAGE DES ECRANS LCD :

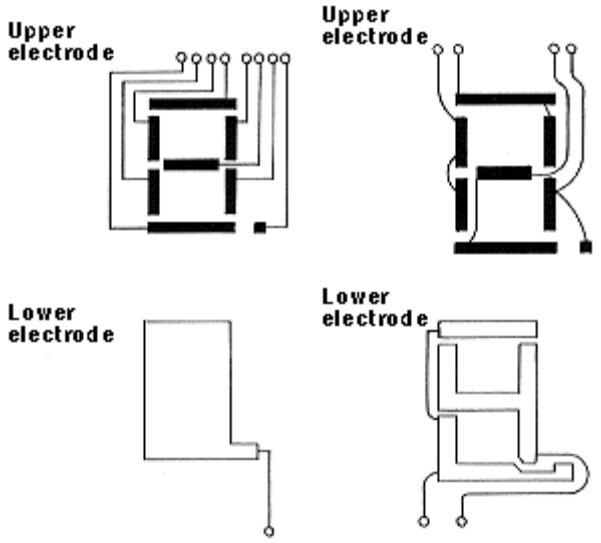
Dans cette partie, nous allons étudier les systèmes qui permettent de commander chaque pixel d'un écran LCD. Ces systèmes gèrent l'affichage de tous les pixels formant l'écran. Ils vont agir sur les électrodes qui permettent d'appliquer une tension. Il existe trois systèmes d'affichage : l'affichage par segments, par matrice passive et active.

· Systèmes d'affichage par segments :

Ce système d'affichage a été le premier utilisé. Il en existe deux sortes : 7 et 16 segments.

Le système d'affichage consiste ici à gérer l'affichage des segments un à un. Nous avons à notre disposition deux techniques pour commander l'affichage : la première consiste à relier chaque électrode du haut à autant de générateur et celles du bas au même point (la masse). On parle de système de commande statique. La deuxième technique consiste à relier les électrodes du haut entre elles, de même pour celles du bas, afin de diminuer le nombre de points de connexion dans le circuit de commande. On parle de système d'affichage dynamique.

On résume ces deux techniques dans le schéma suivant :



Affichage statique Affichage dynamique

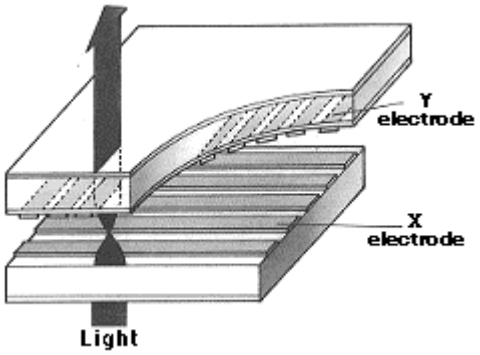
Il est clair que ce type de système d'affichage ne convient pas pour des applications graphiques. Pour ces utilisations, on se sert de matrices d'affichage.

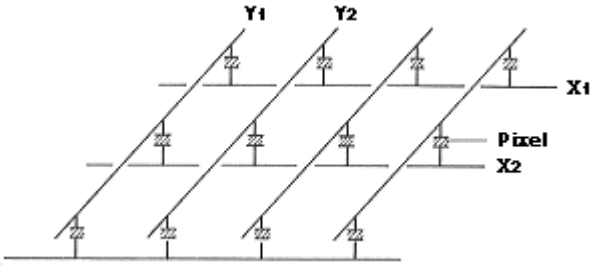
Remarque :
Pour le système d'affichage dynamique, on a pris un exemple où il y a deux électrodes en bas et quatre en haut.

· Matrice passive :

Pour pouvoir commander correctement les écrans LCD, on va organiser les électrodes suivant une matrice, c'est-à-dire en lignes et en colonnes. L'électrode du haut sera disposée en ligne et celle du bas en colonnes (ou inversement). A chaque intersection de ces lignes et colonnes, on place une cellule de cristal liquide formant ainsi un pixel.

Les matrices passives ont cette structure :





En principe, on peut commander cette matrice en appliquant une tension sur une certaine ligne et une certaine colonne. A l'intersection, le pixel sera donc noir. Cependant, on ne peut pas représenter toutes les combinaisons avec cette méthode. En effet, si on met sous tension les électrodes x1, x2, y1 et y2, on va obtenir obligatoirement quatre points noirs correspondant aux intersections des lignes x1 et x2 avec les colonnes y1 et y2.

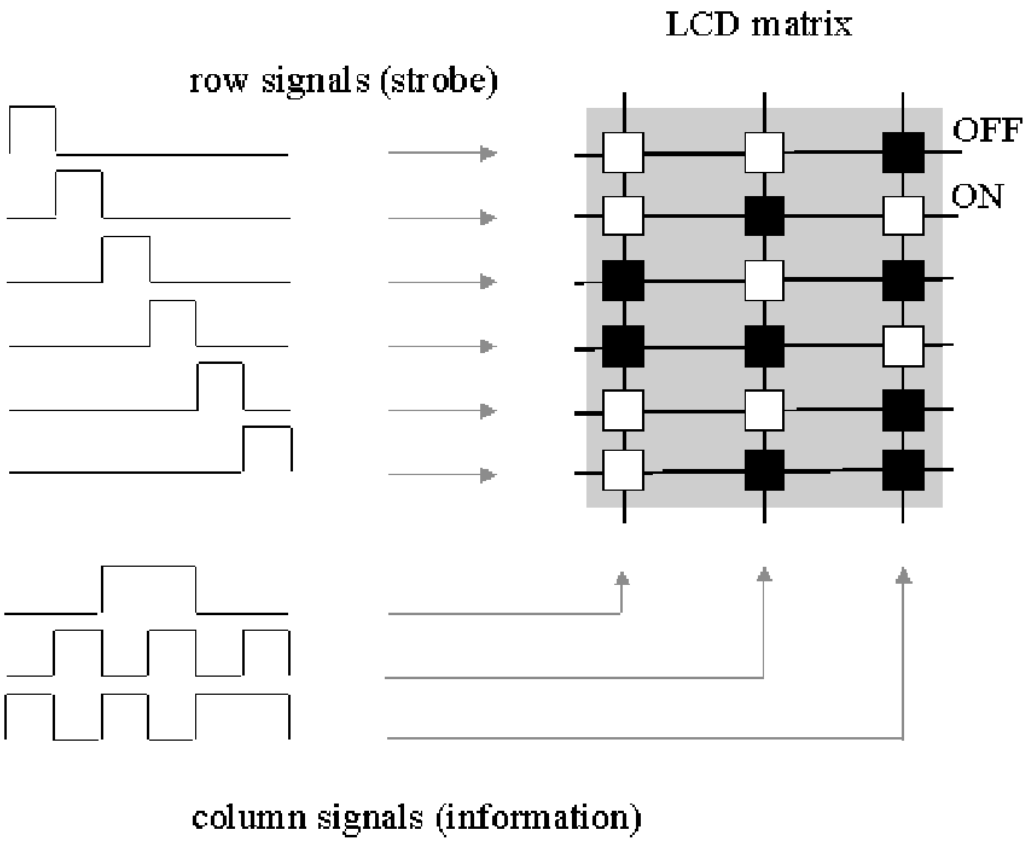




Il faut donc utiliser un système d'adressage plus compliqué pour que les pixels soient vraiment indépendant les uns par rapport aux autres. On va se servir du " time multiplexing " qui consiste à mettre les pixel en mode OFF (c'est-à-dire un point noir) si les signaux de la ligne et de la colonne sont égaux à 1 et ce en même temps. Si ce n'est pas le cas, le pixel est en mode ON même si un des signaux de la ligne ou de la colonne vaut 1.

Voici un exemple d'une matrice passive subissant le " time multiplexing " :

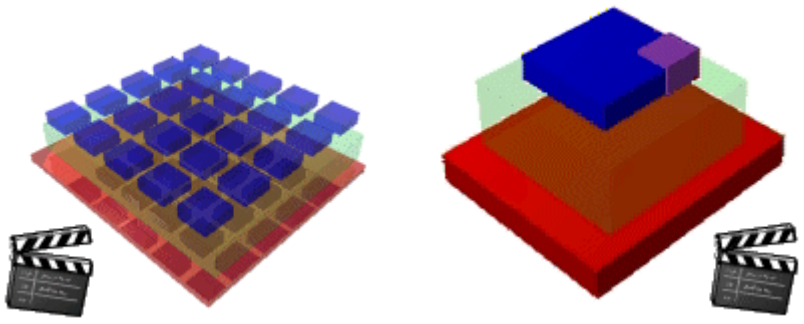
time multiplexing



Cependant, avec ce type d'affichage, la qualité des images est médiocre (effets de trainée). La technologie d'affichage à matrice active a été développée pour répondre aux applications graphiques

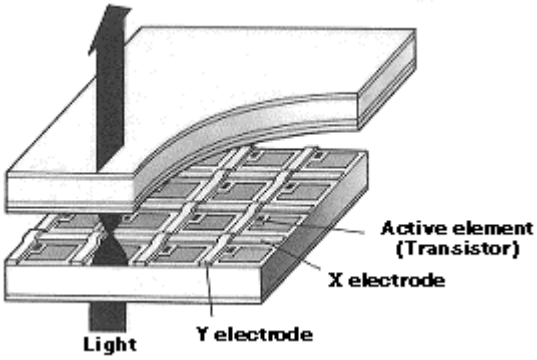
· **Matrice active : (ou thin film transistor : TFT)**

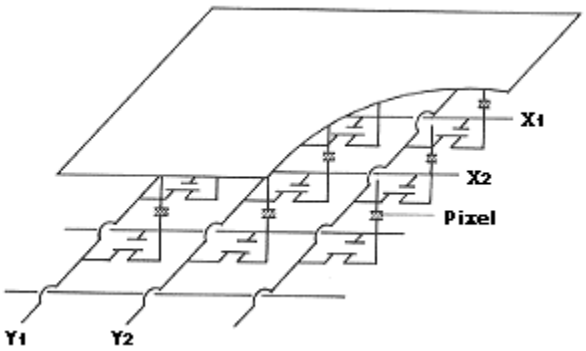
Les matrices actives permettent de commander chaque pixel par un transistor. Les pixels sont indépendants les uns des autres. Cette technologie est beaucoup plus lourde à mettre en oeuvre mais elle est également plus efficace.



En fait, on connecte l'électrode du haut de façon continue sur tous les pixels tandis que l'électrode du bas de chaque pixel est reliée avec l'émetteur du transistor. Ce transistor est ensuite connecté par sa base et son collecteur aux lignes et colonnes de la matrice.

On observe la structure suivante :





Pour commander l'ensemble de la matrice active, on va là aussi utiliser le " time multiplexing ". L'avantage de ces matrices actives est que le temps de commutation dû aux transistors et très faible. On va donc obtenir des temps de réponses très court.

Remarque :
On peut remplacer les transistors pas des diodes. Dans ce cas, les écrans fabriqués ne sont plus constitués de cellules de type TFT.

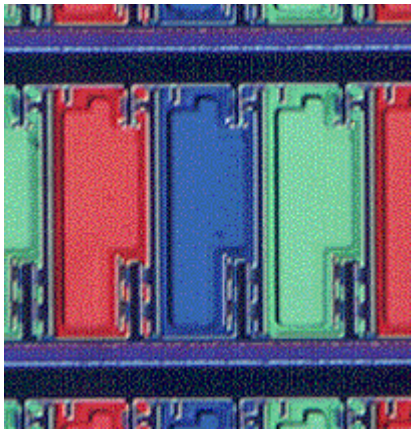
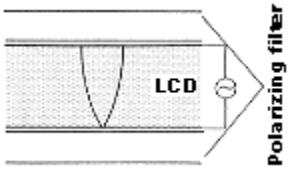


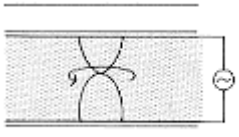
Photo d'un LCD de type TFT. On peut visualiser les transistors: ce sont les petites barrettes dans les coins en bas à droite.

LES DIFFERENTS TYPES D'ECRANS :

Les écrans de type TN (twisted nematic) et de type STN (super twisted nematic) font partis des types d'écran les plus utilisés. Ils sont apparus respectivement en 1975 et 1985. Mais il y existe également les écrans DSTN, TSTN et FSTN.



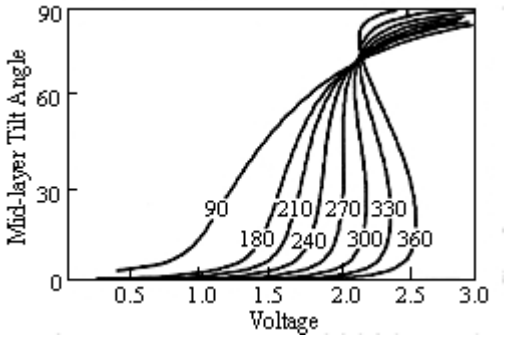
TN : twisted nematic (voir A.) Rotation de 90



STN : super twisted nematic Rotation de 180° à 260°.

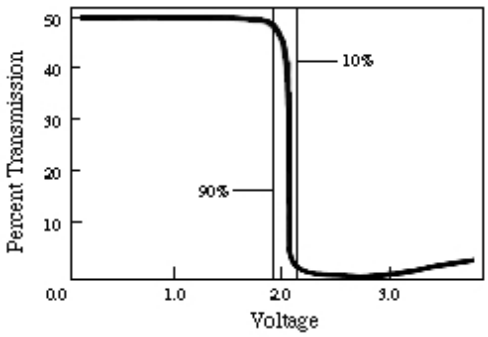
La différence de voltage entre Von et Voff dans les systèmes d'affichages doit être faible. C'est pour cette raison que les écrans de type TN sont inutilisables, en particulier pour les écrans à matrices actives. Les écrans de type STN permettent de palier à ce problème.

Les molécules de cristal liquide font subir une rotation supérieure à 90° à la lumière : la rotation est comprise entre 180° et 260°. Les polariseurs sont décalés de 200° l'un par rapport à l'autre.
L'angle de polarisation, l'épaisseur de la couche de cristal, et d'autres paramètres donnent diverses couleurs aux zones sombres. La couleur est due à l'angle de polarisation, ce qui explique pourquoi certains écrans LCD sont bleu ou jaune.
Le schéma ci-contre nous donne la réponse d'électro-distorsion pour différent angle de rotation :



On remarque que la variation du tilt est maximale pour un angle de 270° (la courbe est presque verticale) ce qui caractérise une très faible différence de tension entre Von et Voff , donc un temps de passage très court entre la configuration passante et bloquée. On passe presque immédiatement d'un point noir (lumière bloquée) à un point blanc (lumière passante).

Cet angle de 270° convient parfaitement pour des écrans noir et blanc qui ne nécessitent pas de nuances de niveau de gris (ex : écran d'une montre ou d'un téléphone portable).



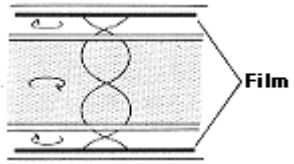
Pour obtenir des nuances de gris, on est obligé de diminuer la variation du tilt en prenant un angle de rotation plus faible. Le compromis entre l'obtention des nuances de gris et le temps de passage des deux configurations nous pousse à utiliser un angle de rotation de 210°. Ainsi, la gamme des niveaux de gris et le temps de passage sont convenables. Ce compromis est rendu obligatoire notamment pour les écrans couleur.

DSTN :double STN

Les écrans de type STN présente une coloration parasite due à l'angle de rotation. Leur utilisation est difficile pour des applications en couleur. On a résolu ce problème en ajoutant une seconde couche de STN, d'où son nom Double STN.
Il s'agit de la même technologie que les écrans STN. Ici, on superpose deux couches de cristal liquide de type STN. La lumière subit alors une première rotation de 200°, puis une seconde de -200°.

TSTN : triple STN

Dans les soucis de toujours obtenir un panel de couleurs de plus en plus large, on utilise maintenant des écrans à cristal liquide de type TSTN. Les écrans sont constitués de trois couches de cristaux de type STN.



Rotation comprise entre 180° et 260°.

L'angle de rotation est typiquement compris entre 180° et 270°, comme pour les STN.
On remarque que deux films sont placés avant et après la cellule. Ceux-ci sont des films biréfringents qui permettent d'obtenir des écrans noir et blanc de grande qualité. Mais l'avantage principal de cette technologie est d'autoriser un contraste élevé et d'avoir un angle de vision beaucoup plus important.

FSTN : filter STN ou film STN

Ces écrans reprennent exactement la même structure les écrans de type TSTN avec seulement un film biréfringent sur la face d'entrée de la lumière.

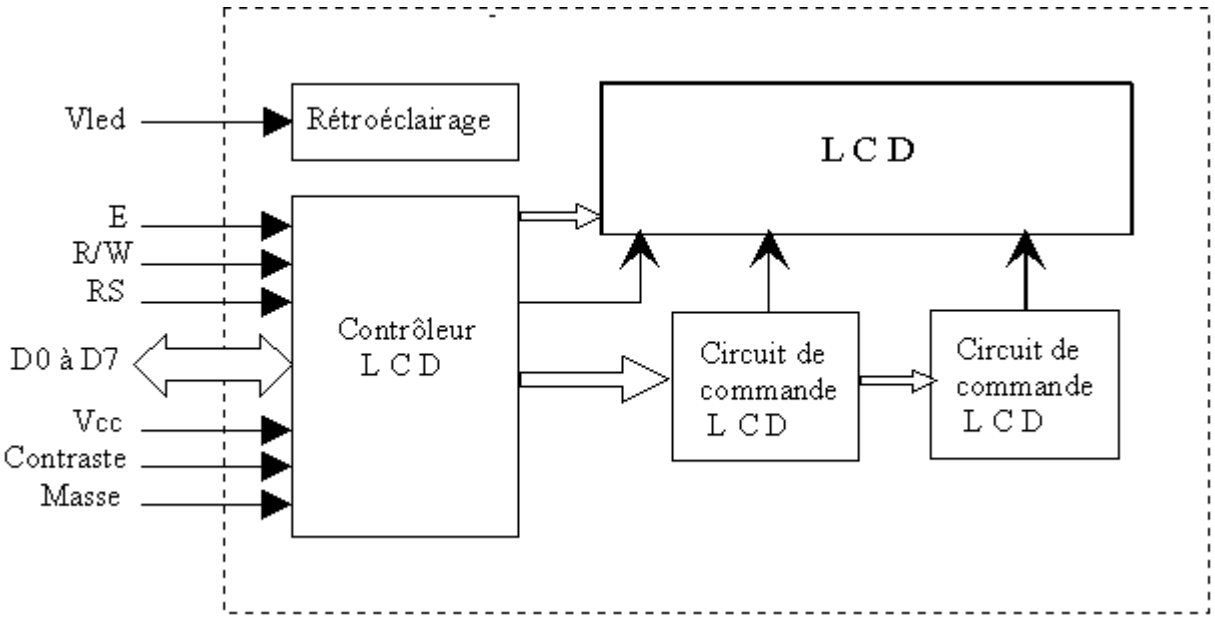
MONTAGE ELECTRIQUE DES LCD

Le montage électrique des écrans LCD est compliqué. On survolera les différents composants et tensions de commande qui rentrent en compte. L'écran que l'on va prendre en exemple est un écran à affichage par segment.

Description

Les afficheurs LCD nécessitent un microprocesseur " pilote " de la famille des C-MOS afin de diminuer leur consommation. Ce sont pratiquement les seuls à être utilisés sur les appareils à alimentation pas piles. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché. Ils diffèrent les uns des autres que par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes et de 6 à 80 caractères), leurs caractéristiques techniques et leurs tensions de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (250 mA max.).

Schéma de fonctionnement :



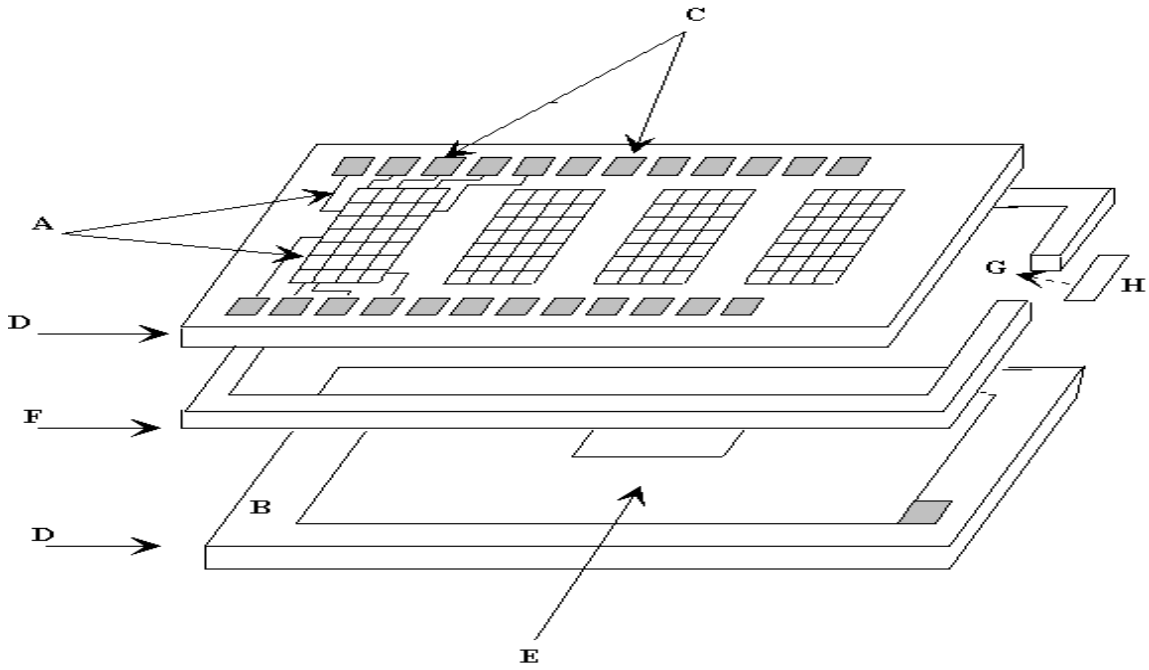
On remarque que l'affichage comporte d'autres composants que l'afficheur à cristaux liquides seul. Un circuit intégré de commande, le LCD-controller, est chargé de la gestion du module. Le "contrôleur" remplit une double fonction : d'une part il commande l'affichage et de l'autre se charge de la communication avec l'extérieur.

· **Les connexions :**

L'afficheur LCD dispose de peu de broches. Il faut l'alimenter, le connecter à un bus de donnée (4 ou 8 bits) d'un microprocesseur, et connecter les broches Enable (validation), Read/Write (écriture/lecture) et Register Select (instruction/commande).

Il faut savoir que la tension appliquée aux électrodes des l'écran LCD pour créer un champ électrique est une tension alternative, basse fréquence et de l'ordre de quelques volts (de 3 à 5 volts).

· **Constitution de l'afficheurs LCD**



A: électrodes en ITO
B: cristal liquide
C: contacts
D: couches d'alignements
E: contre élecctrode
F: joint organique
(cale d'épaisseur)
G: orifice de remplissage
H: bouchon

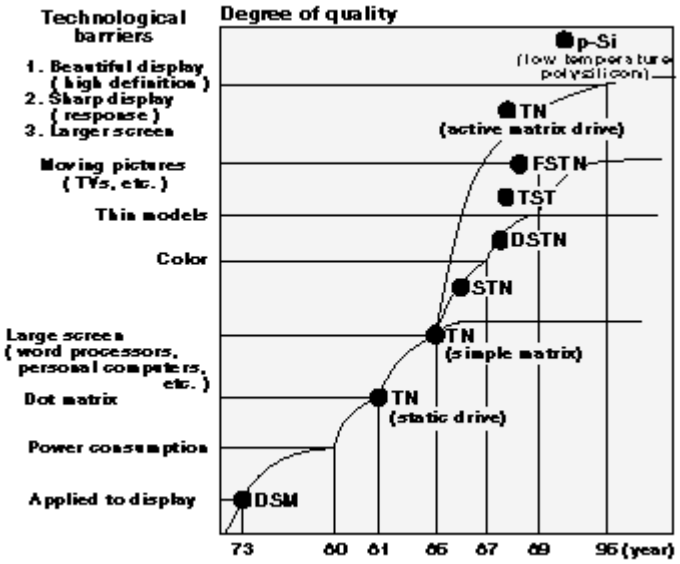
:

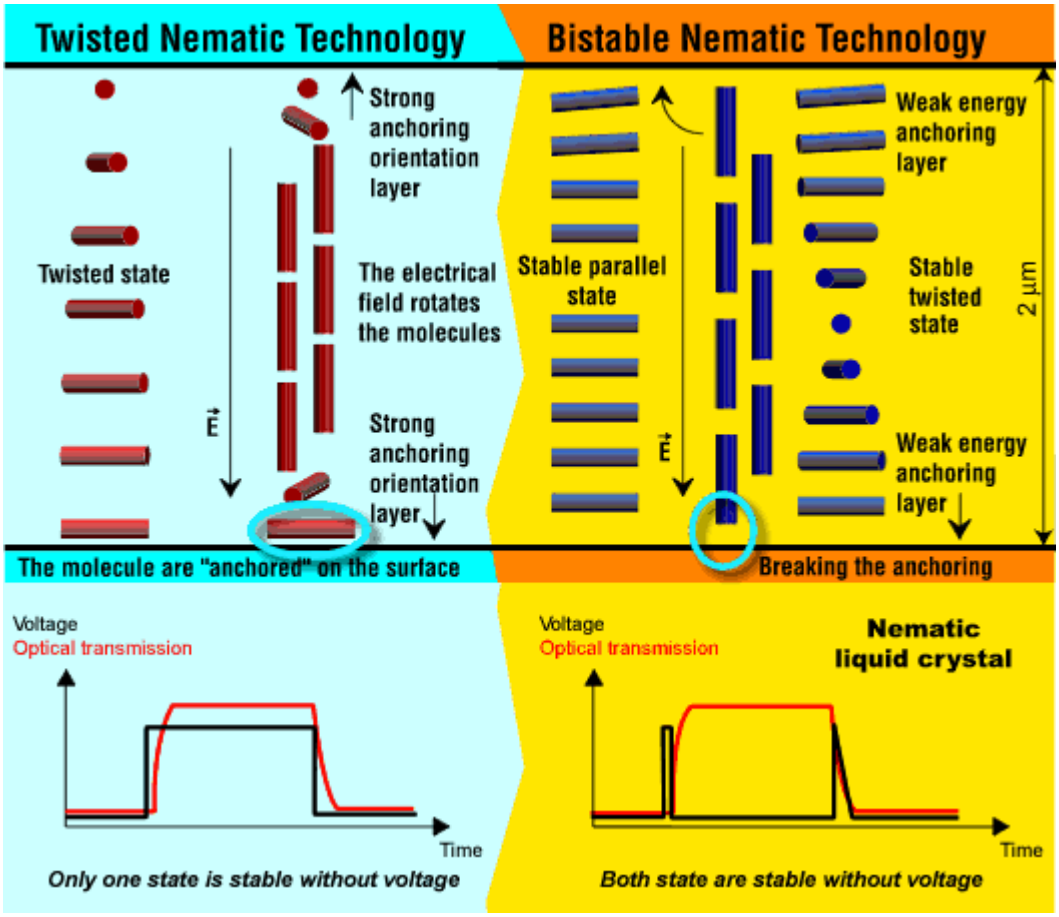
LES EVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES DU LCD

La grande évolution du LCD réside en l'utilisation de matériau ferromagnétique. Mais une technologie nouvelle, en cours de développement dans la start up Binem, basée sur la bistabilité des cristaux liquides semble être la future évolution majeure des twisted nematic.

La chronologie ci-contre rend compte de l'évolution technologique ainsi que l'amélioration au niveau des systèmes d'affichage:

La technologie "Zéro power Display", une innovation déterminante.





Dans la technologie Binem de Nemoptic (cf www.binem.com), le cristal liquide comporte deux phases stables. En fait, la phase qui était maintenue grâce au champ électrique dans les twisted nematic, n'a plus besoin ici d' être alimentée en courant électrique. Une simple impulsion électrique suffit à passer d'un état à l'autre. C'est pour cela que le système est surnommé "zero power display".

Le principe du bistable est de limiter les forces d'ancrage aux parois des cellules afin que la structure en hélice perde complètement sa structure à la suite d'une impulsion électrique.

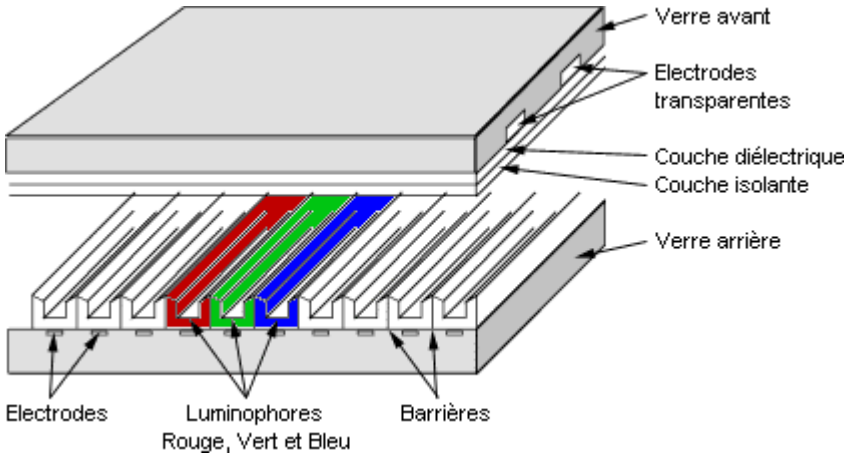
Conclusion :

Nous avons vu à quel point les cristaux liquides ont su évoluer grâce à l'intérêt que les industriels y ont porté afin de développer des systèmes d'affichage de plus en plus performants, que ce soit l'angle de vision, le contraste, ou encore le temps de réponse. Mais d'autres critères peuvent rentrer en compte, tels que la consommation électrique, puisque les LCDs s'appliquent plus particulièrement aux systèmes mobiles. On peut donc voir que la recherche n'a pas fini d'exploiter le minéral comme le montre la société Binem.

E - 2.3 PDP : afficheur à plasma

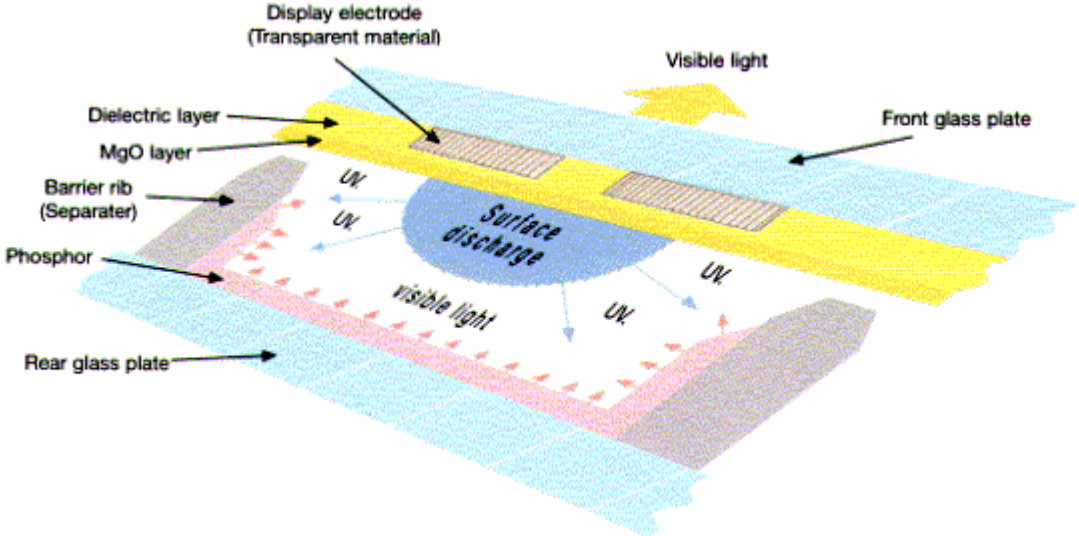
Le principe général d'un écran plasma (PDP pour Plasma Display Panels) consiste à amorcer et entretenir une décharge électrique dans une cellule contenant un gaz sous faible pression. Comme dans un tube fluorescent, la décharge émet un rayonnement ultraviolet qui sera transformé en lumière visible rouge, verte ou bleue par des luminophores. Cette cellule élémentaire représente un pixel, et sera dupliquée autant de fois que la taille et la résolution de l'écran l'exige. La structure de l'écran consiste en deux plaques de verre, sur l'une desquelles on grave les cellules. Les électrodes sont déposées par sérigraphie. Deux variantes utilisent

ce principe : la technologie DC à courant continu étudiée par la NHK et Matsushita et la technologie AC à courant alternatif de Fujitsu. Les différences principales entre ces deux techniques concernent le mode d'entretien de la décharge dans les capsules de gaz.
Ce point est très important, car il influe sur les performances des écrans, notamment la luminosité, la longévité et la consommation électrique. Dans l'état actuel des travaux, aucune des deux solutions n'est satisfaisante sur tous les points.



Structure d'un écran de type AC

Les électrodes créent une décharge de rayonnement ultra-violet dans le gaz. Ce rayonnement est reçu par des luminophores, comme le phosphore, qui transforme cette lumière UV en rayonnement visible.



Transformation du rayonnement UV en lumière visible

Avantages :
- grands écrans, plats, lumineux
- proche de la viabilité commerciale

Inconvénients :

- cher, et durée de vie limitée
- consomme beaucoup d'énergie

E - 2.4 PALC : écrans plasmatron

La technologie plasmatron, développée conjointement par Sony et Tektronix, présente un mélange des principes LCD et Plasma. Puisque le problème des grands panneaux de LCD est la matrice active (TFT), celle-ci est remplacée par une matrice active à plasma. Le principe consiste à utiliser une décharge électrique dans un gaz pour qu'il passe à l'état de plasma ionisé, donc conducteur. La cellule gazeuse va se comporter comme un interrupteur, et non plus comme une source de lumière, pour remplacer les transistors en couche mince des écrans LCD traditionnels.
Malgré les difficultés liées aux deux technologies employées (voir plus haut) le Plasmatron semble donner de bons résultats.

Structure d'un écran utilisant la technologie PALC

Avantages :
- grands écrans, plats
- changement d'image rapide
- plus facile à produire

Inconvénients :
- consommation électrique

E - 2.5 Les vidéo projecteurs

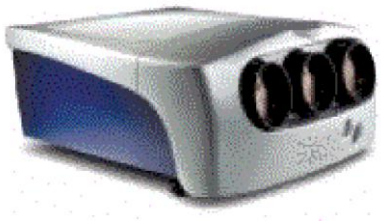
Hormis les écrans dont l'affichage et direct, il existe des systèmes qui projette l'image (l'information vidéo) sur des surfaces choisies. Ceci apporte une grande souplesse d'utilisation et un grand confort de visualisation (imaginez vous jouez à vos jeux vidéos avec un affichage de la taille de l'un des pan de mur de votre logis !!).

Ces systèmes sont les vidéo projecteurs.

Un vidéo projecteur peut être de format 4/3 ou 16/9. L'image est en général projetée sur un écran toilé.
Afin de diminuer l'effet de lignage, un doubleur de ligne lui est généralement associé. Attention toutefois, plus l'écran est grand, plus le lignage et les défauts de l'image sont visibles.
De plus le principal reproche que l'on peut faire à ce type d'appareil est de manquer de luminosité (pièce nécessairement sombre).

Trois grandes familles de vidéo projecteurs se partagent le marché:

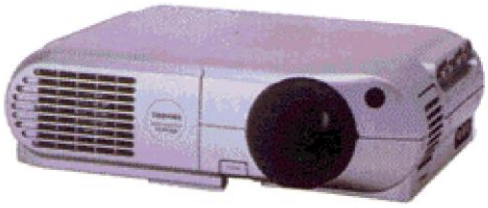
- les vidéo-projecteurs Tri-Tubes



© Barco

Ils sont les plus anciens et les plus classiquement employés jusqu'à ce jour. Ils ont comme principaux avantages leur qualité d'image et leur haute résolution unitaire : jusqu'à 3200 par 2500 pixels en monoscopique et 1600 par 1200 pixels à 96 Hz en stéréoscopique, pour les très hauts de gamme.
Leurs principaux inconvénients sont leur prix, leur puissance lumineuse modérée (250 à 450 lumens) et les dérives de leurs caractéristiques dans le temps qui imposent une maintenance encore contraignante. Mais la stabilité de leurs caractéristiques progressent. Trois visites de maintenance par an sont suffisantes, surtout si les vidéoprojecteurs restent constamment sous tension. Leur haute qualité d'image est reconnue surtout pour leur absence de perception des pixels (ils font du balayage), leur noir est vraiment noir, idem pour le blanc, le contraste est excellent et la forme géométrique de leur image est adaptable à tout type d'écran, plat ou courbe
En fait, les tri-tubes offrent de loin la meilleure image actuellement disponible. Ils utilisent la technologie tube des afficheurs cathodique, avec projection . Ils nécessitent une infrastructure assez lourde (pièce longue, installation fixe généralement au plafond, réglage fréquent de la convergence) mais permettent de disposer d'une image de plus de 2 m de diagonale, se rapprochant de la qualité cinéma pour autant que l'écran soit de bonne facture.

- les vidéo-projecteurs LCD (mono ou tri LCD)



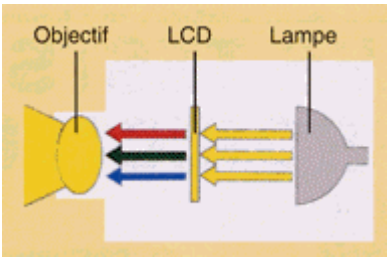
©Toshiba

Les vidéoprojecteurs LCD sont d'un prix moins élevé en général, mais les prix sont plus importants quand on souhaite une puissance lumineuse élevée (fonction du type de lampe : de 2000 à 12000 lumens) ou une résolution élevée : 1280 par 1024. Cette résolution est la limite maximum qui le restera pendant les prochaines années à venir.
Notons que la puissance lumineuse doit être élevée lorsqu'il faut afficher les images pour un groupe d'observateurs en salle immersive. Mais pour une utilisation mono observateur en RV, la puissance souhaitée est en général faible. Les vidéoprojecteurs LCD ont pour principal défaut de fournir des images avec des pixels rectangulaires qui laissent apparaître entre eux des interstices dégradant la qualité d'image.
Le contraste de l'image est de 300 à 350. Les couleurs sont de moins bonnes qualités qu'avec les CRT, surtout pour le noir et plus difficilement ajustables (très utile pour certaines applications RV, comme la conception esthétique). Mais certains constructeurs, comme Barco, sont capables de mieux gérer les couleurs sur les LCD. Ils sont aussi capables, comme avec les CRT, de faire du « edge blending » (fusion des bords d'images) pour faire une grande image composée de plusieurs images unitaires de vidéoprojecteurs LCD;
Les projecteurs LCD donc utilisent la technologie des écrans LCD mais projettent l'image générée sur l'écran LCD.
Les vidéoprojecteurs D-ILA utilisent également des LCD, mais la création des images se fait par réflexion et non par transmission. Par rapport aux LCD, les interstices entre pixels sont moins visibles, ce qui est appréciable ;

Il existe 2 familles de projecteur LCD, les mono-LCD et les tri-LCD.

Mono-LCD

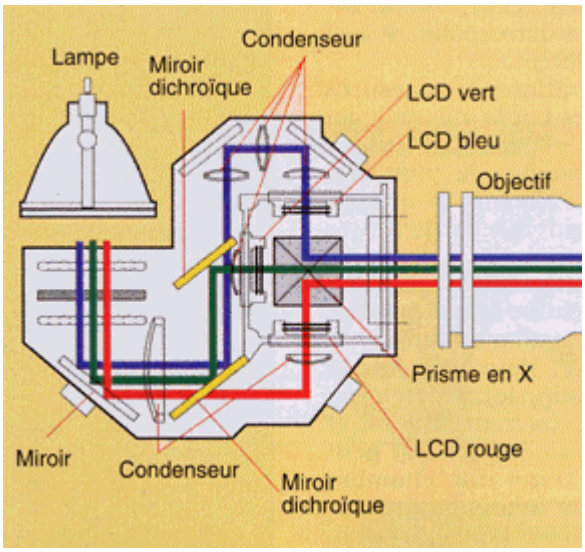
L'image est affichée sur un seul panneau LCD et une source lumineuse traverse cet écran pour atteindre la lentille de projection



© FNAC

Tri-LCD

Les tri-LCD utilisent un panneau LCD pour chaque couleur primaire (rouge, vert, bleu) permettant un meilleur rendu des couleurs (comparable à la logique des tri-tubes) mais au prix d'une plus grande complexité d'appareil.

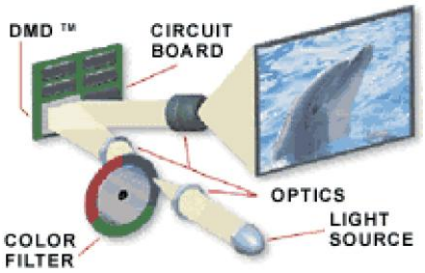


© FNAC

- les vidéo-projecteurs DMD (Digital Micromirror Device) ou DLP

Excellent intermédiaire entre l'encombrant et onéreux tri-tube et le vidéo-projecteur LCD, le projecteur DMD fournit le meilleur rapport luminosité/encombrement.
Basés sur la modulation temporelle de micro miroirs, ils ont des caractéristiques plus comparables aux LCD. Ils ont la capacité de fournir des images à haute puissance lumineuse. Le contraste de l'image est de 400 à 450. Les couleurs sont de moins bonnes qualités qu'avec les CRT, surtout pour le noir, mais un peu mieux que les LCD.
Le principe de ce système est de séparer l'information de la Chrominance (couleur) de celle de la Luminance (niveau de gris de l'image). Il y a autant de micro-miroirs que de pixels à afficher. Chaque micro miroir va s'orienter donnant ainsi une réflexion plus ou moins grande de la lumière (niveau de gris).

Devant chaque micro-miroir, on fait tourner une roue de couleur qui rend à l'image ses couleurs.



© Dreamvision

Pour la vision stéréoscopique, faite avec les LCD ou les DLP en technologie passive, il faut avoir deux vidéoprojecteurs au lieu d'un seul CRT à double fréquence en technologie active. Un problème complémentaire se pose alors : la station graphique doit avoir deux canaux graphiques à fréquence normale pour les brancher sur les deux vidéoprojecteurs.
Une autre solution, proposée par Barco avec le dispositif DUET est d'exploiter un seul canal à double fréquence pour le séparer en deux et le connecter à deux vidéoprojecteurs passifs. Le signal vidéo, n'étant pas digitalisé, garde sa qualité intrinsèque et les sources logiciels pour la stéréo active peuvent être exploitées dans ce cas, sans modification.

Pour la projection, le choix de l'écran est aussi important. Plusieurs types d'écran sont proposés commercialement. Dans le cas de la vision en relief avec polarisation, l'écran doit garder les polarisations après réflexion, ce qui est plus difficile à obtenir par rétroprojection. Si on observe l'écran de près, les couleurs peuvent être perçues différentes si l'angle de vision est grand par rapport à la normale de l'écran, sauf pour les écrans à lentilles de Fresnel qui permettent de voir en rétroprojection même à 90° de la normale au plan de l'écran. Pour les écrans courbes, la régularité de la surface doit être soignée pour garder une bonne qualité visuelle.

Les problèmes de déformation des images à projeter sur des écrans courbes ne sont pas simples à résoudre, surtout pour les dômes et pour afficher en rétroprojection sur un écran semi-cylindrique. L'entreprise Perception 3D a développé un système de déformation des images en temps réel, qui se fait matériellement, donc sans décalage temporel. Le problème dans ce cas est de garder la même qualité d'image en chaque zone après déformation.

E - 2.6 Autres technologies

- Panneaux à diodes :

Les diodes électroluminescentes, LED (Light Emitting Diodes), sont utilisées pour constituer des panneaux de grandes dimensions lors de spectacles ou d'événements sportifs. Cette technologie ne semblait pas adaptée aux écrans de télévision. L'adressage de diodes est compliqué, la consommation électrique élevée, les diodes constituent des pixels trop gros pour un usage domestique et il n'existait pas de diodes qui émettent de la lumière bleue ; ce n'est que très récemment que l'on est arrivé à produire des diodes bleues et elles ont déjà été intégrées dans un écran montré au NAB 97. Il est possible que cette nouvelle donne relance les recherches dans le domaine des écrans de télévision.

Peut être aura t-on droit un jour à un écran de jeu vidéo gigantesque suivant cette technologie…

Les technologies suivantes sont encore toutes aussi peu susceptibles de servir le monde des jeux vidéos ou alors à un stade de développement trop peu avancé.

- Ecrans à émission de champ
- Ecrans électroluminescents organiques
- Digital Micromirror Device (le faisceau est dévié par des miroirs inclinables)
- Laser

CONCLUSION

Le marché potentiel des écrans est évalué à plusieurs centaines de milliards de francs, ce qui justifie tous les efforts de R&D consentis depuis plusieurs années par les entreprises de ce secteur.
Aujourd'hui plusieurs technologies se développent de manière concurrente. Dans l'état actuel des choses, on peut penser que le PALC va s'imposer pour les ordinateurs de bureau et que le LCD va conserver sa place pour les portables.

E - 3 Systèmes de visualisation

Avec l'ère du multimédia, le marché des écrans et moniteurs, depuis les écrans de très petite taille pour équipement mobile, jusqu'aux écrans de grandes dimensions pour la télévision murale et les panneaux d'information, est devenu florissant. La lutte est âpre en particulier pour prendre la place de l'écran à tube cathodique qui, malgré ou plutôt grâce à son grand âge (déjà un siècle) présente une qualité d'image et des performances difficiles à égaler. La croissance du marché des écrans, et la demande en écrans de faible encombrement (plats) et de faible poids entretiennent une dynamique très bénéfique à l'innovation technologique et source d'une grande diversité.
Hormis les technologies fonctionnelles développées au chapitre précédent, il y a cette dimension supplémentaire, la 3ème.
Elle est attirante et a déjà débloqué des budgets de R&D.

Mais chaque chose en son temps, parlons tout d'abord des écrans à affichages bidimensionnels.

E - 3.1 Ecran monoscopique

Ecran de visualisation classique qui peut-être de toutes les technologies d'écran suscitées.
C'est l'écran classique. Il est par définition tout sauf un afficheur stéréoscopique.
Il affiche donc des images bidimensionnelles.

Si l'on prend en compte le champ visuel total et la résolution que l'acuité visuelle humaine arrive à apprécier, ce type d'écran seul n'est pas encore à la hauteur à moins d'en utiliser plusieurs côte à côte, ou encore en ayant recourt aux dernières avancées technologiques en matière d'écrans plasmas .
Il faut encore attendre les écrans ayant une résolution de 3000 à 5000 pixels horizontalement, suivant le champ de vision exploité.

E - 3.2 Ecran d'ordinateur stéréoscopique

Contrairement à l'écran monoscopique, ce type d'écran exploite le principe de la stéréoscopie : il s'agit de fournir à chaque oeil une image différente. Pour cela, principalement deux cas de figures se différenciant par la technique de distribution/ séparation de l'information existent.
Dans un cas, l'écran seul suffit à nous apporter la dimension de relief, tandis que dans l'autre cas, il nous faut porter des lunettes pour percevoir ce relief.

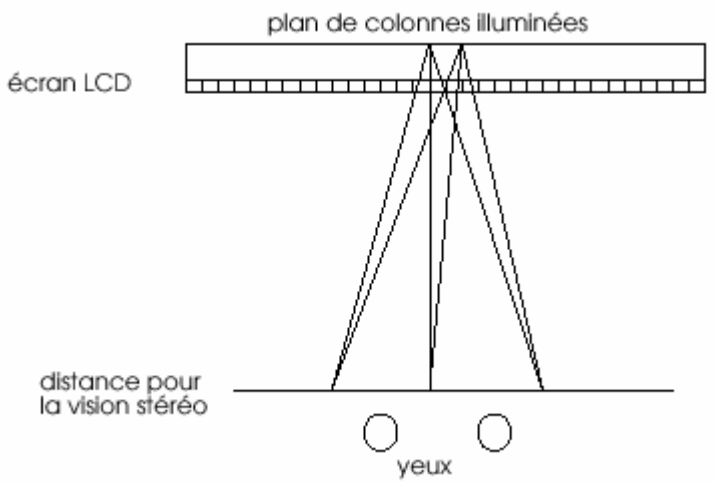


E - 3.2.1 Les écrans auto-stéréoscopiques

Il existe des écrans se suffisant à eux-mêmes pour que le spectateur puisse effectivement bénéficier d'une vision en relief.
On distingue les écrans auto-séréoscopiques avec illumination, et à réseau lenticulaire.

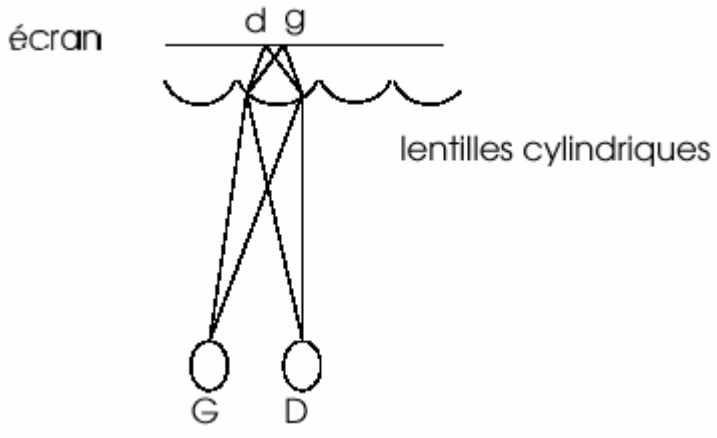
Avec illumination :

L'écran est un ensemble de deux plans : l'un est un écran à cristaux liquides, l'autre juste derrière est composé de fines colonnes illuminées séparées entre elles par des zones sombres (*Kaneko*, 1987). Il y a une colonne de lumière pour deux colonnes de pixels de l'écran à cristaux liquides. Chaque colonne de lumière est espacée de telle façon qu'un observateur dans une bonne position voit celle-ci à travers la colonne paire de pixels avec son oeil gauche, et à travers la colonne impaire de pixels avec son œil droit. Les pixels ne sont visibles dans ce dispositif que s'ils sont éclairés. En affichant l'image de gauche sur les colonnes paires, l'œil gauche de l'observateur perçoit la bonne image, de même pour les colonnes impaires avec l'œil droit. L'écran peut être monochrome ou en couleur et affiche 320 x 380 pixels par oeil. Avec un capteur de localisation, l'écran peut afficher des images différentes suivant la position des yeux pour fournir un effet visuel correspondant mieux à une vision réelle (*Eichenlaub*,1990).



Avec réseau lenticulaire :

L'écran est recouvert d'un réseau lenticulaire : un plan composé de lentilles demi-cylindriques d'axes parallèles aux colonnes de l'écran.



Celles-ci ont des caractéristiques optiques qui impliquent que chaque oeil de l'utilisateur voit des colonnes différentes de pixels, correspondant à deux images différentes. Derrière chaque lentille cylindrique, on a pour chaque oeil 1, 2 ou 4 colonnes de pixels. S'il y en a plusieurs, en déplaçant légèrement la tête, l'observateur voit la scène affichée en continu sous différents points de vue.

Dans ce cas, la vision se rapproche plus de la vision naturelle. Mais ce changement de point de vue n'est possible que sur une petite portion d'espace.

Plusieurs types d'écrans ont été testés par des chercheurs japonais :
écran PDP (640 x 400 pixels en monochrome), écran EL (640 x 400 pixels en monochrome), écran LCD (720 x 480 pixels RGB à 1440 x 1024 pour des téléviseurs de grandes dimensions : 50").
Pour alléger l'écran lenticulaire, celui-ci peut être séparé de l'écran d'affichage par une couche d'air, permettant de diminuer l'épaisseur des lentilles tout en gardant les mêmes caractéristiques optiques.

Les écrans plats sont préférentiellement utilisés, car il est plus facile dans ce cas d'aligner les colonnes de pixels avec les lentilles cylindriques. C'est la principale difficulté technique des écrans autostéréoscopiques, surtout pour ceux de grandes dimensions.
Le principal avantage des écrans autostéréoscopiques est de permettre à l'observateur de ne porter aucune lunette. Mais, en conséquence de la possibilité de plusieurs points de vue, l'inconvénient est de diminuer la résolution des images au moins par 2 (ou par 4 ou 8).
Comme on ne sait pas faire actuellement des écrans à résolution suffisante, ceci est un défaut important de ce principe.
Une invention française, l'alioscope, exploite le principe autostéréoscopique avec un réseau lenticulaire, qui est placé devant un écran plat. Un bloc optique spécifique (1 dioptre convergent et 4 dioptres divergents) est positionné devant le capteur CCD d'une caméra classique.
Un ordinateur entre la caméra et l'écran est obligatoire pour l'inversion des groupes de 4 colonnes de pixels pour une vision correcte avec 4 points de vue. Ce procédé permet à son utilisateur de filmer avec une seule caméra et une seule optique de vue et de fournir des images vidéo en relief. Les intérêts de cette invention sont : son coût modeste, la perception de l'objet principal au niveau de l'écran, l'existence de plusieurs points de vue. Mais il y a des inconvénients liés à ce principe. La résolution des images est 4 fois inférieure par rapport à un écran de mêmes caractéristiques en résolution, ayant double fréquence pour faire un multiplexage temporel. Le moiré de l'écran autostéréoscopique dégrade un peu la qualité des images et les points de vue stéréoscopiques ne sont pas variables.

E – 3.2.2 Visiocasques

Grâce à l'essor de la réalité virtuelle, il est apparu un nouveau type de matériel pour la vision : les visiocasques (traduction de «Head Mounted Display», on peut aussi employer l'expression «casque immersif») dont l'objectif est de fournir une **vision stéréoscopique** à l'aide de deux petits écrans, un **grand**

champ visuel correspondant à celui des yeux de l'utilisateur et **une immersion du regard**. Le visiocasque tend théoriquement (mais pas pratiquement !) vers «l'interface visuelle idéale» pour un seul observateur. En plus de la vision stéréoscopique, partielle ou totale, ces appareils disposent d'un capteur de localisation de la tête de l'utilisateur permettant d'afficher les images correspondant à l'orientation des yeux. La direction du regard est par définition la projection des axes des yeux sur le paysage. C'est donc le résultat de l'orientation du corps, de la tête et des yeux. Donc, dans un visiocasque, les images affichées correspondent à l'orientation de la tête mais pas à la direction des yeux, car aucun visiocasque commercialisé à ce jour ne détecte le mouvement des yeux. Cependant, dans la plupart des cas, il s'agit bien de la direction du regard. En effet, le mode de prise d'information visuelle se fait de la manière suivante : dans un premier temps, il y a rotation des yeux dans leur orbite puis ensuite légère rotation de la tête pour mettre les yeux au milieu de leur orbite. Le champ de vision est théoriquement de 360 degrés en considérant la mobilité de la tête. En position fixe de la tête, le champ de vision d'un visiocasque n'est pas aussi grand que naturellement (ordre de grandeur : 120 degrés maximum au lieu de 180 degrés dans le plan horizontal), mais donne néanmoins une impression d'immersion visuelle. En vision naturelle, la perception n'est nette que dans le champ central. Si on observe un objet sur le contour du champ visuel, on tourne la tête instinctivement pour mieux le regarder. Les visiocasques sont donc moins efficaces pour attirer le regard sur le côté, leur champ de vision étant plus étroit.



Dans certains visiocasques à champ de vision trop faible, on a la désagréable impression de voir à travers un tube. D'où le dilemme des constructeurs : avec un même type d'écran, si on augmente le champ de vision pour percevoir les objets de côté en écartant les deux écrans, on diminue la zone de superposition des images droite et gauche et donc la perception du relief. En complément, le son stéréophonique est en général proposé grâce à deux écouteurs.

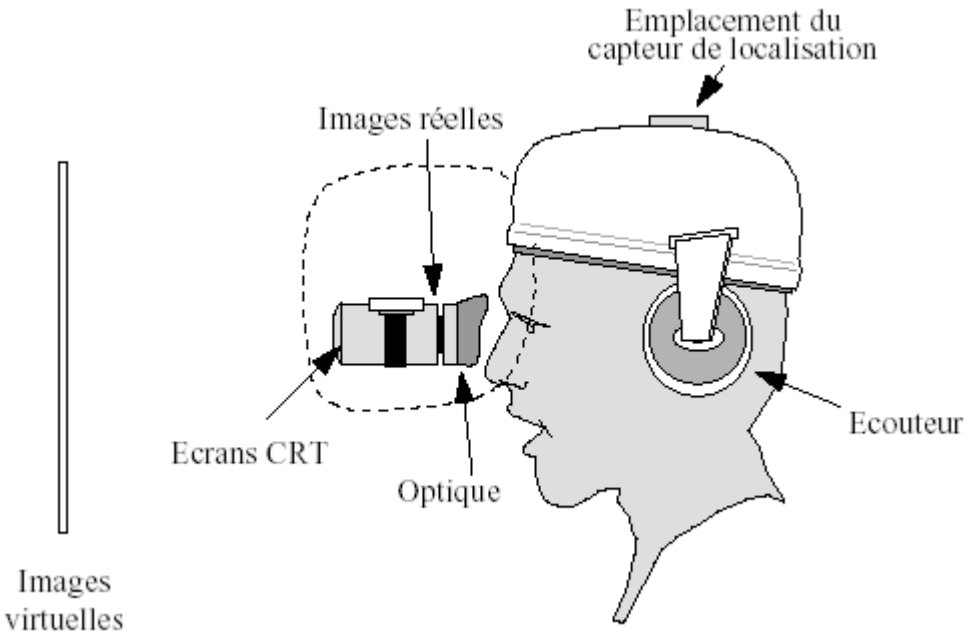
Bref, les visiocasques sont donc munis de deux écrans pour créer la vision stéréoscopique, mais aussi, d'écouteurs polyphoniques (pour créer un environnement sonore sur 360°) et de capteurs enregistrant les

mouvements de la tête. Les mouvements de l'utilisateur sont gérés par un programme informatique qui recalcule en temps réel les représentations visuelles et sonores de l'univers représenté autour de l'utilisateur.

Les 2 écrans montés peuvent être de type LCD ou CRT, en couleur ou en. L'opérateur qui porte ce dispositif voit donc directement devant ses yeux les deux écrans. Le dispositif est aussi muni d'un capteur (généralement de type *Polhemus*) qui détecte la position et l'orientation exactes de la tête de l'usager en temps réel.
Ces données sont transmises à un programme d'ordinateur. Le programme va alors calculer très rapidement deux images correspondant aux vues des deux yeux de l'observateur, et les images seront envoyées sur les deux écrans.
Tout l'intérêt de la technique, c'est que ces vues seront celles du monde virtuel. Ainsi, lorsque l'opérateur tournera la tête, le programme le sachant affichera les nouvelles vues et donnera l'impression à l'opérateur qu'il est à l'intérieur du monde virtuel.



Visiocasque AddVisor de Saab Avionics, © photo SimTeam



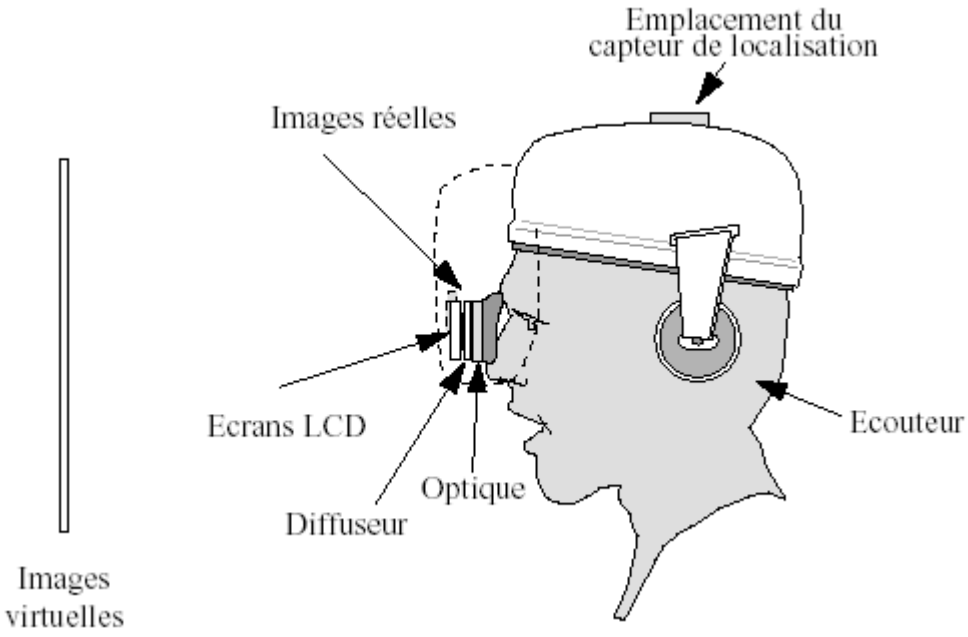
Le fait d'avoir une vue pour chaque oeil crée un effet stéréoscopique donnant une perception tridimensionnelle et augmente ainsi le réalisme de la scène. A ce stade, il est donc possible d'introduire une personne réelle à l'intérieur de n'importe quel monde virtuel, la faire ainsi se promener, par exemple, sur la planète Mars, ou à l'intérieur d'un corps humain, ou encore dans un bâtiment fictif. Il est aussi possible de lui faire rencontrer des êtres de synthèse.

Les dispositifs d'affichage stéréoscopique utilisent tous des surfaces d'affichage basées sur des écrans. Par conséquent, l'accommodation est fixe, ce qui introduit un découplage entre l'accommodation et la convergence lors de l'observation d'un objet particulier. Dans notre vie réelle, ces deux fonctions vont toujours de pair et l'utilisateur doit apprendre à contrôler séparément la rotation des yeux et l'accommodation. Suivant les applications envisagées, deux types de casque ont été construits. Pour les applications où l'immersion totale de l'opérateur dans un environnement est requise, on utilise des casques dits immersifs, où les seules images perçues par l'opérateur sont celles représentant l'environnement simulé dans lequel il effectue sa tâche. Pour d'autres applications, où l'objectif est d'étendre nos systèmes sensitifs à l'aide de

systèmes d'information, on préfère des casques non-immersifs, afin de superposer les images générées par le système informatique à la perception visuelle de l'environnement réel.
On parle alors de Réalité Augmentée.

Le principe exact de fonctionnement des visiocasques est simple.
Chaque écran (deux pour les deux yeux) (CRT ou LCD) affiche l'image destinée à l'œil qui à son champ de vison exclusivement pris par cette dernière.
Ceci est le même principe que le spectroscope, mais en tout intégré (affichage et séparation).

Les principales différences entre les visiocasques LCD et ceux à écrans cathodiques sont leur plus faible prix et leur plus faible résolution même si certains modèles atteignent néanmoins une résolution de 1024 par 768 pixels pour le XL50 de Kaiser Electro Optics et 1280 par 1024 pixels pour le AddVisor de Avionics Saab.
La structure de ces visiocasques LCD est identique à celle des visiocasques à écrans cathodiques, à part les deux écrans et les deux diffuseurs servant à dépixelliser. La vision par des écrans à cristaux liquides à faible résolution donne l'impression d'observer la scène à travers un maillage dû aux interstices entre les pixels. Pour résoudre ce défaut, William Johnson a inventé un film polymère composé de millions de microlentilles, le Microsharp, qui dépixellise l'image sur les écrans miniatures à cristaux liquides. Il y a d'autres principes pour résoudre ce problème : on peut défocaliser en partie les images, mais cela apporte une certaine fatigue. Une autre solution est de mettre devant l'écran un «wavefront randomizer» qui est une collection de petits prismes réfléchissant suivant un angle variable la lumière (petits prismes : plus petits que la dimension d'un pixel)



E - 3.2.2 Les écrans stéréoscopiques combinés à des vidéolunettes

Il est également possible d'afficher l'information stéréoscopique sur un écran distant du spectateur, en gardant le principe du multiplexage temporel de l'information destinée alternativement à chaque œil.

Dès lors, le porteur n'a besoin que de vidéolunettes qui ne comporte pas les afficheurs comme dans le cas des visiocasques.
La vision binoculaire peut alors être recrée de 4 manières différentes :

> suivant le principe des **anaglyphes** auquel cas n'importe quel afficheur bidimensionnel convient. Le spectateur doit alors porter des lunettes avec deux filtres de couleurs adaptés et différents.

> à l'aide de vidéo lunettes à **synchronisation électronique** :

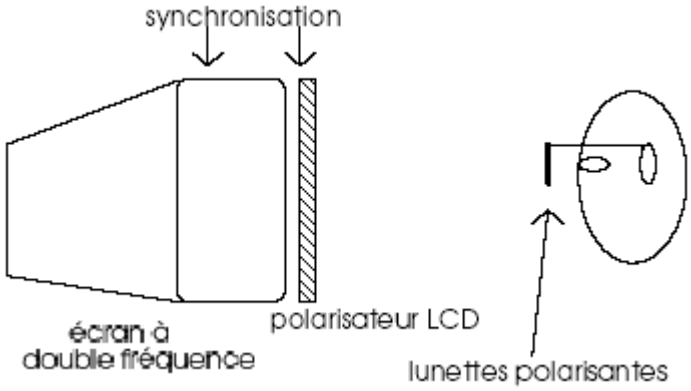


© photo ThetaScan

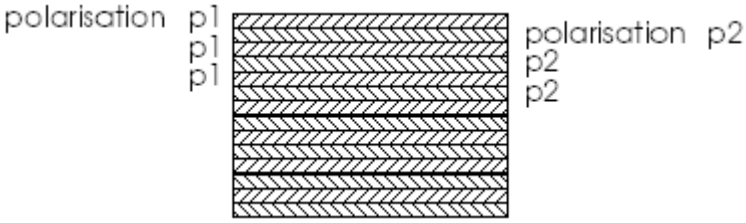
• le calculateur doit être positionnée en mode stéréo: dans ce mode, chaque écran affiche alternativement à grande fréquence (120 Hz) deux images, qui doivent correspondre à la vision depuis l'oeil gauche et à celle depuis l'oeil droit;
• un boîtier transmet un signal de synchronisation à la fin de l'affichage de chaque image;
• les lunettes masquent alternativement l'oeil droit et l'oeil gauche à la réception des signaux de synchronisation.
Le masquage souvent est effectué à l'aide d'écrans LCD tel que dans le cas *Videolunettes I-Glasses de Virtual I O ci-dessus.*

On peut utiliser un capteur de position et d'orientation pour obtenir les informations permettant de recalculer le volume de vision à chaque image de manière à donner au participant la sensation de regarder à travers une fenêtre.

> suivant le principe de **la polarisation**, ce qui impose à l'afficheur d'utiliser une lumière cohérente et polarisée de manière à ce que l'axe de polarisation linéaire de l'image réservée à un œil soit perpendiculaire à celui de l'autre œil. La séparation se fait alors à l'aide de simples lunettes à base de films dichroïques (un pour chaque œil) dont l'orientation des cellules est respectivement colinéaire à chacun des axe de polarisation de l'affichage alterné. Ces lunettes sont très légères et très fines, et n'occasionnent par conséquence que très peu de gène, accroissant ainsi le facteur présence du joueur dans son monde virtuel.



Notez que l'affichage en lumière polarisée pourrait se faire de manière alternée, non pas d'une image sur deux, mais d'une ligne sur 2 (ce qui double la période spatiale à la place de la période temporelle).
Ce procédé est réalisable grâce à la fabrication de microscopiques polariseurs (µpol) de dimensions inférieures à 10 % µm.



Ce principe permet de créer des images stéréoscopiques sur ordinateur, fixe ou portable, et aussi avec rétroprojecteur pour une vision multi-utilisateur.

> suivant le principe de base de la **stéréoscopie** de base, en séparant horizontalement l'image en deux. L'utilisateur devrait alors porter un stéréoscope classique (dispositif passif également) lui permettant une séparation continue du champ visuel.

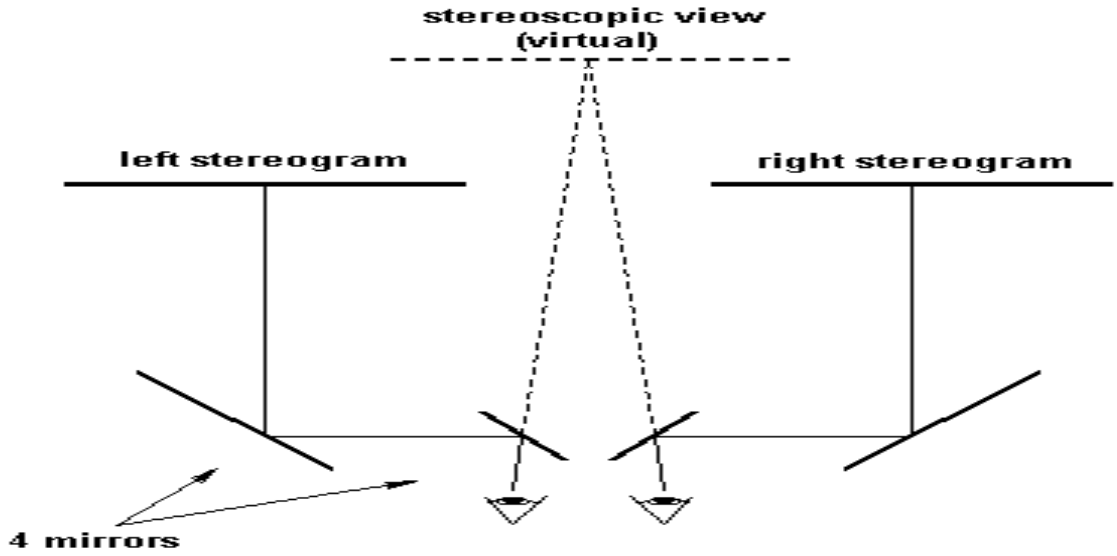


Fig. 4 - Mirror stereoscope. View from the top (schematic).

Tous les dispositifs de casques/lunettes/stéréoscopes présentés sont donc passifs et donc permettent la participation simultanée de plusieurs joueurs.

Remarque : ces trois techniques peuvent être exploitées pour la restitution d'images réelles ou synthétiques. Dans le cas d'images réelles, l'acquisition des deux images peut se faire avec deux caméras standard (synchronisées ou non selon le procédé) ou avec une seule caméra stéréo monobloc (composée de deux capteurs CCD et de deux objectifs à axes parallèles). Les possibilités de réglage mécanique ou logiciel pour fusionner les images sont à étudier pour comparer les différentes solutions (réglage des parallaxes, commande des zooms, ...).

E – 3.3 Fenêtres et bureau immersifs, visio-salles et visio-cubes

FENETRE IMMERSIVE

Si on propose la possibilité de créer des images en relief sur un écran d'ordinateur, on peut aussi rechercher avec un tel type d'écran à augmenter artificiellement l'immersion du regard sans utiliser un visiocasque. C'est ce que propose *Virtual Research* avec sa solution originale : «*Window VR*». L'écran est orientable et accroché à un portique. L'observateur, manipulant l'écran, peut regarder la scène virtuelle dans toutes les directions, « par la fenêtre ». L'écran, de résolution XGA (1024 x 768) ou SXGA (1280 x 1024) et même en 21" (1600 x 1200), est bien sûr traqué : 3ddl (orientation seulement) ou 6ddl. Des boutons se trouvent en plus sur deux manettes pour différentes commandes.



Window VR de Virtual Research,,© photo PSA

VISIOBUREAUX OU BUREAUX IMMERSIFS

Ce type d'interface, apparu au milieu des années 90, permet d'afficher sur une grande surface des images stéréoscopiques (de la grandeur d'un bureau ou d'une planche à dessin). Ce type d'interface permet ainsi à un ou deux utilisateurs de visualiser des objets tridimensionnels. Ces bureaux immersifs (ou visiobureaux) fonctionnent globalement comme les écrans stéréoscopiques avec séparation par lunettes, excepté que l'image est projetée sur un écran par l'intermédiaire de rétroprojecteur et éventuellement via un ou deux miroirs.
La séparation des images stéréoscopiques se fait soit par l'intermédiaire de lunettes actives ou soit par l'intermédiaire de lunettes passives. Deux cas de visualisation tridimensionnelle sont possibles :

- le point de vue des images projetées est fixe : l'observateur doit garder la tête fixe pour ne pas voir la déformation visuelle de la scène virtuelle ;
- la tête de l'observateur étant « traquée », le point de vue change en fonction de la position de la tête pour proposer dans ce cas l'immersion concentrique du regard.

La perception tridimensionnelle de la scène virtuelle est alors plus performante. L'observateur peut observer l'objet virtuel sur différents angles pour mieux le percevoir. Mais ces angles différents sont limités ! Les contraintes des images en relief sont telles que l'on ne peut tourner autour de l'objet qu'à plus ou moins 30° (ordre de grandeur).
Remarques : dans le deuxième cas, avec la tête traquée, un *seul* observateur peut regarder correctement la scène virtuelle ou l'objet virtuel. Combien de démonstrations avec plusieurs observateurs, dont un seul avec la tête traquée, ont eu lieu, perturbant et fatiguant visuellement les autres observateurs ?
Si on veut à tout prix montrer la scène virtuelle à deux observateurs, il faut fournir quatre images différentes (et non deux) ainsi que les lunettes actives ou à différenciation colorimétrique séparant ces quatre images pour les deux observateurs. Mais dans ce cas, la station graphique doit avoir la puissance nécessaire pour générer le double d'images. Certains constructeurs proposent cette fonctionnalité.
Autre remarque : l'observateur, avec sa tête traquée, doit percevoir l'objet immobile, même en bougeant sa tête. Cela n'est bien sûr possible que si le capteur de localisation soit suffisamment précis et avec très peu de temps de latence.
Un autre capteur de localisation ou un gant de données peut être fourni pour manipuler les objets virtuels.
Indépendamment du suivi de la tête de l'observateur, les dimensions, l'inclinaison et le nombre d'images du bureau immersif sont variables. Car on trouve des bureaux à deux

écrans perpendiculaires, un vertical et l'autre horizontal.
Le bureau immersif « *Consul* » de *Barco* a deux écrans stéréoscopiques de dimensions 1,02 m par 1,36 m. (cf. ci-contre © *Barco*). L'encombrement du meuble est de 2,2 m par 2,2 m par 1,6 m, ce qui est relativement faible pour ce type de matériel.
Le bureau immersif « *Holobench* » de *TAN* a deux écrans stéréoscopiques. L'encombrement du meuble est plus important que celui du Consul Néanmoins, ces interfaces s'avèrent relativement chères et nécessitent un espace relativement important. Mais la représentation d'objets en grand (pour certains à l'échelle 1) est à ce prix.
Barco propose aussi le bureau immersif Baron de dimension 1,7 m en diagonale, avec vision stéréoscopique (cf. ci-dessous © Barco)

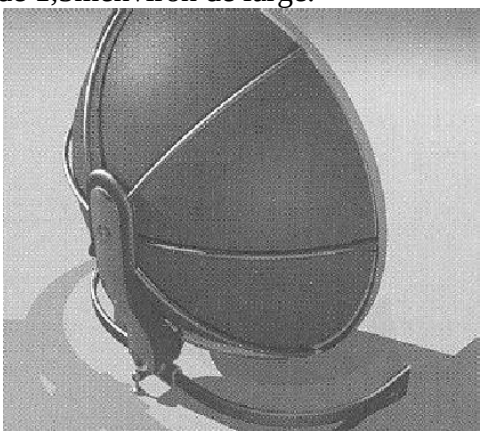




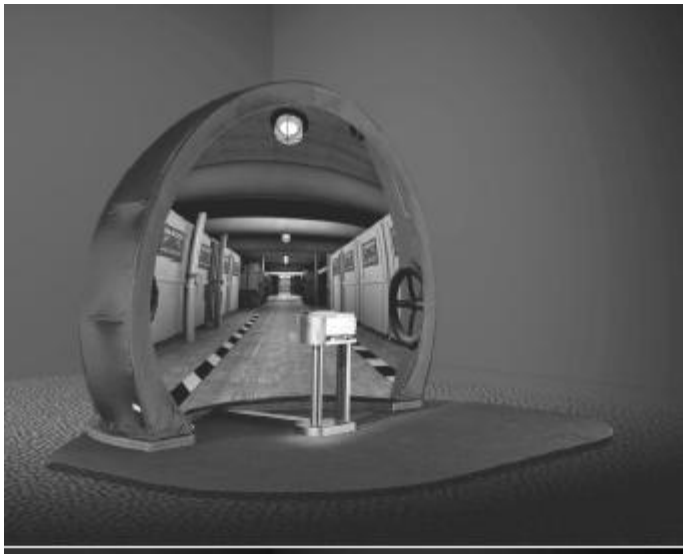
Fakespace, l'un des principaux constructeurs de ces bureaux virtuels propose ainsi plusieurs modèles utilisant l'une ou l'autre de ces techniques : *MiniWorkbench* et *ImmersiveWorkbench*, basés sur un projecteur CRT (tube cathodique) et utilisant des lunettes actives, offrant des surfaces de visualisation de 44" pour la diagonale du premier et de 90" (soit 2m28) pour le second, avec une résolution de 1280*1024.
VersaBench utilise la polarisation par multiplexage spatial sur l'écran pour restituer la stéréoscopie. Deux projecteurs sont utilisés pour éclairer l'écran de 60" de diagonale.

Un cas particulier et original de «bureau immersif» est la «*visionstation*» de *Elumens*.
L'image est projetée sur une surface sphérique devant l'observateur pour qu'elle recouvre une grande partie de son champ de vision. L'immersion visuelle physique est donc plus grande. La contre partie est que le vidéoprojecteur, ayant une optique grand angle adaptée, se trouve devant l'observateur entre celui-ci et la calotte sphérique. La déformation des images est

calculée en soft, ce qui procure un retard dans l'affichage des images. La projection par vidéoprojecteur LCD de 1024 par 768 pixels se fait sur une calotte sphérique de 1,5menviron de large.



La visionstation d'Elumens,© photo Immersion S.A.





Les visiondome V5 et V31 d'Elumens © photo Immersion S.A.

Mais *Elumens* propose plusieurs variantes de plus grandes dimensions : le *visiondome V31* de 3 m de diamètre pour l'affichage à 1027x768, le *visiondome V4* et le *visiondome V5* de 5 m de diamètre pour l'affichage à 1365x1024 pour plus de 10 observateurs. Avec ce dernier type de matériel, on est plus dans le cas de salle immersive et non de bureau immersif. C'est le sujet de la prochaine partie.

VISIO-SALLES ET VISIO-CUBES

Ce ne sont plus de simples fenêtres ni bureaux immersif destinés à une seule personne mais des salles ou cubes.
Le principe de l'immersion reste le même que précédemment, simplement, il s'agit maintenant d'affichage par vidéo-projection.
Ces quelques images parlerons plus qu'une description écrite :



Les visio-salles ont soit un vaste pan de mur comme écran soit tout bonnement, tous les pans de murs et même parfois sol et plafond. Ces techniques impliquent plusieurs projecteurs et l'utilisation de la technique du *edge-blending* dont j'ai parlé dans le chapitre réservé aux vidéoprojecteurs.

Dans le cas des visiocubes, les parois sont des écrans illuminés par transmission :

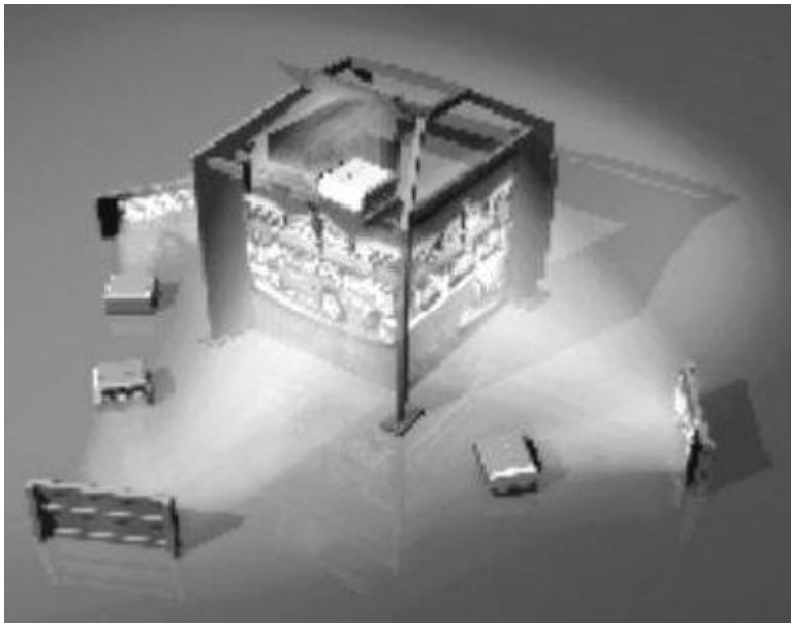


Illustration du principe du système CAVE (visiocube)

E – 3.4 Affichage rétinien

Un cas particulier de vidéolunettes est en développement. Au lieu d'être affichées sur des écrans, les images sont crées par deux faisceaux laser balayant les verres des lunettes. Le principe est original : deux diodes laser émettent deux faisceaux qui aboutissent aux photorécepteurs des deux rétines, après réflexion sur les verres. Grâce aux balayages des faisceaux, les images se forment sur les rétines. Des dispositifs optiques contrôlent les balayages horizontaux et verticaux et les rayons sont modulés en intensité. Les avantages du dispositif sont de supprimer les volumineuses optiques comme dans les autres visiocasques et d'avoir la possibilité théorique de haute résolution.
Ces vidéolunettes, qui sont encore à l'état de prototype pour les modèles les plus innovateurs, sont développées par la société *MicroVision* en partenariat avec *le laboratoire de technologie de l'interface humaine de Seattle (HITL)* depuis plusieurs années. Elles reposent donc sur ce principe, dit technique RSD : élimine l'écran pour projeter l'image directement sur la rétine, permettant ainsi d'obtenir des images plus lumineuses, plus contrastées et avec une meilleure résolution.
Cette technique apporte de nombreux avantages :
- très légère, le système peut donc être inclus sur des lunettes ;
- faible puissance consommée (les diodes lasers ne consommant que très peu d'énergie);
- beaucoup plus de couleurs en théorie ;
- champ de vision très étendu, plus de 120° ;
- haute résolution espérée.

Fonctionnement détaillé :

La technique RSD ou VRD (Virtual Retina Display) utilise un faisceau de lumière modulée qui est appliquée à la rétine, alors utilisée comme un écran de projection. Pour créer ce faisceau et donc l'image on utilise une source de lumière cohérente (trois faisceaux laser modulés dans le cas d'une image couleur) dont on fait correspondre l'intensité à l'intensité du pixel projeté. Le faisceau ainsi créé balaye alors la rétine pour placer chaque pixel de l'image à la position appropriée sur la rétine. De façon à autoriser une source vidéo comme source des images, on utilise un balayage «classique» pour le faisceau de lumière en balayant chaque ligne consécutivement (balayage vidéo normal).
De façon à placer correctement les pixels sur la rétine, il faut de plus que la pupille de sortie du système VRD soit coplanaire avec la pupille d'entrée de l'œil, celui-ci s'adapte alors pour que le faisceau forme un point sur la rétine. Le point de la rétine éclairé à tout instant dépend de l'angle d'entrée du faisceau qui varie constamment suivant le balayage, l'intensité reçue en ce point dépendant quant à elle de l'intensité du faisceau. Une électronique de commande permet de stabiliser l'image en synchronisant le balayage vidéo avec le balayage de la rétine.
Ces vidéolunettes sont apparues comme une solution viable pour la réalité virtuelle seulement très récemment avec l'apparition de diodes laser bleues et vertes de faible puissance, qui permettent avec une diode rouge de générer quasiment toutes les couleurs existantes. En effet, la nature monochromatique des sources permet d'avoir des couleurs de bases extrêmement pures. Par modulation des trois faisceaux lasers, on reconstitue alors n'importe quelle couleur.

Sécurité :

Si cette technique semble la plus prometteuse de toutes celles utilisées, il faut néanmoins s'intéresser au problème que pose l'utilisation d'un laser directement sur le fond de l'œil. Néanmoins, l'utilisation de laser à basse puissance, tel qu'utilisé avec cette technique, ne pose pas de problèmes vis-à-vis de la norme de sécurité américaine. Actuellement, la société *MicroVision* commercialise un dispositif de réalité augmentée utilisant la technique RSD en monochrome (rouge), résolution 640x480 (VGA, une version SVGA sera disponible courant 2000), et en 64 niveaux de couleurs. Ce dispositif ne pèse que 657 grammes avec une alimentation sous 12 Volts en continu.