

ÉCOLE DES MINES D'ALBI
C A R M A U X

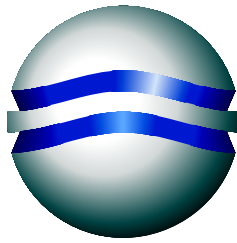
L'écran à plasma : un dispositif d'affichage qui met à plat les tubes cathodiques.

recherche documentaire



- ÉTUDE DE BREVET -

DAMIEN KERBART - JUIN 2000 - IFI 2003



ÉCOLE DES MINES D'ALBI
C A R M A U X

L'écran à plasma : un dispositif d'affichage qui met à plat les tubes cathodiques.

recherche documentaire



- ÉTUDE DE BREVET -

DAMIEN KERBART - JUIN 2000 - IFI 2003

Résumé

Leïtmotiv de notre époque, le gain de place fait rage dans tous les domaines : téléphone portable, ordinateur, écran de télévision ou d'affichage en général, etc. C'est dans ce dernier cas que la technologie des tubes cathodiques devient problématique et dévoile ses limites : la profondeur d'un tube cathodique est fonction de la taille de l'image à afficher, et au-delà d'une image d'un mètre de diagonale, la taille et le poids du dispositif sont prohibitifs. Les technologies à écrans plats tentent donc de s'imposer en proposant des écrans de grande taille pour une épaisseur constante, approximativement de 10 cm. C'est le cas des écrans LCD, électroluminescents, à émission de champ ou encore à plasma. La plupart de ces technologies ont leur rôle à jouer dans le remplacement des tubes cathodiques mais l'écran à plasma semble être un challenger de taille¹ pour les écrans dépassant le mètre de diagonale.

En effet, aucune autre technologie à écran plat n'a pu atteindre les performances de l'écran à plasma : facilité pour construire des écrans de grande taille, compatibilité avec les normes de télévision haute définition, qualité d'image très grande, angle de vue supérieur à 160° et bien sûr, une largeur du dispositif d'environ 10 cm.

Cette technologie se base sur l'émission de rayons UV d'un gaz lorsque celui-ci est soumis à un potentiel élevé. Ce gaz aux particules excitées par le potentiel prend le nom de plasma et le phénomène d'émission lumineuse s'appelle une décharge luminescente. Chaque pixel de l'écran est décomposé en trois cellules. Dans chaque cellule (où ont lieu des décharges luminescentes) on dispose un luminophore différent pour convertir les UV en lumière rouge, verte bleue (soit les trois couleurs primaires vidéo). Chaque cellule peut recréer 255 nuances, un pixel peut donc reproduire 255^3 soit 16,8 millions de couleurs. Un écran à plasma est composé en moyenne de 700 lignes pour 1000 colonnes. La profondeur de couleur plus la résolution d'un tel écran lui permettent donc d'afficher des images vidéo d'une grande qualité.

1. sans jeu de mots !

Cependant, la jeunesse de l'écran à plasma induit beaucoup de points faibles. La qualité d'image demande encore du travail pour rivaliser avec la télévision. Le rendement qui est égal à l'énergie lumineuse rayonnée sur l'énergie consommée reste peu élevé (0,4%). Le prix est prohibitif avec une moyenne de 60 000 FRF pour un écran 40" (un mètre) et 100 000 FRF pour un écran 50" (1 mètre 25). Ceci freine fortement l'implantation massive des écrans à plasma sur le marché. Des études sont en cours partout dans le monde et les firmes japonaises annoncent des écrans 40" à 25 000 FRF pour la fin de l'année 2000.

Cette technologie reste très prometteuse et s'imposera très certainement dans quelques années surtout pour les dispositifs d'affichage de plus d'un mètre. Nous verrons donc fleurir des écrans d'affichage plasma un peu partout : dans les gares, les aéroports, pour les stations de travail, mais aussi à la maison pour les systèmes de télévision haute fidélité.

Remerciements

Je tiens à remercier **l'équipe du CPAT** (Centre des Plasmas et Applications à Toulouse) pour les renseignements précieux qu'ils m'ont donnés et pour leur disponibilité lorsque je suis allé les voir. Je remercie plus particulièrement **Mr Jean-Pierre Boeuf**, responsable d'une des équipes de recherche, pour sa gentillesse et les informations qu'il a pu me donner afin de faire avancer ma recherche.

Table des matières

Introduction	1
1 Le tube cathodique : une technologie qui passe le relais aux écrans plats.	2
1.1 Le tube cathodique : l'un des premiers dispositifs d'affichage .	3
1.2 Une technologie concurrentielle : les écrans plats	4
1.2.1 Les écrans passifs	4
1.2.2 Les écrans émissifs	6
1.3 Le marché des écrans plats, un avenir prometteur?	10
2 L'écran à plasma, un principe simple mais une technologie évoluée pour une image de qualité	12
2.1 La décharge luminescente dans un gaz : le principe de base d'un PAP	13
2.2 Deux géométries pour la cellule : matricielle et coplanaire . . .	14
2.2.1 La géométrie matricielle	15
2.2.2 La géométrie coplanaire	16
2.3 Du verre aux luminophores : les différents constituants d'un PAP alternatif.	17
2.3.1 Le réseau de barrières diélectriques : délimitation des pixels de l'image	17
2.3.2 Le réseau d'électrodes : allumage des pixels	18
2.4 Les décharges à barrières diélectriques	21
2.5 Adressage des cellules d'un PAP	22
2.6 Obtention des nuances de couleurs	24
3 L'écran à plasma : une technologie jeune qui attend encore beaucoup d'améliorations.	27
3.1 L'efficacité lumineuse, un rendement encore très bas	28
3.2 Des problèmes de qualité d'image	29
3.2.1 Retard à l'allumage	29

3.2.2	Une baisse du contraste due au néon	30
3.3	Un prix encore trop élevé des PAP	31
3.4	Un centre de recherche à Toulouse : le CPAT	31
Conclusion		33
Bibliographie		36
Annexes		37
A	Brevet de fonctionnement d'un PAP (première page)	38
B	Brevet de fabrication d'un PAP (première page)	39
C	Brevet de commande d'un PAP (première page)	40
D	Prix des écrans à plasma	41
E	Déroulement de la recherche documentaire	47

Introduction

Ce début de siècle marque la fin des tubes cathodiques². Cet objet inventé au début du XX^{ème} siècle est omniprésent autant chez soi qu'au travail ou dans les lieux publics. Mais il comporte deux défauts majeurs : son poids et sa taille. En règle générale, on constate qu'au-delà d'un mètre de diagonale (d'image affichable), la technologie des CRT n'est pas intéressante : elle entraîne un poids et une profondeur du dispositif trop importants. Pourtant on recherche des écrans toujours plus grands : le *home-cinema*³ au foyer, les stations de travail, les multiples afficheurs publics dans les gares ou les aéroports...

De nouvelles technologies entrent aujourd'hui en compétition pour remplacer les CRT. Elles offrent toutes un réel avantage : tous les écrans sont plats. Mais pour pouvoir concurrencer les CRT, il faut proposer une qualité d'image au moins égale. Durant ces dernières années, de nombreuses technologies d'écrans plats ont vu le jour. Ces technologies se scindent en deux groupes : les écrans passifs et les écrans émissifs. Les écrans passifs englobent les écrans à cristaux liquides (LCD), les écrans émissifs regroupent quant à eux les écrans électroluminescents (EL), les écrans à émission de champ (FED) et les panneaux à plasma (PAP). Ces derniers rassemblent beaucoup d'avantages techniques et risquent dans un futur très proche de concurrencer voire de faire disparaître les tubes cathodiques, surtout pour les tailles au delà d'un mètre de diagonale.

Ainsi dans une première partie nous ferons un bref rappel du fonctionnement des tubes cathodiques et évoquerons les diverses technologies à écrans plats de remplacement citées plus haut ainsi que leur présence sur le marché. La deuxième partie expliquera la constitution, le fonctionnement d'un PAP et ses atouts par rapport aux CRT et aux autres écrans plats. Dans la troisième partie, nous mettrons en exergue la jeunesse de cette technologie qui attend encore beaucoup d'améliorations.

2. en anglais CRT : Cathodique **R**ay **T**ube.

3. le home-cinema est un dispositif qui regroupe un écran de grande taille et une sonorisation haute fidélité pour un réalisme des films plus grand.

Chapitre 1

Le tube cathodique : une technologie qui passe le relais aux écrans plats.

Inventé au début du XX^{ème} siècle, le tube cathodique a permis de nombreuses applications comme la télévision, les ordinateurs, les oscilloscopes... Actuellement totalement maîtrisée et très rentable, la technologie des CRT voit cependant son avenir s'obscurcir. Son poids et sa taille en sont les causes principales. Nous recherchons des écrans toujours plus grands, toujours plus nets pour plus de confort visuel. Les CRT sont inconcevables, économiquement et en terme de place et de poids, au-delà d'une diagonale d'un mètre. De plus, la consommation électrique d'un tel dispositif n'est pas négligeable et devient une troisième contrainte là où l'énergie se fait rare (bateaux, avions, navettes spatiales...). C'est dans cette optique que de nombreuses technologies à écrans plats ont vu le jour. La plus connue est certainement la technologie cristaux liquides (LCD). C'est elle qui équipe les ordinateurs portables, et beaucoup d'autres dispositifs d'affichage. Il existe aussi les écrans électroluminescents (EL), les écrans à émission de champ (FED) et les écrans à plasma (PAP). Toutes ces technologies offrent des écrans plats. On peut ensuite les différencier par la qualité d'image qu'elles produisent, par leur coût économique et leur consommation électrique.

1.1 Le tube cathodique : l'un des premiers dispositifs d'affichage

Les travaux réalisés par l'allemand Karl F. BRAUN en oscillographie cathodique et par l'italien Guglielmo MARCONI suscitèrent l'intérêt du Russe Boris ROSING qui, en 1911, réalisa le premier tube cathodique. Ce tube sera repensé et amélioré par un autre Russe, Vladimir ZWORYKIN (brevet de 1923), et il peut être considéré comme l'ancêtre de nos téléviseurs. Les principes de fonctionnement de ces tubes cathodiques ainsi que ceux des tubes caméras¹ sont les mêmes qu'actuellement.

Voici un bref descriptif du fonctionnement d'un tube cathodique : (Voir la figure 1.1).

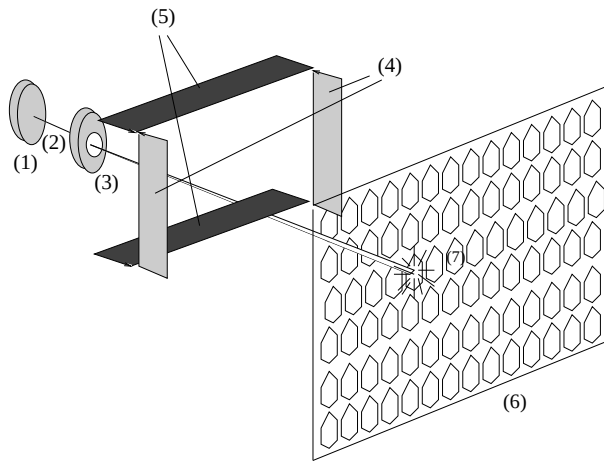


FIG. 1.1 – *Schéma simplifié d'un tube cathodique*

Une cathode (1) est portée à incandescence et émet un faisceau d'électrons (2). Ces électrons sont accélérés par un anneau (3) qui a le rôle d'une anode. L'écran (6) est constitué d'une mosaïque de luminophores (7). Lorsque le faisceau d'électrons rencontre l'un de ces points, celui-ci devient lumineux sous l'effet du courant qui le traverse : on appelle cela un «spot». Pour diriger le faisceau d'électrons, on dispose autour de celui-ci des plaques déviatrices (4) et (5). Lorsque ces plaques (en métal) sont soumises à un potentiel, le faisceau d'électrons est dévié vers la plaque dont le potentiel est le plus haut. Les plaques verticales (4) servent à déplacer le faisceau horizontalement et les plaques horizontales (5) verticalement. On module le potentiel de ces plaques

1. déjà, en 1899, le physicien allemand ZENNECK réalise la première caméra à tube sous vide.

pour créer une trajectoire du spot. Le standard est de balayer l'écran ligne par ligne comme indiqué sur la figure 1.2.

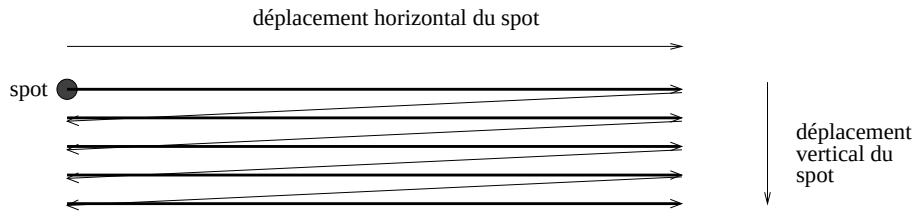


FIG. 1.2 – Balayage de l'écran d'un tube cathodique ligne par ligne.

Pour obtenir une modulation du signal lumineux émis par les luminophores, on module la tension appliquée à l'anode. Pour obtenir une image en couleur, on utilise trois tubes : un pour le rouge, un pour le bleu et un pour le vert². Un point est formé de trois luminophores, chaque tube étant associé à son luminophore respectif.

On voit tout de suite pourquoi un tel type d'appareil ne convient pas aux écrans de grande taille : La profondeur du système (cathode + anode + plaques) est proportionnelle à la diagonale de l'image. Rapprocher de trop les plaques déviatrices de l'écran rend le spot flou sur les bords de l'écran et donc détériore l'image.

1.2 Une technologie concurrentielle : les écrans plats

1.2.1 Les écrans passifs

La caractéristique fondamentale des écrans passifs est qu'ils ne produisent pas de lumière et doivent être éclairés par une source extérieure («backlight»). Ils sont représentés par les écrans à cristaux liquides (LCD) qui est la technologie d'écran plat la plus répandue. Elle est très au point dans l'application des ordinateurs portables en particulier. Voici un bref descriptif du fonctionnement de tels écrans.

Les écrans à cristaux liquides : LCD

Les cristaux liquides sont des matières organiques qui ont la propriété de modifier la propagation de la lumière, plus exactement sa polarisation, lors-

². les couleurs primaires en video sont le rouge, le vert et le bleu. L'absence de ces couleurs donne du noir et l'addition du blanc.

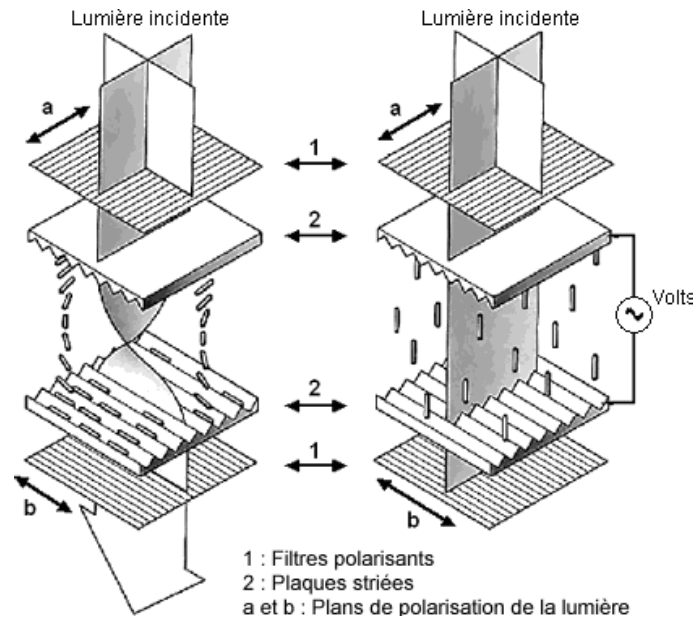


FIG. 1.3 – *La modulation de la lumière par les cristaux liquides.* Source : <http://www.sharp.co.jp/>

qu'ils sont soumis à un champ électrique. Au repos, leurs molécules de formes allongées s'ordonnent de manière parallèle. On dépose les molécules dans une plaque gravée de sillons. Elles vont s'aligner dans ces sillons. Le principe est le suivant : on place les cristaux liquides entre deux de ces plaques parallèles, l'orientation des sillons de l'une étant perpendiculaire à l'orientation des sillons de l'autre. Lorsqu'elles sont au repos, l'orientation des molécules va passer d'une orientation à l'autre (voir la figure 1.3). L'écran est rétro-éclairé avec une lumière polarisée parallèlement aux sillons de la première plaque. Sa polarisation est guidée par les molécules et après une rotation de 90° elle passe par un deuxième filtre polarisant. Sous l'effet d'une tension de commande, les molécules vont progressivement s'orienter dans le sens du champ électrique et la lumière sera bloquée par le deuxième polariseur. Chaque pixel de l'image est constitué d'une cellule de ce type devant laquelle est placé un filtre rouge, vert ou bleu.

La principale difficulté réside dans le système de commande des pixels. Le système à matrice passive utilisé dans les premiers ordinateurs portables est beaucoup trop lent pour convenir au flux d'images vidéos. Il faut donc employer des matrices dites actives, constituées de transistors en couche mince TFT (Thin Film Transistor). Ces matrices assurent une commutation rapide

mais sont très difficiles à réaliser. Plus la taille de l'écran augmente, plus grand est le nombre de transistors et plus importante est l'augmentation des risques de défaut. Un écran de 20" semble être une limite technologique au-delà de laquelle peu de constructeurs se sont risqués. L'angle de vision (voir figure 1.4) naturellement réduit de l'écran LCD est une autre contrainte pour son adaptation au marché de la télévision.

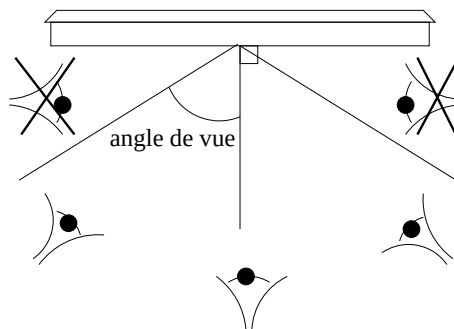


FIG. 1.4 – *L'angle de vision est l'angle à partir duquel l'écran devient noir*

Cette description reste sommaire, car il existe de nombreuses variantes de structures et de types de molécules pour la réalisation des panneaux LCD. L'angle de vision réduit s'améliore progressivement par la mise en oeuvre de diverses solutions. Le prix d'un écran de 6×8 pouces est d'environ \$ 5 (30 FRF) par pouce carré (contre 10 l'année dernière). On trouve des écrans d'une diagonale de 15" pour environ 15 000 FRF. . La technologie LCD connaît un beau succès avec les ordinateurs portables et les vidéo-projecteurs mais reste coûteuse et inadaptée pour les écrans de grandes dimensions.

1.2.2 Les écrans émissifs

Ils génèrent eux-mêmes leur propre lumière via l'excitation de luminophores de deux façons :

- la catholuminescence :
ce sont des électrons qui viennent exciter les luminophores. C'est le cas des écrans à émission de champs (FED) ou des tubes cathodiques (CRT).
- la photoluminescence :
ce sont des photons UV qui viennent exciter les luminophores. C'est le cas des panneaux à plasma (PAP) et des écrans électroluminescents (EL).

Les écrans à émission de champ ou F.E.D

Leur principe de fonctionnement est similaire à celui des tubes cathodiques. En fait, l'écran est composé d'une mosaïque de tubes cathodiques miniatures. Les micro-pointes bombardent les luminophores d'électrons qui vont les exciter (voir figure 1.5). L'écran est formé de deux dalles de verre. Des luminophores rouges, verts et bleus et des électrodes transparentes en ITO³, qui jouent le rôle d'anodes, recouvrent la dalle avant. La face arrière est recouverte de micro-pointes déposées sur des bandes de métal en colonnes. Entre les dalles de verre sont placées des lignes métalliques possédant des trous. Un pixel est l'intersection d'une colonne et d'une ligne. La cathode de chaque pixel comporte 2000 micro-pointes. Lorsqu'on applique une différence de potentiel suffisante entre une ligne et une colonne, les électrons sont émis par les micro-pointes et accélérés vers le luminophore (voir figure 1.5).

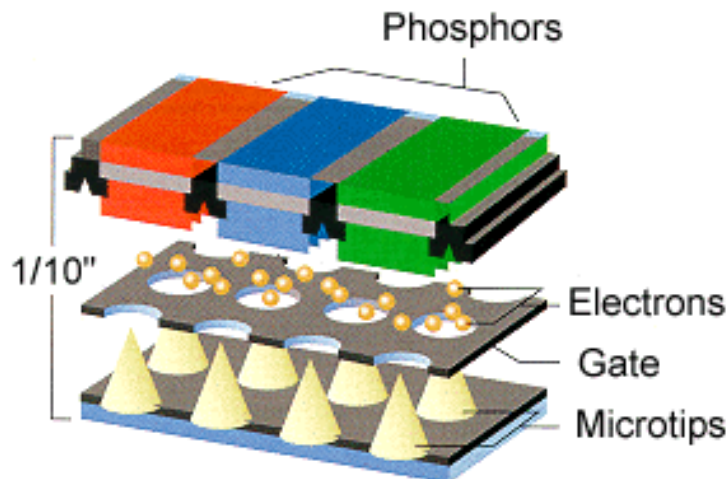


FIG. 1.5 – *Schéma de principe d'un écran à émission de champ.* Source : <http://www.pixtech.com/>

Pour le moment, seuls des écrans de 5 à 6 pouces ont été montrés par les constructeurs. La qualité d'image est bonne sous une lumière ambiante. Ce type d'appareils présentent des avantages certains, mais leur taille restreinte limite leur utilisation à des applications très spécialisées (instrumentation, armée, ...). Une des limitations possible est la destruction progressive des pointes par bombardement ionique si le vide n'est pas fait. Le laboratoire

3. Indium Tin Oxyde.

Français LETI à Grenoble a mis au point le 1^{er} écran à micro-pointes fonctionnant en mode télévision. La société Pixel à Aix en Provence a été créée pour développer et commercialiser ce produit. Aucun prix n'a été communiqué mais on peut penser qu'il est assez bas pour concurrencer les autres technologies.

Les écrans électroluminescents ou E.L.

Cette technologie utilise la propriété de certains matériaux qui deviennent fluorescents lorsqu'ils sont traversés par un courant. Le matériau électroluminescent est pris en sandwich entre deux électrodes de nature chimique différente. L'une injecte des électrons, l'autre des trous. Un empilement de ces trois structures forme la couche (1). Quand un électron et un trou se trouvent à une distance assez faible, cela entraîne la formation d'un exciton (singulet ou triplet). Seule la désexcitation de l'exciton singulet donne un photon. Ce procédé électroluminescent s'appelle *light-emitting diode*.

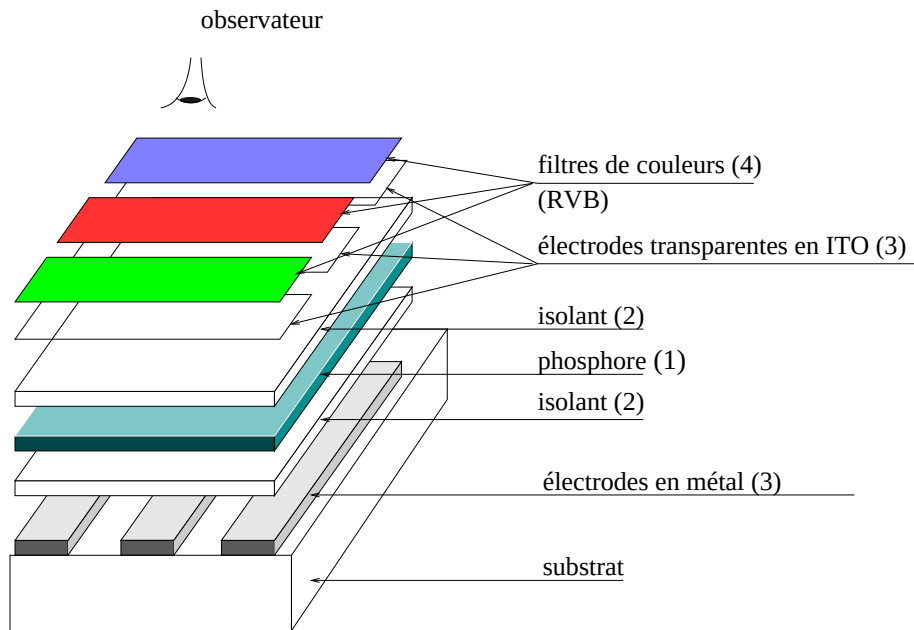


FIG. 1.6 – Structure d'un écran électroluminescent à couche mince (TFEL) couleur à filtre

Les écrans sont fabriqués avec des couches minces. On appelle cette structure TFEL (thin-film electroluminescent). Chaque couche joue un rôle différent (voir figure 1.6). La couche centrale (1) émet de la lumière lorsqu'elle

est traversée par un champ électrique suffisant (de l'ordre de 1,5 MV/cm). A cause de ce champ élevé, une imperfection dans l'empilement des couches minces produirait un court-circuit qui dissiperait dans celui-ci une quantité d'énergie destructrice pour le phosphore. Pour palier ceci, on dispose de chaque côté de la couche centrale des couches limitant le courant : des isolants (2) dans ce cas présent. Les électrodes (3) permettant de créer le champ électrique sont disposées de part et d'autre des isolants (2). Pour ne pas bloquer la lumière émise par la couche centrale, l'électrode face à l'observateur est transparente (ITO). L'obtention de la couleur se fait en disposant des filtres (4) rouges verts ou bleus devant la cellule correspondante.

Les écrans électroluminescents présentent de réels avantages par rapport aux PAP ou aux LCD (bonne résolution, bon contraste et faible consommation). L'application de ces panneaux est actuellement limitée au domaine de l'affichage de contrôle d'appareillages industriels et médicaux. Le prix d'un écran de 6 x 8 pouces est de 15 \$ par pouce carré soit plus du double de la technologie LCD.

Les panneaux à plasma ou PAP

Cette technologie se base sur l'émission UV d'une décharge électrique d'un gaz. Comme dans toutes les technologies à écran plat, l'image est décomposée en pixels et chaque pixel est décomposé en trois cellules où les photons UV sont convertis en lumière visible par des luminophores rouges, verts ou bleus recouvrant chacune des cellules élémentaires. Le chapitre suivant explique en détail le fonctionnement d'un tel appareillage, nous ne nous y attardons donc pas ici. Les applications des écrans à plasma se trouvent essentiellement dans le domaine des écrans de grande taille (plus d'un mètre de diagonale voir figure 1.9) car c'est la seule technologie qui ait fait ses preuves dans ce domaine. Pour des tailles d'écrans inférieures, les PAP ont aussi des résultats intéressants mais les écrans à cristaux liquides sont très performants malgré leur faible angle de vue (voir figure 1.7).

Les CRT ont démontré depuis longtemps qu'ils produisaient une image de grande qualité mais pour les diagonales supérieures à un mètre, leur encombrement et leur poids deviennent rapidement prohibitifs : par exemple, pour un écran de 40 pouces (1 mètre), le poids et la profondeur d'un écran à plasma sont respectivement de 25 kg et 10 cm contre 150 kg et 100 cm pour un tube à rayon cathodique pour une même consommation de 350 W (voir figure 1.8).

Le prix prohibitif pour l'instant reste un frein à «l'explosion» du mar-

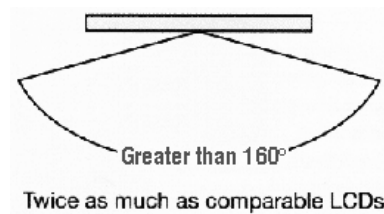


FIG. 1.7 – Comparaison de l'angle de vue entre un écran à plasma et un écran à cristaux liquides. Source : <http://gemini.fujitsu.co.jp/>

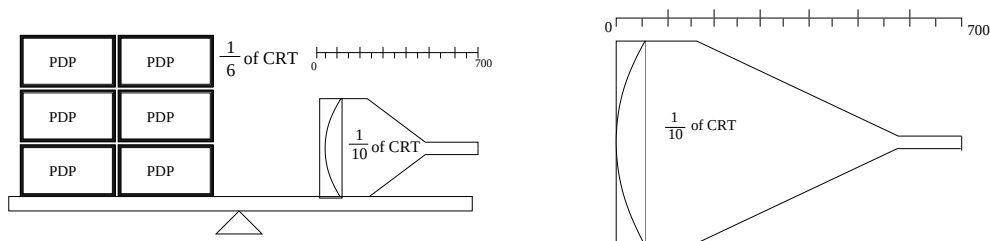


FIG. 1.8 – Comparaison entre un écran à plasma et un écran à tube cathodique pour un écran de 42 pouces. On voit sur ces figures l'avantage des PAP sur le poids et l'encombrement par rapport aux CRT. Ces données proviennent de l'entreprise FUJITSU. Source : <http://gemini.fujitsu.co.jp/>

ché des écrans à plasma. Les prix varient beaucoup suivant la diagonale de l'image. Par exemple, un écran de 40" coûte de 9 995 \$ (60 000 FRF) à 11 000 \$ (66 000 FRF). Un écran de 50" coûte environ 25 000 \$ (150 000 FRF). Ces prix sont tirés du site d'ADVANCED DISPLAY TECHNOLOGY sur <http://www.adistek.com> et sont archivés en annexe (voir annexe D). Des entreprises japonaises prévoient cependant de vendre courant 2000 des écrans 40" entre 20 000 et 25 000 Frs, ce qui reste encore élevé.

1.3 Le marché des écrans plats, un avenir prometteur ?

Face au «boom» du marché des écrans plats tous confondus, les chiffres obtenus restent approximatifs. Beaucoup de ces chiffres se basent sur des articles publiés en 1998, et en deux ans, ces parts de marché ont sans doute changées. Cependant, on peut considérer que les prévisions faites fin 1998 constituent une approximation correcte de ce que sera le marché des écrans



FIG. 1.9 – *Ecran à plasma d'un mètre de diagonale*

plats en 2002...

Actuellement estimé à près de 13 milliards de dollars, toutes tailles confondues, le marché des écrans plats devrait tripler d'ici trois ans. Selon une récente étude de l'Idate, le marché mondial pourrait atteindre **22 milliards de dollars en 2002** et 43 milliards de dollars en 2003.

Le marché des LCD a atteint 8,7 milliards de dollars avec un taux de croissance de 20% en 1998 [8]. Ce taux élevé est dû notamment aux nombreuses applications à venir dans le domaine de l'électronique publique. Ce marché devrait atteindre **15.5 milliards de dollars en 2002**.

Le marché de la technologie à plasma était en 1996 de 300 millions de dollars dont 44% pour le domaine militaire, 26% pour la visualisation pour station de travail et autant pour l'industrie. Les prévisions annoncent un marché de **4.5 milliards de dollars en 2002** pour cette technologie.

La technologie EL a un marché plus petit, égale à 600 millions de dollars dont une grande part (supérieure à 50%) dans les écrans pour station de travail. Son taux de croissance annuel est évalué à 10%. Ce marché devrait atteindre **1 milliard de dollars en 2002**

La technologie à émission de champ (FED) devrait atteindre en **0,4 milliard de dollars en 2002**.

Face à la difficulté à réaliser des écrans LCD de grande taille et le peu d'espoir laissé aux écrans électroluminescents couleurs, l'écran à plasma couleur est un prétendant sérieux dans le domaine de la visualisation à écran plat, plus précisément pour les écrans de grande dimension. Actuellement, c'est la seule technologie qui a fait preuve de faisabilité pour des tailles supérieures à 1 mètre, avec une qualité d'image comparable à celle des CRT.

Chapitre 2

L'écran à plasma, un principe simple mais une technologie évoluée pour une image de qualité

Le fonctionnement des PAP repose sur l'émission d'UV lors d'une décharge luminescente d'un gaz transformée en lumière visible par excitation de luminophores. De nombreux domaines entrent en jeu pour obtenir des panneaux à plasma : un peu de physique des plasmas pour comprendre ce qu'est une décharge luminescente, un zeste de chimie et de science des matériaux pour convertir le rayonnement UV de la décharge en lumière visible, de l'électronique pour allumer les cellules et recréer une image. L'étude du fonctionnement d'un PAP s'est faite avec l'appui de diverses sources citées en bibliographie dont cinq brevets : trois brevets déposés par THOMSON MULTIMÉDIA[9], FUJITSU LTD[13] (voir aussi annexe B) et SAMSUNG DISPLAY DEVICES CO[10] (voir aussi annexe A) pour le fonctionnement même du PAP, deux brevets de CORNING INC[11] et TORAY INDUSTRIES, INC[12] en ce qui concerne la fabrication d'un tel dispositif et un brevet déposé par THOMSON MULTIMEDIA[14] (voir aussi annexe C) en ce qui concerne la commande électronique du panneau. Ce chapitre traite des PAP alternatifs¹.

1. Les PAP alternatifs utilisent un courant alternatif pour ioniser le gaz.

2.1 La décharge luminescente dans un gaz : le principe de base d'un PAP

Lorsqu'un gaz est soumis à un potentiel assez élevé, il passe de l'état isolant à l'état conducteur. Ses atomes se dissocient en ions et en électrons. Un plasma est en fait un ensemble d'atomes (électriquement neutre), d'électrons et d'ions. Le plasma créé par la décharge électrique dans le gaz est un plasma froid, dont le degré d'ionisation est typiquement inférieur à 10^{-4} et dont les températures sont de l'ordre de l'eV ($1 \text{ eV} \approx 10000 \text{ K}$). La désexcitation spontanée des atomes de gaz rares excités par les électrons énergétiques conduit à l'émission de photons dont la longueur d'onde dépend de la nature du gaz.

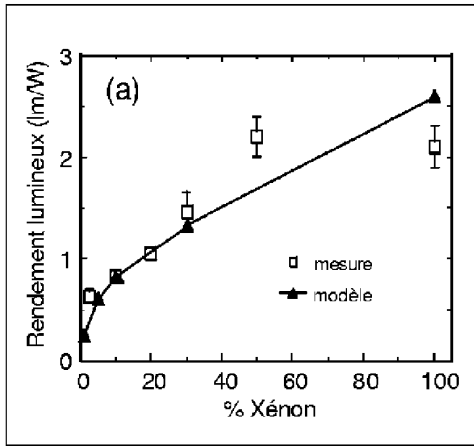


FIG. 2.1 – Rendement lumineux mesuré et calculé d'une cellule d'écran matriciel, en fonction du pourcentage de xénon dans le néon, pour une pression totale de 560 torr et une distance de $100 \mu\text{m}$ entre surface diélectrique; les résultats sont normalisés par rapport au rendement expérimental à 10% de xénon.

Source: "les écrans à plasma", "Images de la Physique", P97, Journal du CNRS, France (1998).

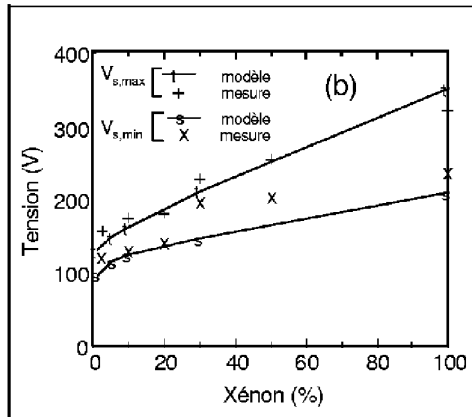


FIG. 2.2 – Tension d'entretien $V_{s,min}$ et $V_{s,max}$ mesurées et calculées d'une cellule d'écran plasma matriciel en fonction du pourcentage de xénon. Les tensions de fonctionnement élevée dans le xénon pur imposent un fonctionnement à faible concentration en xénon (inférieur à 10%), ce qui diminue le rendement.

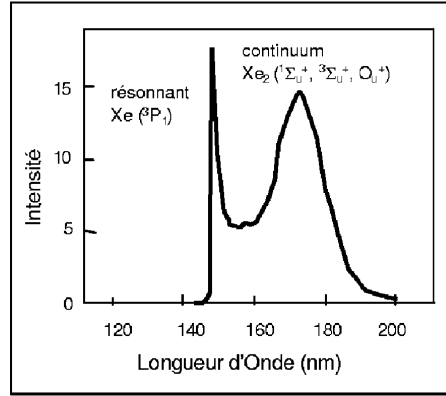


FIG. 2.3 – Spectre UV typique d'un plasma de décharge lumineuse à haute pression dans le xénon. Source : "les écrans à plasma", "Images de la Physique", P97, Journal du CNRS, France (1998).

Dans un écran plasma, on cherchera à favoriser l'émission de photons dans les UV. Ces photons UV seront ensuite convertis par des luminophores pour donner de la lumière rouge, verte ou bleue. Dans tous les PAP alternatifs actuels le gaz utilisé est un mélange de xénon et de néon : le néon abaisse le coefficient de claquage du gaz alors que le xénon produit l'émission UV (voir figures 2.1 et 2.2). On voit dès lors qu'il y a un compromis à faire : d'une part favoriser le rendement lumineux grâce au xénon, d'autre part préserver l'électronique du système des hautes tensions. Un bon compromis semble être 10% de xénon pour 90% de néon [1] [2].

On utilise le niveau résonnant $\text{Xe}(^3P_1)$ du xénon pour émettre des photons UV à 147 nm. Dans les conditions de pression assez élevées, les collisions entre l'état résonnant et l'état excité méta-stable $\text{Xe}(^3P_2)$ et des atomes de xénon et de néon entraînent également des émissions de photons UV autour de 173 nm (voir figure 2.3).

2.2 Deux géométries pour la cellule : matricielle et coplanaire

Les PAP alternatifs sont constitués de deux dalles de verre sur lesquelles ont été sérigraphiés des réseaux d'électrodes parallèles puis recouvertes d'une couche de diélectrique (émail) et d'une fine couche d'oxyde de magnésium² (MgO). Les deux dalles sont scellées en mettant les deux réseaux d'élec-

2. Le MgO assure une émission secondaire d'électrons pour entretenir la décharge.

trodes perpendiculaires entre eux (de façon à obtenir des électrodes lignes et colonnes) en maintenant un espace de l'ordre de la centaine de micromètres entre elles. Cet espace sera ensuite rempli d'un mélange gazeux. Chaque pixel de l'écran est constitué de trois cellules élémentaires correspondant aux trois couleurs de base (rouge, vert et bleu) dans lesquelles se produit une décharge lumineuse. L'émission UV sera convertie en rayonnement visible par excitation de luminophores déposés dans chaque cellule. Dans le cas des PAP alternatifs, deux types de géométrie sont couramment utilisés. Le premier est appelé géométrie matricielle et le second géométrie coplanaire.

2.2.1 La géométrie matricielle

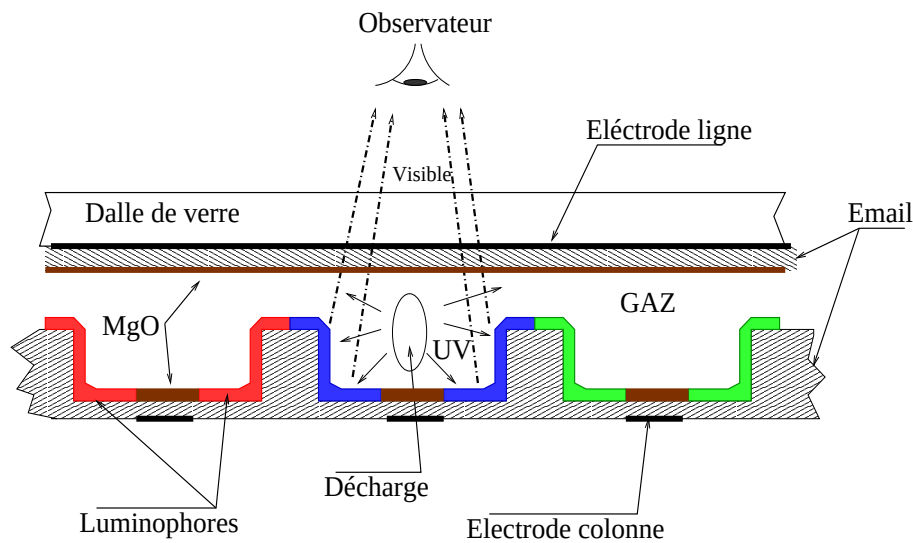


FIG. 2.4 – Coupe transversale d'un écran à plasma à géométrie matricielle. La décharge s'effectue entre une électrode ligne et une électrode colonne. La largeur d'une cellule est comprise entre $125\ \mu\text{m}$ pour un écran 19 pouces et $310\ \mu\text{m}$ pour un écran 24 pouces.

Cette géométrie a été développée et brevetée [9] par THOMSON TUBES [4] et PHOTONICS [5].

Dans ce cas, une cellule est définie par l'intersection d'une électrode ligne et d'une électrode colonne (voir figure 2.4). La décharge se produit dans cet espace. Cette décharge produit des UV qui sont convertis par les luminophores disposés sur les bords de la cellule (sur la « barrière »). Le rayonnement visible est renvoyé vers l'observateur. L'électrode ligne a une largeur

très faible ($80\text{ }\mu\text{m}$) ce qui gêne peu l'émission visible de la cellule : elle peut être en métal opaque et donc bonne conductrice.

La technique antérieure de cette géométrie, consistait à ouvrir des fenêtres dans la couche de luminophores devant la décharge pour éviter la pulvérisation de celui-ci et donc la contamination du mélange gazeux. C'était une des difficultés rencontrées lors de la fabrication des PAP matriciels. Une grande précision était nécessaire dans l'ouverture de ces fenêtres. Maintenant, un nouveau procédé de fabrication a été développé et breveté par TORAY INDUSTRIES, INC [12] : les couches de luminophores sont disposées uniquement sur les barrières et ces barrières sont montées après le dépôt d'une couche de MgO (voir subsection 2.3.1 page 17). Les cellules sont séparées par des barrières diélectriques qui ont pour but de réduire l'interaction électrique et optique des deux cellules qui sont de couleur différente. L'interaction optique est l'excitation de luminophore d'une cellule par les photons issus d'une cellule voisine : c'est ce qu'on appelle la diaphonie.

2.2.2 La géométrie coplanaire

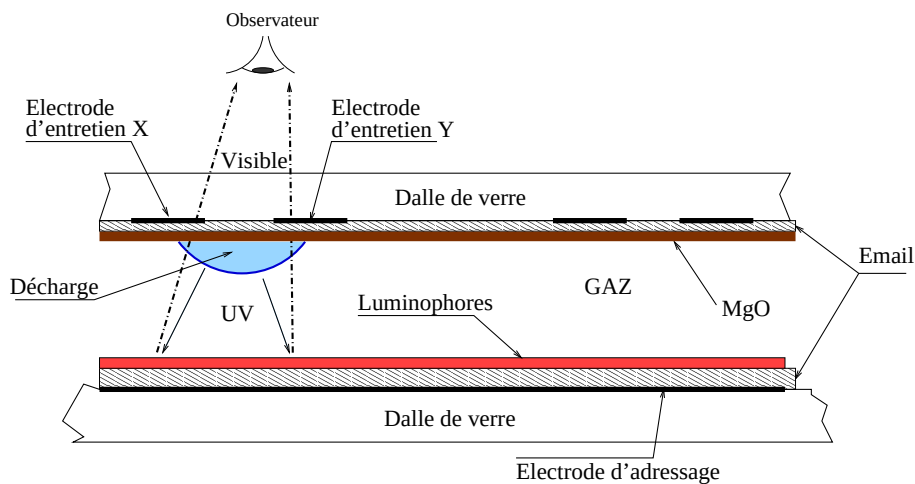


FIG. 2.5 – Coupe longitudinale d'un écran à plasma à géométrie coplanaire. Sur ce plan, on ne voit pas les barrières diélectriques car elles se trouvent dans le même plan. On voit donc ici deux cellules de même couleur. La décharge s'effectue entre une électrode X et une électrode Y. La largeur d'une cellule est comprise entre $220\mu\text{m}$ pour un écran 21 pouce et $360\mu\text{m}$ pour un écran 42 pouce.

C'est la géométrie la plus répandue actuellement. Elle a été développée

par diverses entreprises comme FUJITSU, NEC, PIONEER, MITSUBISHI ou encore SAMSUNG [10]. Dans cette géométrie, une cellule est définie par l'intersection de deux électrodes X et Y et d'une électrode d'adressage située sur la face arrière (voir figure 2.5). La décharge s'effectue entre une électrode X et une électrode Y. L'électrode d'adressage sert à déclencher ou à éteindre cette décharge. Le problème est que dans ce type de configuration, les électrodes X et Y de la face avant bloquent l'émission de lumière. Pour palier ceci, ces électrodes sont en ITO (Indium Tin Oxyde), un conducteur transparent. Mais à cause de leur longueur, elles sont trop résistives et pour maintenir le potentiel sur toute leur longueur (soit pour assurer la conduction) on leur colle une fine électrode de métal. L'un des avantages de cette géométrie est que le dépôt de luminophore est uniforme sur toute la face arrière, contrairement à la géométrie matricielle (dans la technique antérieure).

Enfin, même si les structures des deux géométries diffèrent, les matériaux utilisés sont identiques et doivent donc posséder les mêmes contraintes et propriétés (rendement lumineux pour les luminophores, dilatation thermique pour le verre, etc.).

Voici maintenant un bref descriptif des étapes de la fabrication d'un PAP alternatif.

2.3 Du verre aux luminophores : les différents constituants d'un PAP alternatif.

Une multitude de brevets ont été déposés pour la fabrication des PAP. L'étude de la fabrication d'un tel dispositif s'est appuyée sur les brevets de CORNING INC [11] et TORAY INDUSTRIES, INC [12]. Voici les étapes clés de la fabrication d'un écran à plasma.

2.3.1 Le réseau de barrières diélectriques : délimitation des pixels de l'image

Le réseau de barrières sert en effet à délimiter les pixels de l'image. On évite ainsi la diaphonie qui est l'interaction électrique et lumineuse d'une cellule voisine. Ces barrières sont alignées en colonnes et donc chaque colonne aura la même couleur. Pour fabriquer de telles barrières, les brevets [11] et [12] utilisent des méthodes similaires. On prend une feuille métallique d'une épaisseur de 200 à 500 μm . Cette feuille est faite en alliage de fer-nickel qui a un coefficient de dilatation thermique proche de celui du verre ($80.10^{-7} C^{-1}$). Ceci est important car lors de la fabrication d'un écran, les températures

peuvent atteindre 600 °C. On crée ensuite un réseau de barrières par photogravure conventionnelle sur cette plaque, chaque barrière étant espacée de 200 à 400 μm . Les barrières sont tenues entre elles par une partie commune non gravée (voir figure 2.6).

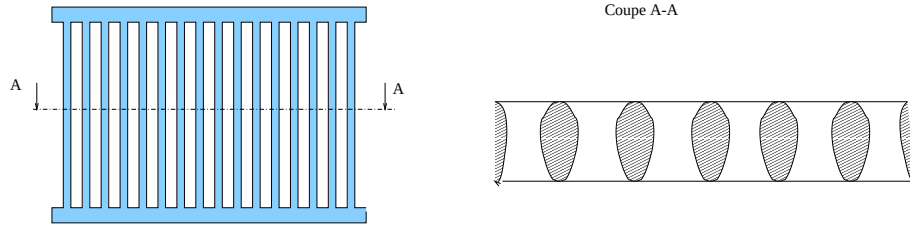


FIG. 2.6 – Vue de face et coupe d'un réseau de barrière selon les brevets de fabrication [11] et [12].

On isole électriquement ce réseau de barrières en le plongeant dans une frite de verre. On dépose ensuite une couche de luminophore à l'aide de trois roulettes, l'une déposant un luminophore a sur les faces opposées des barrières $i_{-1} - i$; l'autre un luminophore a' sur les faces opposées de $i - i_{+1}$ et une dernière dépose un luminophore a'' sur les faces $i_{+1} - i_{+2}$ (voir figure 2.7). Ces roulettes parcourent les barrières de haut en bas et forment ainsi des colonnes de luminophores Rouge - Vert - bleu par exemple.

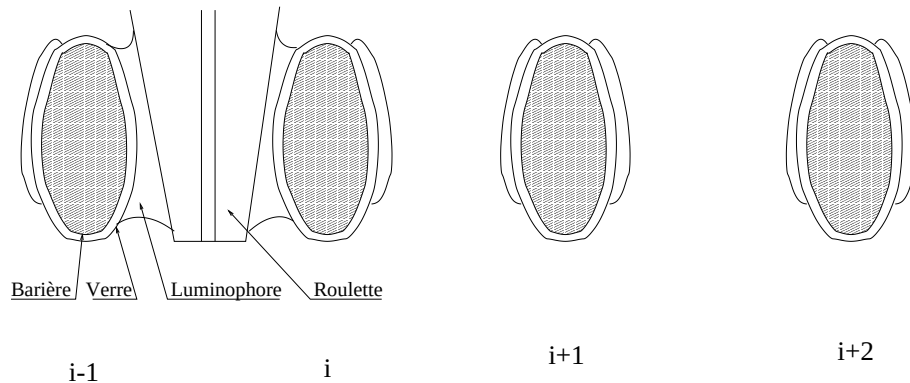


FIG. 2.7 – Dépôt de la couche de luminophore selon le brevet [11] et [12].

2.3.2 Le réseau d'électrodes : allumage des pixels

Pour réaliser le réseau d'électrodes du fond de l'écran, on dépose une couche de résine d'une épaisseur de 0.3 à 2 mm sur la dalle de verre du fond.

L'astuce réside dans le fait d'utiliser les barrières diélectriques décrites ci-dessus comme masque. Les barrières diélectriques et la plaque de verre sont positionnées entre elles à l'aide d'ergots ou de piges. On soumet le tout à un rayonnement dont la résine est sensible. Un bain supprime la résine qui n'a pas été exposée au rayonnement (la résine inter-barrières). On enlève le masque et on vaporise un oxyde métallique qui va prendre la place des espaces inter-barrières. La résine restante est éliminée par le même bain (voir figure 2.8). On obtient donc des électrodes positionnées de façon très correcte par rapport aux barrières diélectriques. Ceci est très important pour le rendement de la décharge lumineuse et surtout pour la conversion des rayons UV par les luminophores.

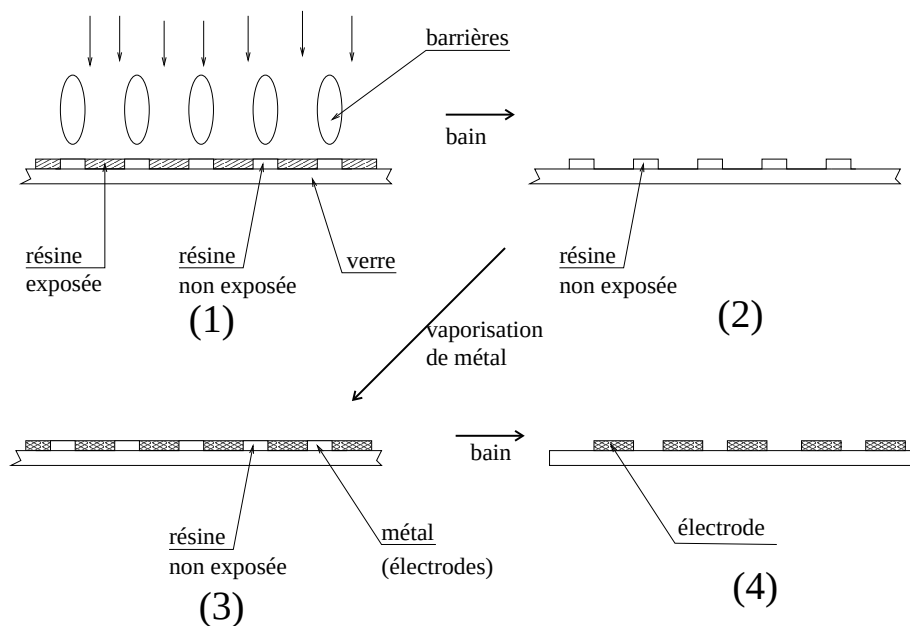


FIG. 2.8 – *Fabrication du réseau d'électrodes. 1) le masque est le réseau de barrières. 2) élimination de la résine inter-barrières. 3) dépôt de métal dans les interstices. 4) élimination de la résine restante. Source: brevet [11] et [12].*

Le réseau d'électrodes est ensuite recouvert d'un diélectrique (émail par exemple) et d'une couche de MgO. Le MgO est une couche mince (5000 Angströms) qui a un double rôle :

- Il abaisse la tension de claquage du gaz en favorisant l'émission secondaire d'électrons. Quand deux électrons percutent cette couche de MgO, elle en émet en moyenne un autre.
- Il protège le diélectrique du bombardement ionique constant.

L'une des limitations actuelles dans la durée de vie des écrans à plasma vient de cette couche de MgO. Elle est très fragile et se détériore très vite sous le bombardement ionique constant. Des études sont menées pour trouver d'autres matériaux dont le coefficient d'émission secondaire est plus élevé et dont la résistance face au bombardement ionique est plus grande.

Le réseau d'électrodes de la face avant est perpendiculaire au réseau du fond de l'écran. Ce réseau diffère dans la géométrie matricielle et la géométrie coplanaire (voir section 2.2).

La figure 2.9 montre l'ancienne disposition des couches de luminophores suivant les géométries matricielles et coplanares. Cependant, la disposition des réseaux d'électrodes reste la même dans les deux cas.

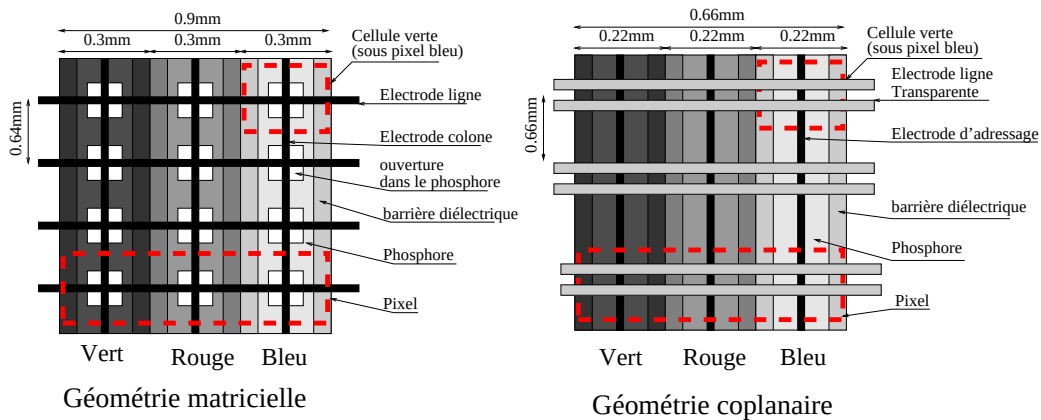


FIG. 2.9 – Arrangement antérieur des luminophores en bandes verticales dans les deux géométries. Les données pour les hauteurs et largeurs des cellules correspondent à un écran de 21 pouces de diagonale (52,5 cm). Source : Thèse de Cédric Punset. « modélisation bidimensionnelle fluide d'un écran à plasma ». N° d'ordre 2979.

2.4 Les décharges à barrières diélectriques

En 1964, les professeurs BITZER et STOHOW ont l'idée ingénieuse de recouvrir les électrodes d'une couche de diélectrique. L'écran à plasma alternatif est né. Comme les électrodes ne sont pas en contact avec le gaz, on doit appliquer une tension alternative.

La tension alternative rectangulaire appliquée tout le long du fonctionnement est appelée tension d'entretien. Elle doit être inférieure à la tension de claquage du gaz pour ne pas allumer toutes les cellules d'un coup.

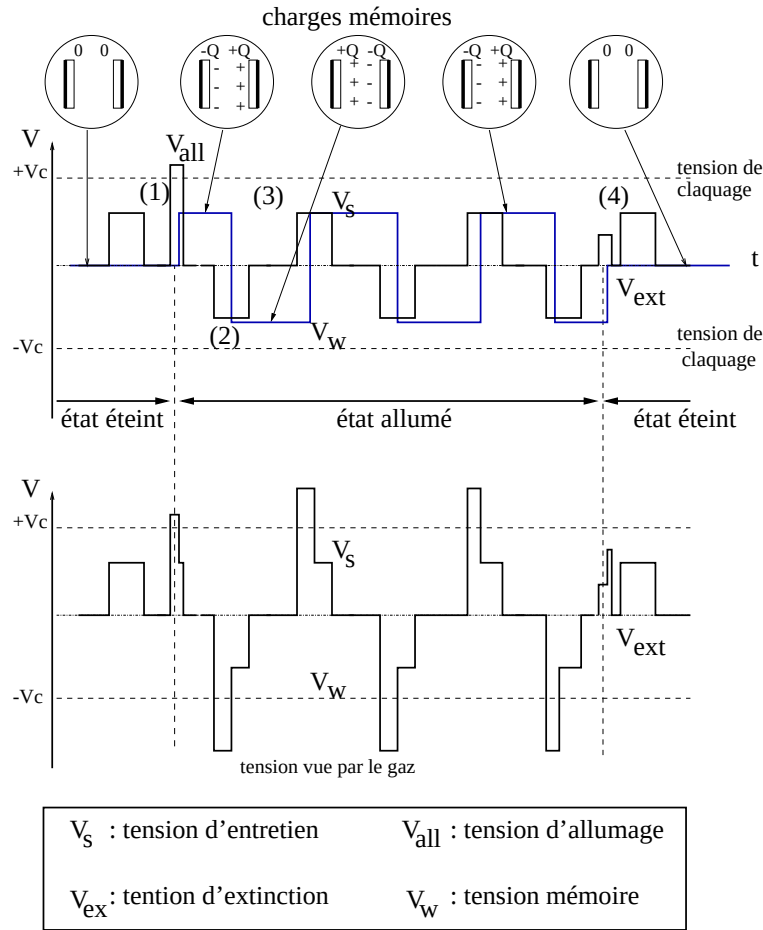


FIG. 2.10 – Schéma représentant la tension d'entretien à laquelle est soumise une cellule et la tension mémoire induite par l'accumulation des charges sur les électrodes.

Pour allumer une cellule, on applique une surtension qui va claquer le gaz : c'est le cas (1). A ce moment, une décharge électrique se produit dans le gaz.

Les charges positives vont migrer vers l'électrode qui a le rôle de cathode, les électrons vont migrer vers l'électrode qui a le rôle d'anode. Ainsi, une tension va s'opposer progressivement à la tension appliquée aux bornes des électrodes annulant ainsi la tension vue par le gaz. Lors de la demi période suivante, la tension induite par l'accumulation des charges électriques s'ajoute à la tension d'entretien : c'est le cas (2). La tension vue par le gaz est alors supérieure à la tension de claquage, une nouvelle décharge lumineuse se produit et les charges migrent vers la nouvelle anode et la nouvelle cathode : c'est le cas (3). Le même phénomène se répète la demi-période suivante, etc. On maintient de cette façon une cellule allumée. A chaque alternance, on doit transférer le même nombre de charges ($2Q$) à chaque électrode. Pour éteindre une cellule, on applique une tension qui ne va transférer que Q charges : la cellule s'éteint, c'est le cas (4). La figure 2.10 illustre le transfert des charges au cours d'une phase d'allumage, d'entretien et d'arrêt d'une cellule.

La prochaine section porte sur la manière de piloter un écran à plasma afin d'afficher une image.

2.5 Adressage des cellules d'un PAP

L'adressage des cellules d'un panneau à plasma n'est autre que la manière d'allumer et d'éteindre ces cellules. La méthode pour adresser un écran à géométrie matricielle et un écran à géométrie coplanaire diffère en quelques points sans être complètement différentes. L'adressage dans la géométrie coplanaire étant relativement compliqué et différent suivant chaque constructeur, nous ne nous y attarderons pas. Nous traiterons seulement l'adressage d'un panneau à géométrie matricielle. Le brevet déposé par THOMSON MULTIMÉDIA [14] évoque en partie l'adressage d'un tel panneau utilisant la géométrie matricielle. Voici les principaux points d'un tel procédé.

Nous avons vu précédemment qu'un panneau à plasma est constitué d'électrodes lignes et d'électrodes colonnes. On peut donc assimiler le panneau à une matrice contenant n_l ligne et n_c colonnes. L'adressage d'un panneau se fait ligne par ligne i.e. dans le temps, on adresse les cellules de la ligne i puis celle de la ligne $i+1$ etc.

Rappelons que toutes les lignes d'un panneau sont soumises à un signal d'entretien. Pour allumer une cellule, il suffit d'ajouter une surtension à ce signal d'entretien (voir figure 2.10). Mais dans ce cas de figure, on allume toutes les cellules de la ligne d'un coup. Pour remédier à ce problème, on applique une «tension de masquage» aux colonnes dont on veut garder les

cellules éteintes de telle sorte que la tension vue par le gaz de la cellule soit inférieure à la tension de claquage du gaz. Mais cette tension de masquage engendre un second problème : imaginons que la cellule j de la ligne i soit allumée et qu'on veuille éteindre la cellule $[i+1,j]$ (cellule de la ligne $i+1$ et de la colonne j). Dans ce cas, la tension de masquage risque d'éteindre la cellule $[i,j]$. Pratiquement, on décale de quelques μs la tension de masquage pour laisser le temps à la décharge d'entretien de la cellule $[i,j]$ de se produire.

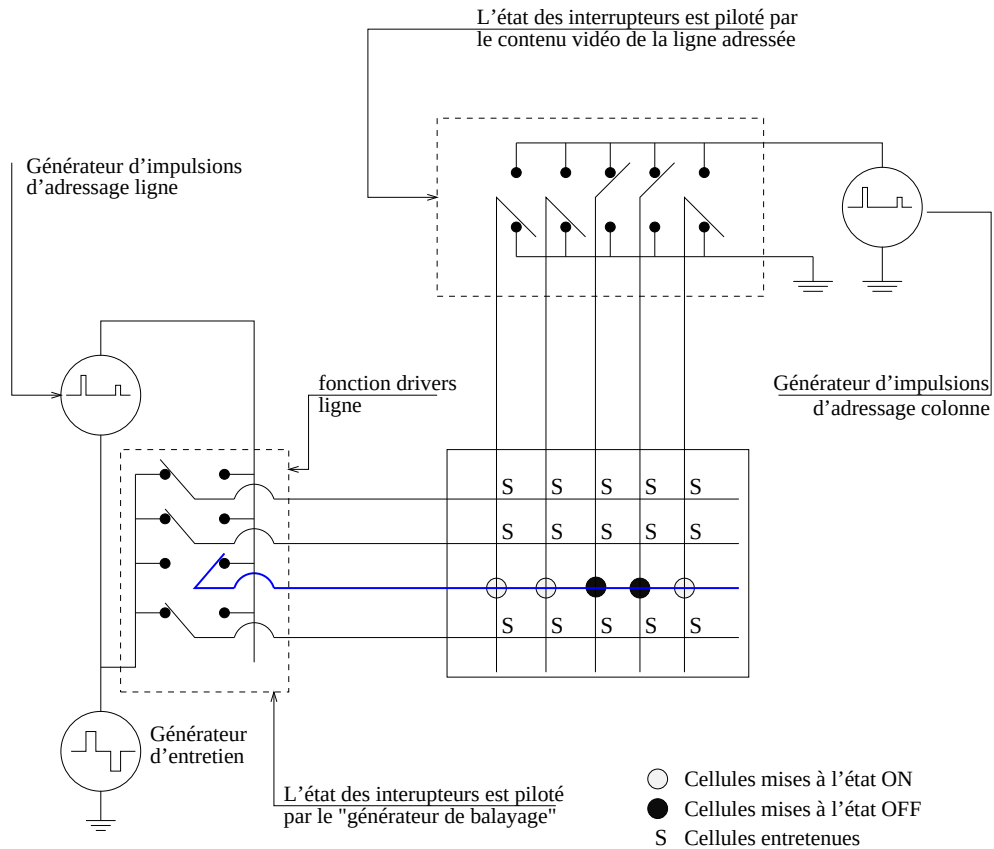


FIG. 2.11 – Schéma de principe d'obtention des tensions d'adressage dans la géométrie matricielle (Thomson TE).

Les tensions d'entretien, d'allumage-extinction et de masquage sont délivrées par trois générateurs distincts :

- Le générateur d'entretien applique en permanence un signal alternatif carré aux bornes des électrodes lignes.
- Le générateur d'allumage-extinction applique lors de l'adressage les signaux qui allument et éteignent la cellule sur la ligne adressée.

- Le générateur de tension de masquage applique une tension de masquage sur les électrodes colonnes sélectionnées.

La figure 2.11 illustre l'organisation des trois générateurs ainsi qu'un exemple d'allumage et d'extinction de cellules.

2.6 Obtention des nuances de couleurs

Le panneau à plasma est prévu dans bon nombre d'applications dont la télévision. Cette dernière requiert un nombre de couleurs important pour une restitution fidèle de l'image. Contrairement aux tubes cathodiques où l'obtention de couleurs est obtenue en modulant l'intensité du rayon électronique, une cellule d'écran à plasma ne peut prendre que deux valeurs : allumée ou éteinte. La solution est de jouer avec une particularité physique de l'oeil : la persistance rétinienne³. Face à l'impossibilité de moduler le signal dans son intensité, on va le moduler temporellement. Dans un intervalle de temps donné qui sera l'adressage de la cellule, on va faire varier la durée du signal. Prenons par exemple un signal vidéo codé sur un mot de trois bits, la période d'adressage sera décomposée en trois périodes de valeurs respectives $\frac{2^0}{2^3}T = \frac{1}{7}T$, $\frac{2^1}{2^3}T = \frac{2}{7}T$ et $\frac{2^2}{2^3}T = \frac{4}{7}T$. On voit donc que le nombre de niveaux est 2^3 (une cellule peut prendre 2 valeurs : allumée ou éteinte). La figure 2.12 montre comment on obtient des niveaux de gris avec un mot de 3 bits. L'oeil transforme ces sous périodes d'allumage en une période globale qui est la somme de celles-ci : l'oeil *intègre* le signal sur la période T .

Actuellement, les écrans à plasma utilisent des mots de 8 bits pour coder le signal lumineux ce qui fait 255 niveaux de gris par couleur. Sachant que l'écran utilise trois couleurs primaires, le signal lumineux d'un pixel d'un écran plasma peut prendre 255^3 valeurs soit 16,8 millions de couleurs : c'est le maximum que l'oeil peut percevoir.

Cette méthode implique cependant certains défauts. Par exemple, lorsque d'une période à l'autre le bit de poids fort change de valeur, il se produit un phénomène de contour⁴. Prenons l'exemple courant d'un adressage découpé en 8 sous-adressages (le mot est de 8 bits). Le passage de la valeur 127 à 128 ou 128 à 127 induit une commutation totale de tous les bits (127 = 01111111, 128 = 10000000). Les huit sous-balayages étant répartis sur la trame de 20

3. Lorsqu'un signal lumineux à une fréquence suffisante, l'oeil ne perçoit plus le «scintillement» de ce signal. La fréquence limite que l'oeil peut percevoir est d'environ 30 à 40 Hz (30 à 40 images par seconde).

4. Plus communément dit «contouring» selon l'appellation anglo-saxonne.

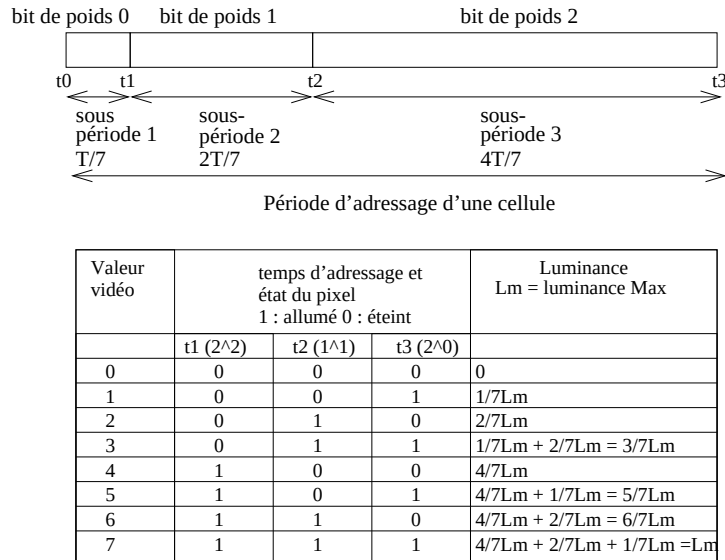


FIG. 2.12 – *Obtention de niveaux de gris pour une cellule d'écran à plasma. L'exemple est pris avec un mot de 3 bits.*

ms^5 , l'oeil va intégrer de façon asynchrone le signal et faire apparaître des noirs (voir figure 2.13). C'est le phénomène de contouring dont souffrent la plupart des écrans plasma actuels. On voit ainsi des contours de couleur opposée à la couleur de l'objet en mouvement.

Le brevet [14] propose de découper la période d'adressage non plus avec les valeurs [1,2,4,8,16,32,64,128] (pour un mot de 8 bits) mais les valeurs [1,2 4,32,32,32,64,64]. Ceci évite des «zones noires» dans l'image et donc le phénomène de contouring (voir figure 2.14).

5. Une trame est une image du flux vidéo, la fréquence usuelle des écrans plasma est de 50 Hz soit 50 images par seconde soit encore 20 ms par trame

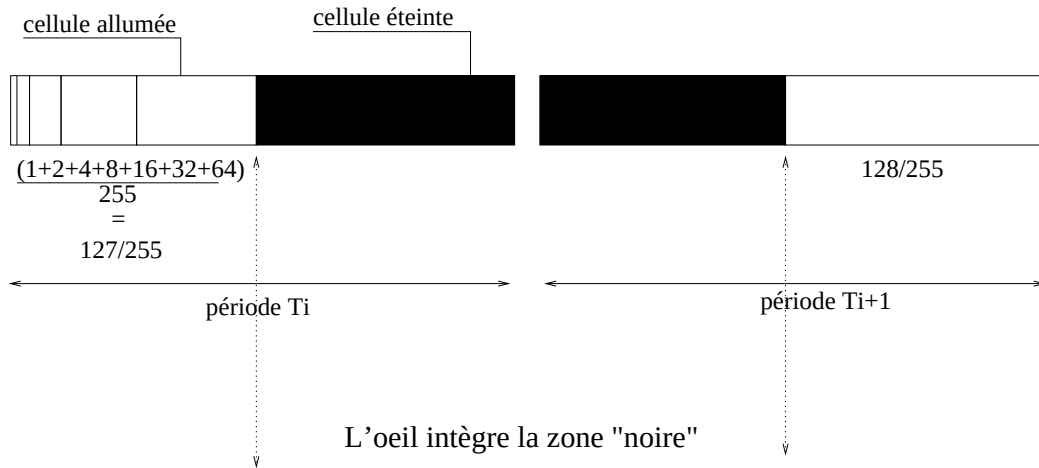


FIG. 2.13 – Phénomène de contouring où l'oeil va intégrer deux zones de même intensité qui se suivent.

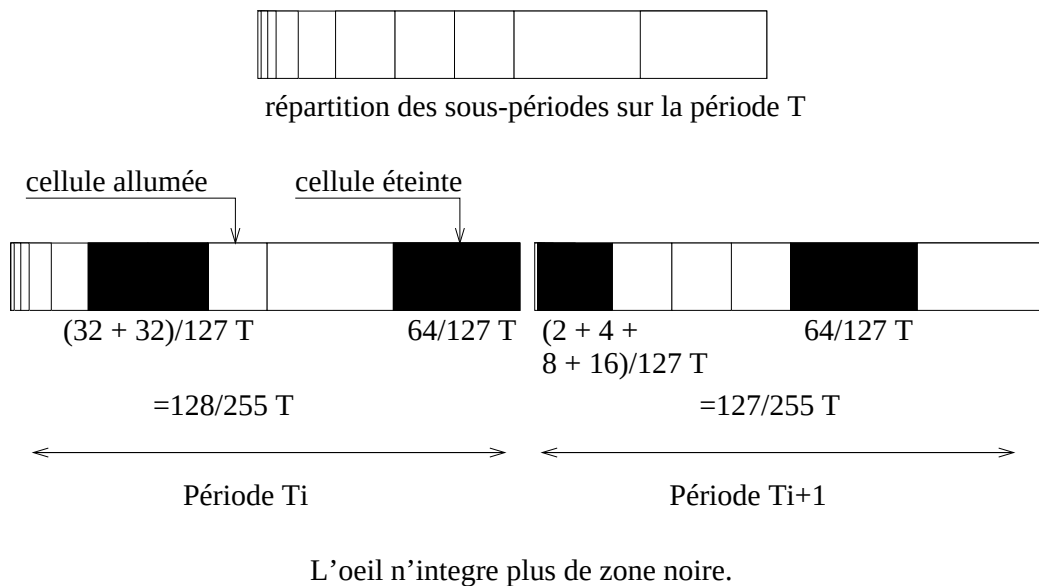


FIG. 2.14 – Le brevet développé par THOMSON MULTIMÉDIA [14] explique comment remédier au phénomène de contouring en découpant la période du signal de façon plus homogène.

Chapitre 3

L'écran à plasma : une technologie jeune qui attend encore beaucoup d'améliorations.

Malgré leurs caractéristiques déjà très bonnes, les panneaux à plasma attendent encore beaucoup d'améliorations. De nombreux centres de recherche se sont penchés sur divers problèmes comme le rendement lumineux ou des procédés plus simples pour la fabrication. En Corée du sud, un grand nombre d'équipes universitaires collaborent avec les grands groupes comme SAMSUNG ou LG ELECTRONIC. En France, THOMSON MULTIMÉDIA travaille en étroite collaboration avec des groupes de recherche dont le CPAT¹ à Toulouse. Toutes ces études visent à augmenter la qualité des écrans à plasma pour qu'ils soient incontournables et indispensables dans les technologies à écrans plats de grande taille. Bien sûr, au-delà des améliorations technologiques, le prix est un élément important qui viendra lui aussi rendre le produit plus attrayant.

1. Centre de Physique des Plasmas de Toulouse. CNRS, ESA 5002, Université Paul Sabatier.

3.1 L'efficacité lumineuse, un rendement encore très bas

L'efficacité globale d'une cellule est le résultat d'une succession de conversions énergétiques. Grâce à des modèles créés avec la physique du plasma, on a pu déterminer que seulement 15% de la puissance électrique fournie est dissipée par les électrons de l'excitation du xénon². Une partie de la puissance électrique restante est dissipée inutilement par les ions dans des collisions élastiques, dans des échanges de charges avec les atomes de gaz ou encore lors des collisions avec les diélectriques. Le reste de la puissance électrique est dissipée dans l'ionisation du milieu i.e. pour former le plasma et dans l'excitation du néon. Cette dernière doit être limitée pour deux raisons : la première est que l'énergie servant à ioniser le néon est perdue inutilement, la deuxième est que le néon excité émet dans le rouge-orangé et cela nuit à la pureté de l'image. Mais comme nous l'avons montré dans la section 2.1, le néon est indispensable car il abaisse la tension de claquage du gaz.

Le xénon est cependant un émetteur de photons UV efficace : sur les 15% d'énergie électrique consommée, environ 10% contribuent à l'émission de photons UV. Seulement 40% de ces photons sont convertis en rayonnement visible à cause de la disposition des luminophores. Par exemple, dans la géométrie matricielle, on ne peut pas déposer de luminophores sous la zone de décharge sinon celle-ci pulvériserait le luminophore et contaminerait le gaz.

Sur les 40% des photons UV qui parviennent aux luminophores, seulement 25% sont convertis en photons visibles. Des résultats très prometteurs ont été trouvés sur l'amélioration du rendement de ces luminophores. Des chercheurs d'Utrecht ont élaboré un luminophore du type europium dopé au fluorure de lithium gadolinium $LiGdF_4 : Eu^{3+}$ capable de produire environ deux photons visibles (rouge) pour un photon UV incident.

Enfin, la collection des photons visibles émis par les luminophores n'excède pas 40%.

Le produit de ces différents rendements (voir figure 3.1) donne un rendement global (énergie rayonnée sur puissance électrique consommée) de 0.4%, ce qui correspond à une énergie de 1lm/W pour une consommation de 250W. Les tubes cathodiques atteignent des efficacités proches de 5lm/W. Ceci laisse de la marge à l'écran à plasma avant d'atteindre l'efficacité des CRT. On a vu que des études étaient menées pour trouver des luminophores plus perfor-

2. rappel : le xénon excité émet dans deux continuums autour de 147 nm et 173 nm, voir aussi figure 2.3

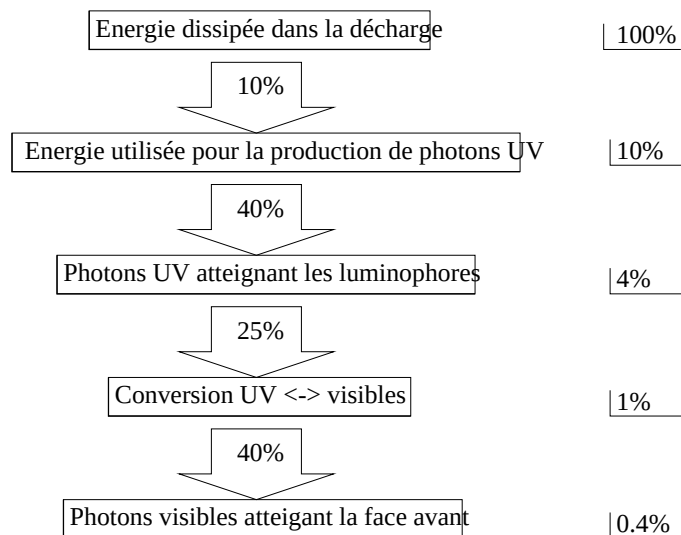


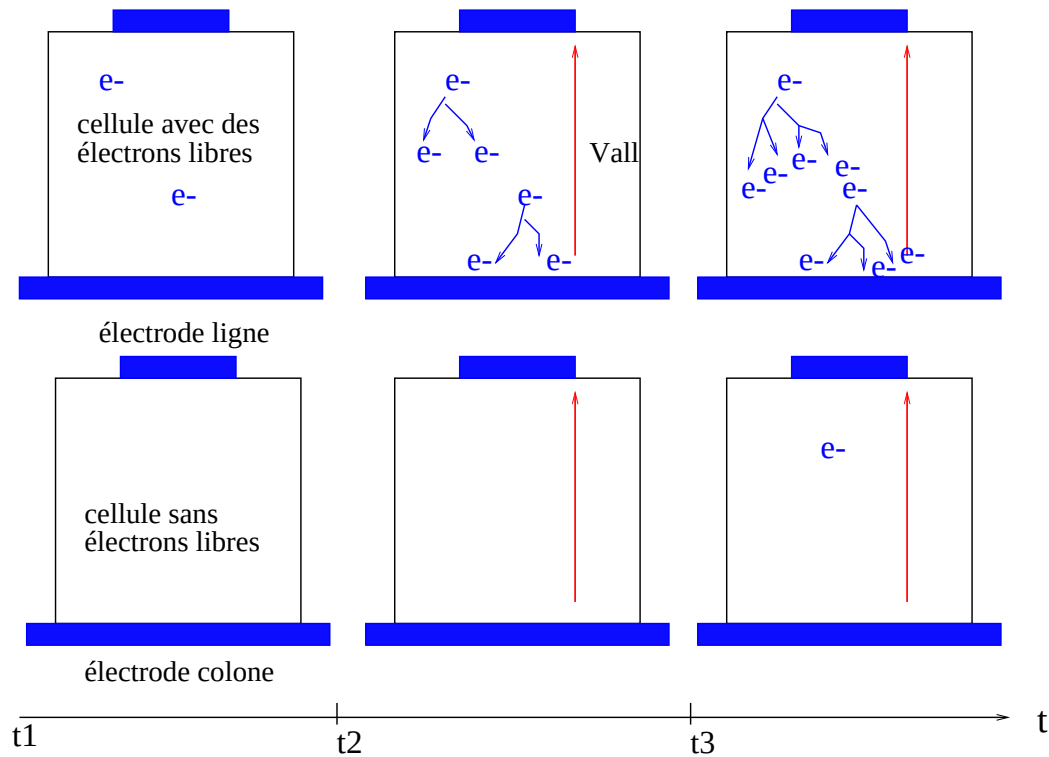
FIG. 3.1 – *Bilan énergétique approximatif d'une cellule d'écran à plasma. Source : Bulletin de la société française de physique n° 102, p4, Janvier 2000.*

mants. On peut aussi gagner sur la collection des photons avec une géométrie de la couche de luminophore plus appropriée, on peut également chercher à augmenter la fraction de la puissance totale utilisée par le xénon. Les lampes à plasma ont elles un rendement lumineux 100 fois plus élevé. Mais les cellules d'un écran à plasma sont si petites que les conditions de fonctionnement pour le mode télévision impliquent des contraintes très grandes pour l'allumage et pour l'extinction des cellules (rapidité, netteté de l'allumage et de l'extinction, etc.).

3.2 Des problèmes de qualité d'image

3.2.1 Retard à l'allumage

On a vu section 2.1 que le claquage d'un gaz nécessite une tension élevée. Cette tension élevée va conduire le gaz à se dissocier en ions et en électrons. Cependant, d'une manière pratique, le gaz doit avoir quelques électrons libres pour pouvoir claquer i.e. pour pouvoir amorcer l'avalanche électronique (voir figure 3.2). Le problème survient lorsqu'une cellule est restée éteinte trop longtemps : il devient très difficile de la rallumer. Pour éviter ceci, on rallume les cellules régulièrement durant un temps très court.



Vall : tension de claquage

FIG. 3.2 – Comparaison dans le temps d'une cellule ayant des électrons libres et d'une cellule dépourvue. La cellule n'en ayant pas ne peut déclencher d'avalanche électronique.

3.2.2 Une baisse du contraste due au néon

Les premiers écrans à plasma étaient monochromes et utilisaient la propriété suivante du néon : lorsqu'il est excité, il produit des photons UV dans le rouge - orangé. On n'avait donc pas recours à des luminophores, la lumière provenant directement du néon. Dans un écran à plasma alternatif couleur, le néon émet toujours (en proportion moindre) de la lumière rouge-orangée. Ceci a pour effet de baisser le contraste de l'écran et donc nuit à la qualité de l'image.

3.3 Un prix encore trop élevé des PAP

De nombreuses offres d'écrans plasma courent sur le Web. On trouve des écrans entre 60 000 FRF et 125 000 FRF (voir annexe D). Les entreprises japonaises fabricant de tels écrans ont annoncé pour l'année 2000 des prix compris entre 20 000 FRF et 25 000 FRF pour un écran de 40" (soit 1 mètre). Ceci divise par 4 les prix existants mais restent encore relativement élevés. En comparaison : un CRT de 32" (soit 80cm) coûte environ 5000 FRF. De nombreuses études visent à faciliter la méthode de fabrication des écrans plasma afin d'en réduire le coût ; bien sûr, cette technologie est en plein balbutiement ce qui explique un démarrage avec des prix élevés.

3.4 Un centre de recherche à Toulouse : le CPAT

L'écran à plasma est donc une technologie nouvelle qui a beaucoup de défauts. De nombreuses équipes de chercheurs travaillent sur différents points pour améliorer la qualité de ces écrans et leur prix.

C'est en recherchant les documents (voir annexe E) qui ont servi à faire ce dossier sur les écrans à plasma que j'ai découvert qu'une équipe de chercheurs se trouvait à Toulouse sur le site de l'université Paul-Sabatier : le CPAT. J'ai donc contacté Mr. J.P. BOEUF, le chef de cette équipe, pour aller voir les travaux qu'ils effectuaient. Leurs travaux portent sur la modélisation d'une cellule d'écran à plasma. L'idée est de travailler sur une macro-cellule, qui a des propriétés analogues aux cellules normales sur une échelle de temps différente et avec une pression du gaz différente. Par exemple, ils travaillent sur une cellule à l'échelle 100:1, avec une pression 100 fois moins grande (5 Torr). Une décharge s'effectue donc d'une manière 100 fois plus lente, ce qui permet de faire de l'imagerie. Cette imagerie est faite avec un dispositif à base de caméra CCD qui est reliée à un ordinateur. La figure 3.3 illustre une décharge dans le temps «capturée» par le laboratoire du CPAT.

Toutes les études menées au CPAT (et ailleurs) visent à mieux comprendre les décharges luminescentes dans une cellule en modélisant le gaz comme un fluide. Ils ont découvert par exemple que dans une cellule coplanaire, la décharge glissait le long de l'électrode d'adressage, ce qui ouvrait des voies pour améliorer le rendement lumineux.

Une grande partie des recherches faites au CPAT est disponible sur leur site Web : <http://cpat.uprs-tlse.fr/>

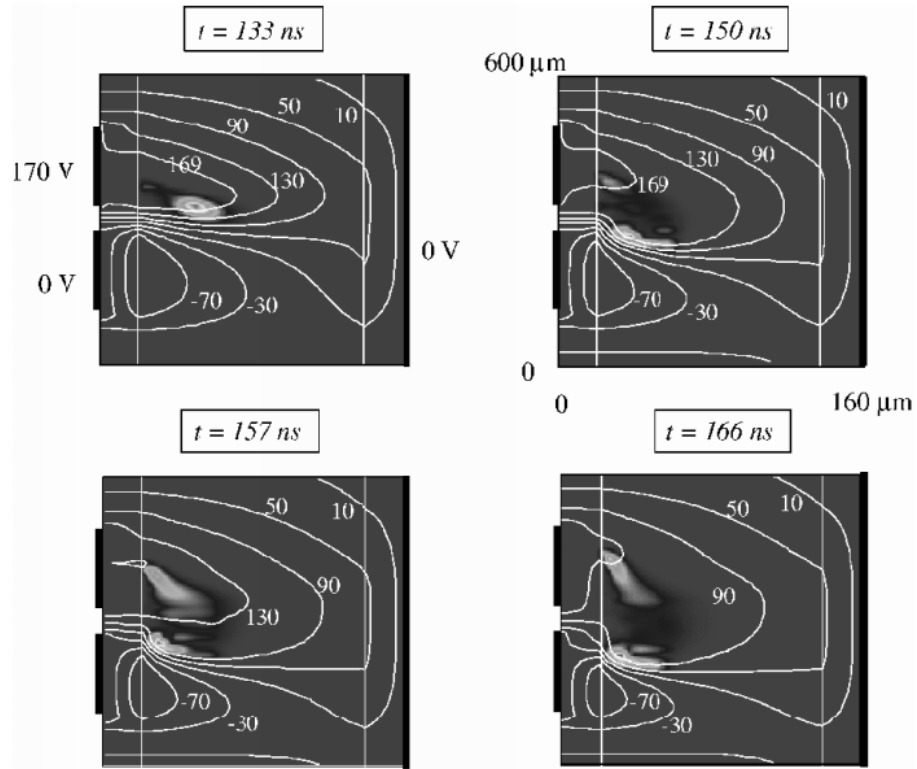


FIG. 3.3 – Décharge dans une macro-cellule au cours du temps. On voit sur cette figure les lignes équipotentiels dans le gaz ainsi que des zones claires traduisant l'état excité du gaz (plasma). Source: "les écrans à plasma", "Images de la Physique", Journal du CNRS

Conclusion

Nous avons vu à travers ce rapport sur les PAP que cette technologie est très prometteuse : qualité d'image relativement bonne (assez pour concurrencer les tubes cathodiques), diagonale d'image de plus d'un mètre sans aucun problème. Ceci favorisera donc son implantation dans les dispositifs à écrans plats et surtout dans les dispositifs d'affichage de plus d'un mètre. Bien sûr cette technologie a encore beaucoup de défauts majeurs comme le prix, le rendement lumineux, et la qualité d'image, même si cette dernière est relativement bonne. De gros efforts restent donc à faire pour que cette technologie s'impose comme le standart «écran-géant». De nombreuses équipes de chercheurs se sont mis au travail pour résoudre ces différents problèmes.

Le rêve des écrans plats de grande dimension devient bien réel. De nombreux écrans plasma germent un peu partout dans le monde, même si leur prix est très (trop?) élevé. Le XX^{eme} siècle a été marqué par le tube cathodique, le XXI^{eme} siècle sera-t-il marqué par celui de l'écran à plasma? Réponse dans quelques années...

Table des figures

1.1	Schéma simplifié d'un tube cathodique	3
1.2	Balayage de l'écran d'un tube cathodique ligne par ligne . . .	4
1.3	Modulation de la lumière par les cristaux liquides	5
1.4	L'angle de vision pour un écran	6
1.5	Schéma d'un FED	7
1.6	Structure d'un EL	8
1.7	Comparaison d'un PAP et d'un écran LCD pour l'angle de vue	10
1.8	Comparaison d'un CRT et d'un PAP	10
1.9	Ecran à plasma d'un mètre de diagonale	11
2.1	Rendement lumineux d'une cellule d'un écran matriciel	13
2.2	Influence du pourcentage néon-xénon sur la tension de claquage et le rendement lumineux	13
2.3	Spectre UV d'une décharge luminescente pour le xénon	14
2.4	Coupe transversale d'une cellule à géométrie matricielle	15
2.5	Coupe transversale d'une cellule à géométrie coplanaire	16
2.6	Réseau de barrières diélectriques	18
2.7	Dépôt de la couche de luminophore	18
2.8	Fabrication d'un réseau d'électrodes	19
2.9	Arrangement antérieur des bandes de luminophores dans les deux géométries	20
2.10	Tensions dans une cellule adressée	21
2.11	Principe de commande pour l'adressage des cellules	23
2.12	Obtention du niveau de gris dans une cellule	25
2.13	Phénomène de contouring	26
2.14	Solution au phénomène de contouring	26
3.1	Bilan énergétique d'un PAP	29
3.2	Difficulté d'allumage d'une cellule	30
3.3	Décharge dans une cellule au cours du temps	32

Bibliographie

- [1] J.P. BOEUF, C. PUNSET et L.C. PITCHFORD, "*les écrans à plasma*", "*Images de la Physique*", Journal du CNRS, Page 97, France, 1998.
- [2] J.P. BOEUF, C. PUNSET et S. CANY, "*Addressing and sustaining in alternating current coplanar plasma display panels*", Journal of applied physics, Volume 86, number 1, France, 1er juillet 1998.
- [3] S. BERRY and R. SHERMAN, *The other flat-panel display*. Information display, 1995, 11(2): p. 14.
- [4] J. DESCHAMPS "*Recent Developement and results in Color Plasma Display Technology*", Proceedings of the society for information Display International Symposium, San Jose, CA SID 94 Digest, 315 (1994).
- [5] P.S. FRIEDMAN. "*High-Definition 30-in.-Diagonal Full-color ac PDP Video Monitor*", Proceedings of the society for information Display International Symposium, SID'93 Digest, 176 (1993).
- [6] J. KANG, W.G. JEON, O.D. KIM, textscJ.W. Song, J.P. BOEUF et M.H. PARK. "*Improvement of luminance and luminance efficiency in PDPs driven by radio frequency pulse*" disponible sur le site du CPAT à l'adresse : <http://cpat.ups-tlse.fr/> .
- [7] TH. CALLEGARI, J.P. BOEUF, R. GANTER, Centre de physique des Plasma et applications de Toulouse (CPAT), "*Les écrans plasma*", disponible sur le site du CPAT à l'adresse : <http://cpat.ups-tlse.fr/> .
- [8] Ces donnée sont tirées d'un article parut sur le site du périodique «L'ECHO DU SUD» à l'adresse http://rvp.tvt.fr/themes/ELECTRONIQUE/art1_du_6_aout_1999.html .
- [9] CHIKAZAWA (Yoshiaru). "*Plasma display panel*". Déposants: THOMSON MULTIMEDIA. France, brevet numéro EP 0 945 889 A1, 1998.
- [10] YOO MIN SUN. "*Plasma display panel*". Déposants: SAMSUNG DISPLAY DEVICES CO. France, brevet numéro FR 2 767 962, 1998.
- [11] HERVÉ (Jean Pierre Patrick), PUJOL (Gilbert Dominique). "*Procédé de fabrication d'un écran d'affichage à plasma*". déposant : CORNING INC, France, brevet numéro FR 2 754 633, 1996.

- [12] HORIUCHI (Ken) et al. *“Écran à plasma et procédé de fabrication de cet écran”*. déposant : TORAY INDUSTRIES, INC, Europe, brevet numéro WO 9910909.
- [13] KASAHARA (Shigeo), *“Panneau d’affichage à plasma et son procédé de fabrication”*. déposant : FUJITSU LTD, brevet numéro FR 2 754 634.
- [14] DOYEN (Didier) et al. *Procédé d’adressage pour un écran à plasma sur une base de répétition de bits sur une ou plusieurs lignes*. déposant : THOMSON MULTIMEDIA, France, brevet numéro FR 2 762 704.

Annexes

Annexe A

Brevet de fonctionnement d'un PAP

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication : 2 767 962
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

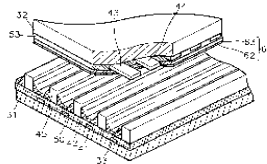
21 N° d'enregistrement national : 98 10833

51 Int Cl⁶ : H 01 J 1749

12	DEMANDE DE BREVET D'INVENTION	A1
22 Date de dépôt : 28.08.98. 30 Priorité : 30.08.97 KR 09744397.	71 Demandeur(s) : SAMSUNG DISPLAY DEVICES CO LTD — KRL.	
43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.03.99 Bulletin 99/09.	72 Inventeur(s) : YOO MIN SUN.	
56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule	73 Titulaire(s) :	
60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :	74 Mandataire(s) : NOVAMARK TECHNOLOGIES.	

54 PANNEAU D'AFFICHAGE A PLASMA.

57 Un panneau d'affichage à plasma comprend des substrats avant (32) et arrière (31) couplés de façon à être face l'un à l'autre, une cloison (45) formée entre les substrats avant (32) et arrière (31) afin de définir un espace de décharge (33), un élément de décharge (40) destiné à générer des rayons lumineux parents grâce au gaz de décharge qui remplit l'espace de décharge (33), une couche fluorescente (50), formée suivant un motif prédéterminé dans l'espace de décharge (33), afin d'émettre de la lumière lorsqu'elle est excitée par les rayons lumineux parents, et un film de réflexion (60), formé dans une zone où la couche fluorescente (50) n'est pas formée dans l'espace de décharge (33), afin de réfléchir les rayons lumineux parents en direction de la couche fluorescente (50).



FR 2 767 962 - A1



Annexe B

Brevet de fabrication d'un PAP

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 INSTITUT NATIONAL
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
 PARIS

(11) N° de publication : **2 754 634**
 (à utiliser que pour les
 commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **97 08488**

(51) Int Cl⁸ : H 01 J 9/02, H 01 J 9/14, 17/49

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION **A1**

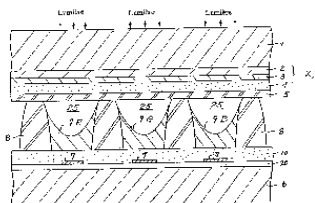
(22) Date de dépôt : 04.07.97.
 (30) Priorité : 15.10.96 JP 27200096.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : 17.04.98 Bulletin 98/16.
 (56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*
 (60) Références à d'autres documents nationaux apparentes :

(71) Demandeur(s) : FUJITSU LIMITED — JP.
 (72) Inventeur(s) : KASAHARA SHIGEO.
 (73) Titulaire(s) : .
 (74) Mandataire : CABINET BEAU DE LOMENIE.

(54) PANNEAU D'AFFICHAGE PLASMA ET SON PROCEDE DE FABRICATION.

(57) Sont décrits un panneau d'affichage plasma et son procédé de fabrication. Selon la présente invention, un procédé de fabrication d'un panneau d'affichage plasma comprend les étapes de formation d'une pluralité d'électrodes (2, 3, 7) sur des substrats isolants (1, 8); formation d'une couche en pâte conductrice sur les substrats isolants; formation d'un film de masquage sur la couche en pâte en des emplacements entre les électrodes; propulsion de manière forcée de particules contre la couche en pâte afin d'ôter par gravure des parties de la couche en pâte où le film de masquage n'est pas déposé; et exposition de la couche en pâte à une atmosphère de recuit de manière à former des parois de séparation entre les électrodes.



FR 2 754 634 - A1



Annexe C

Brevet de commande d'un PAP

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
 INSTITUT NATIONAL
 DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
 PARIS

(11) N° de publication : **2 762 704**
 (à n'utiliser que pour les
 commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **97 05166**

(51) Int Cl^B : G 09 G 3/28

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) Date de dépôt : 25.04.97.
 (30) Priorité :

(13) Date de mise à la disposition du public de la
 demande : 30.10.98 Bulletin 98/44.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de
 recherche préliminaire : Se reporter à la fin du
 présent fascicule

(80) Références à d'autres documents nationaux
 apparentés :

(71) Demandeur(s) : THOMSON MULTIMEDIA SOCIETE
 ANONYME — FR.

(72) Inventeur(s) : DOYEN DIDIER, DESCHAMPS
 JACQUES, RILLY GERARD et BENOIT ERIC.

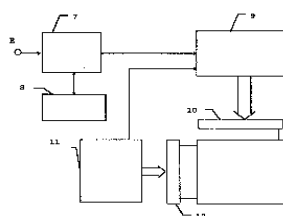
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) :

(54) PROCÉDE D'ADRESSAGE POUR ECRAN A PLASMA BASE SUR UNE REPETITION DE BITS SUR UNE OU PLUSIEURS LIGNES.

(57) Le dispositif comportant un circuit de traitement vidéo (7) pour le traitement des données vidéo reçues, une mémoire de correspondance (8) pour le transcodage de ces données, une mémoire vidéo (9) pour la mémorisation des données transcodées, la mémoire vidéo étant reliée à des circuits d'alimentation colonne (10) pour commander l'adressage colonne du panneau à plasma à partir de mots de commande colonne, un circuit de commande (11) des circuits d'alimentation ligne (12), est caractérisé en ce que le circuit de commande des circuits d'alimentation ligne sélectionne simultanément ou moins deux lignes successives lors de la transmission par les circuits d'alimentation colonne (10) d'au moins un des bits des mots de commande colonne relatifs à une de ces lignes.

Les applications concernent l'affichage de signaux vidéo sur panneaux à plasma.



FR 2 762 704 - A1



Annexe D

Prix des écrans à plasma

source : <http://www.adistek.com>

Gas Plasma
21"-41"
Gas Plasmas 42"
Gas Plasmas 50"
Plasma
Touchscreens
Accessories
LCD Projectors
Mounts
Scan Converters
Travel Cases

**Advanced
Display
Technology**



If you would like to receive our email specials newsletter, please enter your full email address below:

Sign Up

Copyright © 1999
Advanced Display
Technology, Inc.
All Rights
Reserved.
more information...

Advanced Display Technology is your best source for Gas Plasma Monitors and accessories from manufacturers like **Fujitsu, Pioneer, NEC, Eiki, Hitachi, Sony, Mitsubishi, Toshiba, Panasonic** and **JVC**. Advanced Display Technology also carries High Resolution LCD Projectors, Retrofit Touchscreens for Gas Plasmas and LCD Rear Projection Displays. For complete specifications of our equipment click on complete manufacturer list.

However, a web site or brochure can never substitute for discussing your needs with a qualified professional, so please call us toll-free or email us with your questions. See our Sales Terms for details about the way we do business.

Cheap in the Heart o
Texas
Please call for more
information about
any of these specials

Fujitsu 4207 Limited
Time Special !!!
\$6,895
Mitsubishi 40"
Leonardo
\$6,995
Smart Technologies
Matisse Touch
Screen
\$3,999
Smart Technologies
Matisse Touchscreen
\$3,299

1-800-260-7598
3535 Calder Ave., Ste. 223, Beaumont, TX 77706
phone 409-833-4850 fax 409-833-4819
Tuesday, May 16, 2000

Damien KERBART

Les écrans à plasma

41

Advanced Display Technology

Gas Plasma 21"-41"

[Home](#)

Gas Plasmas from 21' to 41" Diagonally measured in the standard computer 4 to 3 aspect ratio. These units help maintain the proper image as you expand the image.

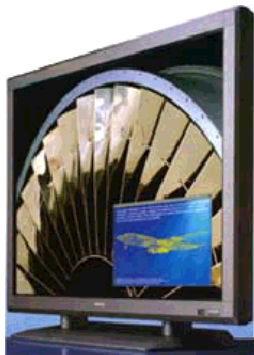


SPECIAL! Mitsubishi 40" Leonardo now just \$9,995
40" 4:3 Ratio Gas Plasma Display 640x480 Resolution. Great when you need a Large Display and maintain the original aspect ratio. Excellent Video reproduction
plus Brackets and Freight or \$245/mo QuickLease!

Shown with optional Stand



Fujitsu 2173 \$9,995
3.5" deep gas plasma with outboard power supply, Multimedia compatible. Quite energy saving design
now just \$6,995 plus Bracket and Freight or \$245/mo QuickLease!



Hitachi CMP401XU \$21,995
The 401 is the Largest (41" diagonal) 4:3 Gas Plasma in the World and it has the highest resolution (1024x768 native). Thanks to ultra-fine 0.81mm dot pitch, images are clear and impressive. And the 4:3 aspect ratio makes it ideal for displaying information such as text and charts.
now just \$16,995 plus Brackets and Freight or \$590/mo QuickLease!

Shown with option Desk

Gas Plasma 21"-41"
Gas Plasmas 42"
Gas Plasmas 50"
Plasma
Touchscreens
Accessories
LCD Projectors
Mounts
Scan Converters
Travel Cases

3535 Calder Ave.,
Ste. 223
Beaumont, TX
77706
409-833-4850
(phone)
409-833-4819 (fax)
1-800-260-7598
info@adistek.com

Stand



Hitachi CMP 205 SX
25" High Resolution
1280x1024 Native
Resolution Gas Plasma
Display 4:3 ratio Screen
15 pin VGA connection,
4in. thick Desk Stand
included. Also Available
Without Desk Stand for
Wall Mounting!

\$9,995
now just \$6,695
plus Freight
or \$244/mo
QuickLease!

Now Available with
removable Desk Stand
For Wall Mounting!



NEC PX-33M2A
33" 4:3 ratio Gas Plasma
Display 640x480
Resolution NTSC, PAL,
SECAM.

\$10,995
now just \$6,995
plus Barckets and
Freight
or \$245/mo
QuickLease!

Shown with option stand



Pioneer PDP V402 Extra
40" Pioneer with
PDA-4003 Down
Converter that allows this
unit to display 1024x768
Compressd Images.
External unit attaches
diirectly to rear of display.
Can be purchased
seperatly to up grade
existing units.

\$12,995
now just \$8,295
plus Brackets and
Freight
or \$279/mo
QuickLease!



Pioneer PDP V402
40" 4:3 Ratio Gas Plasma
Display Excellent color
saturation both computer
and video inputs

\$11,995
now just \$7,295
plus Brackets and
Freight
or \$242/mo
QuickLease!

Pioneer PDA-4003 Down \$1,495
Converter now just \$995
Down Converter to plus Brackets and
upgrade Pioneer PDP 402 Freight
and 401 Gas Plasma or \$35/mo
Displays to 1024x760 QuickLease!
compressed.

Copyright © 1999 Advanced Display Technology, Inc. All Rights Reserved.

Advanced Display Technology

Gas Plasmas 50"

[Home](#)

The largest size of Gas Plasma Display available. If you want the ultimate in performance and impact, get a 50" Gas Plasma Display!



SPECIAL! Smart Technologies Matisse Touch Screen \$3,999 plus Freight or \$140/mo QuickLease!
Interactive Overlay for Pioneer 50" Plasma displays. It attaches easily and offers resistive technology so you can use your hand or stylus. The unit allows a wide range of touch, display and writing functions from the tool area. Also included is a built-in on screen keyboard and the ability to change handwriting and printing into text.

Requires two Comm Ports

Gas Plasma 21"-41"
Gas Plasmas 42"
Gas Plasmas 50" Plasma
Touchscreens
Accessories
LCD Projectors
Mounts
Scan Converters
Travel Cases

3535 Calder Ave.,
Ste. 223
Beaumont, TX
77706
409-833-4850
(phone)
409-833-4819 (fax)
1-800-260-7598
info@adistek.com



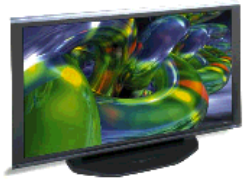
NEC 5000 \$24,995
NEC 50" Gas Plasma. now just \$17,550 plus Freight or \$610/mo QuickLease!
NEC's Highest resolution gas plasma with a native resolution of 1365x784.
HDTV Capabilities, Multiple Inputs and remote Control.

Shown with option stand



NEC 50PD1 \$19,995
New Presentation version now just \$12,995
of the the 5000. Create plus Freight
images up to 100" or \$450/mo
diagonal with built in QuickLease!
video wall circuitry and a
1.5" Bezel around the
outside of the unit! Native
resolution of 853x480
give you a sharp clear
picture. Direct Digital
inputs. Ability to add
internal computer for self
contain operations.
Special circuits to reduce
burn in and prolong
screen life. NOW IN
STOCK!

Shown with option stand



Pioneer PDP-V502MX \$21,995
50" Gas Plasma with now just CALL
1280x768 Native for LOW PRICE
Computer Resolution and plus Freight
1080i HDTV Capability.
This unit offers
Non-Glare Glass,
Elaborate controls over
the Image Quality and all
this and it is only 4"
Thick!

Shown with optional desk
stand

Copyright © 1999 Advanced Display Technology, Inc. All Rights Reserved.

Annexe E

Déroulement de la recherche documentaire

Octobre 1999 : J'obtiens la plupart des brevets [9], [10], [11], [12], [13] et [14] grâce au site de l'INPI. Beaucoup de brevets sont en texte intégral, ce qui accélère le travail.

Novembre 1999 : J'effectue une recherche de documents annexes au centre de documentation et sur internet (périodiques, brochures publicitaires, etc.) sans beaucoup de succès. Les mots clés entrés sont plasma, écrans, plats.

Janvier 2000 : J'obtiens une liste d'adresses méls vers des entreprises japonaises et américaines (mots clés : PAP (plasma display panel), screen, flat, FDP (flat display panel)). Les réponses à mes méls ne cadrent pas avec ce que je recherche (dans mes réponses, je suis plus considéré comme un client potentiel que comme quelqu'un qui cherche des informations sur les écrans à plasma).

Mars 2000 : Je trouve avec un moteur de recherche différent et des mots clés différents (mots clés : recherche, plasma) l'adresse du site du CPAT (Centre de recherche des Plasmas et Applications de Toulouse). J'obtiens bon nombre d'extraits de périodiques tels que [1] et [2]. J'obtiens également l'adresse et le numéro de téléphone de travail de Jean Pierre BOEUF, responsable de l'équipe de recherche du CPAT, et je prends contact avec lui. C'est comme cela que je suis allé visiter le CPAT, que j'ai pu obtenir des informations complémentaires fort utiles. Ceci a vraiment complété les sources dont je disposais déjà et m'a permis d'avancer dans la synthèse de mon rapport.

Avril-Mai 2000 : Je recherche des parts de marché récents sur les écrans

plats pour compléter mes informations : je ne dispose que d'informations de 1995-1996. En vain, sur ma trentaine de méls envoyés, je ne reçois que des réponses négatives ou vagues. J'arrive tout de même à prendre des informations sur la vaste toile qu'est l'internet, mais souvent ces informations sont contradictoires (les chiffres ne sont pas les mêmes, ne sont pas référencés sur une même année...).