

UNIVERSITE D'ALGER
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT ELECTRICITE

7/77
Aca

ELECTRONIQUE

الدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
THESE DE FIN D'ETUDES
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

ETUDE DE L'EVOLUTION
DES DISPOSITIFS DE VISUALISATION

الدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكتبة
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

PROPOSEE PAR :

M^{ME} G. MONDON

Docteur - Ingenieur

Maitre - assistante à L'E.N.P.A

ETUDIEE PAR :

MM. A. BAGHLI ET M. KHALED

Promotion Janvier 77

UNIVERSITE D' ALGER

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT ELECTRICITE

THESE DE FIN D' ETUDES

ETUDE DE L'EVOLUTION DES DISPOSITIFS DE
VISUALISATION

Proposée par:
Mme G. MONDON
Docteur Ingénieur
Maître Assistante à l'ENPA



Etudiée par :
MM. A. BAGHLI
M. KHALED

EXCLU DU PRÊT

A MES PARENTS

Amine BAGHLI.

A LA MEMOIRE DE MA MERE

A MON PERE

Mohammed KHALED.

A MES PARENTS

Amine BAGHLI.

A LA MEMOIRE DE MA MERE

A MON PERE

Mohammed KHALED.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à MM. les enseignants qui ont contribué à notre formation et, en particulier à Mme G. MONDON, notre promoteur, dont les conseils et les encouragements nous ont été très utiles à l'élaboration de ce travail.

Nous remercions M. Le Chef du Département, ainsi que le personnel de la bibliothèque et du centre de tirage qui nous ont permis de travailler dans une bonne ambiance.

Une mention spéciale est due à Mlle N. DAHACHE et ses collègues qui ont dactylographié le texte de cette thèse.

I N T R O D U C T I O N

L'énorme quantité d'informations produite, analysée et transmise dans les divers aspects de la vie moderne nécessite la recherche continue de moyens d'enregistrement et de présentation de ces informations .

La visualisation de ces informations se fait généralement sous forme lumineuse et plusieurs moyen peuvent être utilisés à cet effet.

Ainsi, le tube à rayons cathodiques, dont les performances ne cesseront d'évoluer, en est le procédé de choix. On voit son utilisation en télévision, vidéophonie, instrumentation, audio-visuel et en informatique; l'avance des techniques est loin de le délaiss

laisser. Parallèlement, d'autres dispositifs de visualisation ont été mis au point, tels que les diodes électroluminescentes, les panneaux à plasma et les cristaux liquides, pour pouvoir gagner sur les plans d'encombrement et de la dissipation thermique excessifs que possède le tube cathodique; les écrans plats étant réalisés sur quelques centimètres d'épaisseur et ne consomment que quelques watts sinon moins.

Le besoin de garder l'information pendant un temps plus ou moins long sur l'écran du tube cathodique ou du panneau de visualisation a conduit à l'utilisation de mémoires, parfois au sein même de l'écran.

Dans cet exposé, nous essayerons d'expliquer clairement, dans la mesure du possible tous les moyens cités qui sont mis en jeu pour permettre le dialogue homme-machine en illustrant certaines technologies par des schémas d'applications pratiques.

La première partie est réservée aux tubes cathodiques; nous étudierons leur fonctionnement, surtout au niveau de la visualisation de l'information transmise au tube, et leur évolution quant à la mise en mémoire de cette information .

Nous donnerons un schéma d'application dans les consoles graphiques des tubes les plus récents (visualisation en couleur par tube à pénétration).

Dans la deuxième partie, nous traiterons les applications de la physique de "l'état solide" à la visualisation d'informations, entre autres, les cristaux liquides, les panneaux électroluminescents en les illustrant, comme dans la première partie, par des schémas d'utilisation pratique avec leurs principes de fonctionnement.

Enfin, en annexe, nous donnerons deux tableaux détaillant les codages EBCDIC et ASCII utilisés dans les claviers des consoles de visualisation et un tableau regroupant les caractéristiques des systèmes d'affichage "état solide" à excitation électrique.

PLAN GENERAL

Première Partie :

A. Tubes cathodiques - Généralités.	P. 1
B. Tubes cathodiques à Mémoire.	P. 17
C. Nouveaux types de Tubes.	P. 39
D. Les Consoles Graphiques.	P. 61

Deuxième Partie :

A. Les Cristaux Liquides et leurs applications.	P. 1
B. Dispositifs Electroluminescents.	P. 23
C. Commande des Systèmes d'affichage plats.	P. 39

PREMIERE PARTIE

I- CARACTERISTIQUES.

II- AMPLIFICATION DE DEVIATION.

- a) Amplification par grille de champ.
- b) Amplification par lentille quadrupolaire.

III- DEVIATION VERTICALE.

- a) Lignes à retard asymétrique.
 - 1. ligne en zig-zag.
 - 2. ligne en zig-zag avec blindage.
 - 3. ligne en hélice.
- b) Lignes à retard à hélice symétrique.

IV- VITESSE D'INSCRIPTION.

V- EXEMPLE : LE TUBE CATHODIQUE TH 8203.

oOo

B I B L I O G R A P H I E

- A. ALBERTIN : Tubes cathodiques pour oscilloscopes jusqu'à 1 GHz -
L'onde électrique Volume 56 N°5.
- J.C. BAUD : Principes et applications de l'oscilloscope à mémoire -
Electronique et Microélectronique industrielles
n° 193.-

I- CARACTERISTIQUES.

Le développement des oscilloscopes "haut de gammes" destinés à l'observation et à la mesure de phénomènes rapides conduit à concevoir des tubes cathodiques présentant simultanément une grande sensibilité de déviation et une bande passante très élevée.

-La sensibilité de déviation et l'impédance du déviateur "Y" sont les deux caractéristiques les plus importantes.

La nécessité de décadrer l'image verticalement d'une quantité égale à la hauteur de l'écran conduit à tripler la tension de sortie des amplificateurs par rapport à la tension correspondante à la déviation verticale utile.

Pour un oscilloscope à bande passante de 500 MHz, on peut envisager la réalisation d'amplificateurs symétriques donnant une tension crête à crête de l'ordre de 30 V sur une impédance de $2 \times 150 \Omega$ environ, soit 10 V pour la déviation verticale utile. Le facteur de déviation "Y" pour un tube à écran $80 \times 100 \text{ mm}^2$ doit ainsi être voisin de 1 à 1,5 V/cm.

-Luminance élevée afin de voir les signaux rapides à faibles récurrence ou d'enregistrer un signal unique bref. Elle est caractérisée par la vitesse d'inscription maximale dans des conditions photographiques définies.

-Le temps de montée du signal T_m que l'on peut visualiser avec une erreur définie par rapport au temps de montée du signal réel.

Le temps de montée intrinsèque du tube cathodique, compte tenu des limitations prépondérantes des amplificateurs, devra être inférieur à T_m .

Le contraste présente également un grand intérêt pour une bonne lisibilité des signaux.

.../..

-La bande passante et le temps de montée intrinsèque de tube cathodique sont des caractéristiques qui doivent être nettement meilleur que celles de l'oscilloscope afin de ne pas réduire sensiblement les performances des amplificateurs verticaux.

-La sensibilité de déviation "X" bien que moins critique que celle de la déviation verticale est une caractéristique qui ne doit pas être négligée, une sensibilité supérieure à 1 mm/v permet de réaliser des circuits plus économiques.

II- AMPLIFICATION DE DEVIATION.

L'amplification de déviation procure un gain à la fois sur la sensibilité et la surface utile et permet par conséquent de réduire l'encombrement des tubes.

Dans le cas général, le système d'amplification réalise une lentille divergente placée entre le canon et l'écran et agit simultanément sur les déviations "Y" et "X"-compte tenu de l'importance de la sensibilité "Y", il peut être placé également à la sortie du déviateur "Y".

L'inconvénient de l'amplification de déviation réside dans l'augmentation du diamètre de spot qui en résulte et par conséquent de la vitesse d'inscription à tension et courant de faisceaux égaux.

Cet inconvénient est composé de 2 façons :-

-Par augmentation de la tension de post -accélération V_2 , au lieu de 10 à 15 KV des tubes à post-accélération à hélice, des tubes à amplification de déviation fonctionnent couramment dans la plage 15 à 25 KV.

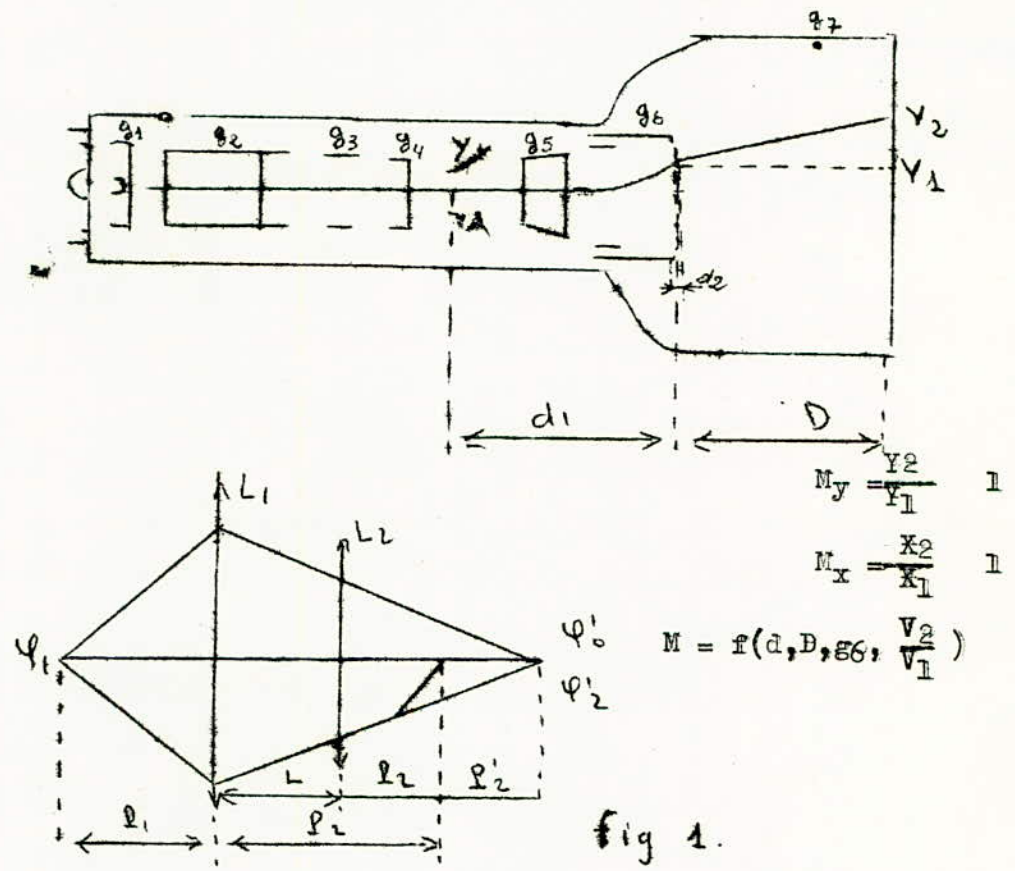
-Par action au niveau de la formation et de la localisation du faisceau, réduction de la dimension du cross-over (augmentation de la charge de la cathode) et réduction du grandissement (allongement de l'espace d'accélération gg...)

2 systèmes d'amplification de déviation sont utilisés, l'un utilise une grille de champ, l'autre une lentille quadrupolaire.

a) Amplification de déviation par grille de champ.

Il s'agit d'une lentille divergente créée par la tension de post-accélération - la grille séparant deux zones de potentiels différents :-

fig 1.



Si la grille est plane, la divergence est due essentiellement à la configuration de l'électrode de post-accélération; elle ne croît que faiblement en fonction du rapport $\frac{V_1 + V_2}{V_1}$ dans le cas de la figure 1, la grille est bombée et la divergence est due essentiellement à la courbure de grille. Elle est également croissante avec le rapport de post-accélération. A partir des éléments cardinaux, le coefficient d'amplification est donné par la relation :

$$M = \frac{Y_2}{Y_1} = \frac{d_1(D + d_2)}{d_2(D + d_1)} \quad \text{avec} \quad \frac{f'}{d_2} - \frac{f}{d_1} = 1 \quad \text{et} \quad \frac{f'}{f} = \left(\frac{1 + V_2}{V_1} \right)^{1/2}$$

Toutes les longueurs sont prises en valeur absolue.

En pratique, les coefficients d'amplification, pour un rapport de post-accélération de 6 à 8, varient de 1 à 1,5 pour la lentille à grille plane et de 2 à 3,5 pour la lentille à grille bombée. La fig.1 montre la structure générale d'un tube cathodique à amplification de déviation par grille bombée et le schéma équivalent pour la formation du spot - il est intéressant d'évaluer le grandissement de spot dû à la lentille d'amplification L_2 . Dans l'hypothèse du tube sans post-accélération, on peut exprimer le grandissement de la lentille L_1 seule, rapport des diamètres ψ'_0 du spot du diamètre ψ_1 du cross-over par $G_1 = \frac{\psi'_0}{\psi_1} = \frac{L + P_2}{P_1}$

Dans le cas du fonctionnement normal, en supposant. La convergence de la lentille L_1 ajustée pour que l'image du cross-over se forme toujours sur l'écran, on a :

$$G_2 = \frac{\psi'_0}{\psi_1} = \frac{P'_2 f(L + P_2)}{P_2 f(L + P'_2)}$$

en tenant compte de :

$$\frac{f}{P_2} - \frac{f'}{P'_2} = 1 \quad \frac{f'}{d_2} - \frac{f}{d_1} = 1 \quad P'_2 = D$$

on a finalement pour le grossissement du spot dû à la post-accélération

$$G = \frac{f}{f'} + \left(M - \frac{f}{f'} \right) \frac{1 + D/d_1}{1 + D/L}$$

avec les valeurs usuelles des paramètres de construction de ce type de tube on a en général : $D_1 < L$ et $G > M$ avec une valeur de M comprise entre 2 et 3,5. Les facteurs de déviation sont alors de l'ordre de 2V/cm et 10V/cm pour les déviations "Y" et "X" respectivement.

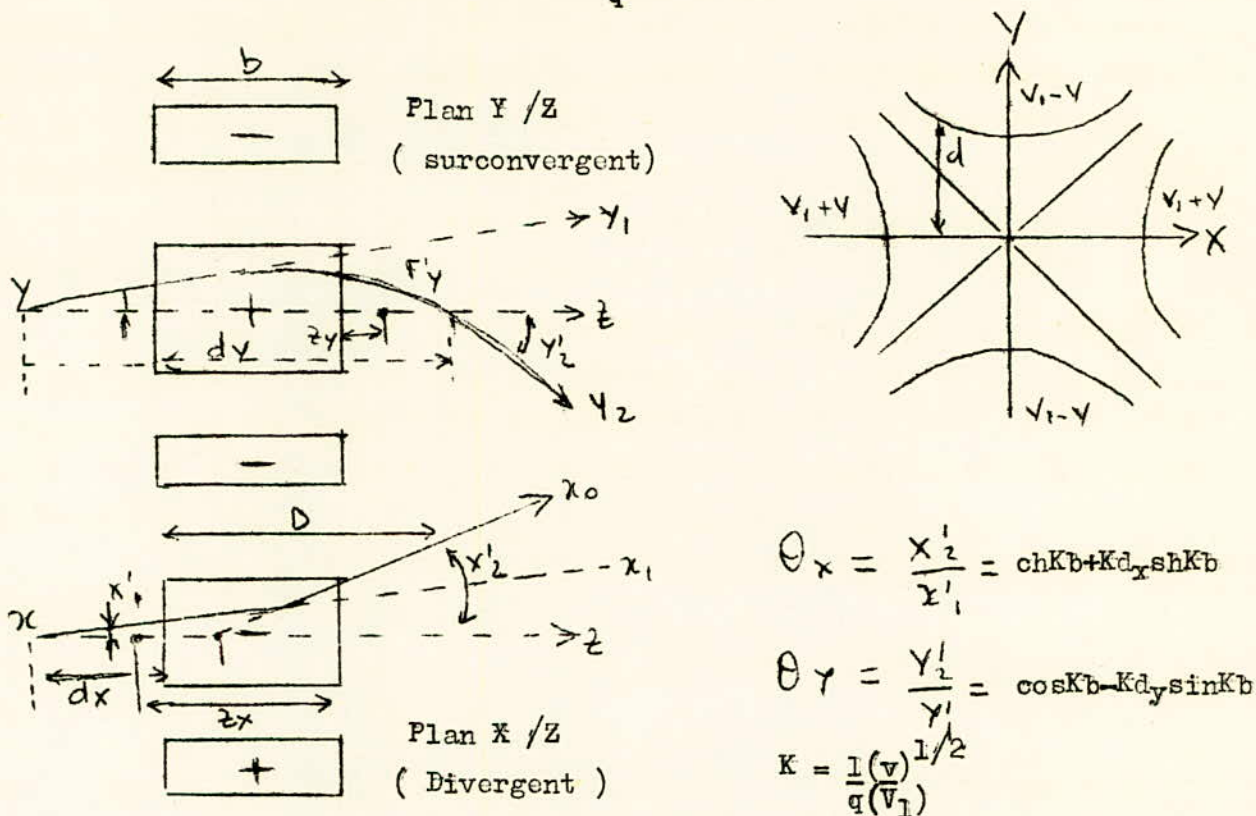
b) Amplification de déviation par lentille quadrupolaire.

La figure 2 représente une lentille quadrupolaire à électrodes cylindriques et section hyperbolique. En appliquant des tensions $V_1 + V$ et $V_1 - V$ respectivement aux deux paires d'électrodes

.../..

le potentiel à l'intérieur du système est donné par la relation :-

$$U = V_1 + \frac{V}{2} (x^2 - y^2)$$



SCHEMA : Amplification de déviation par lentille quadrupolaire.

Les composantes du champ électrostatique sont de la forme :

$$\left. \begin{array}{l} E_x = -Kx \\ E_y = Ky \end{array} \right\} \text{ avec } K = \frac{2V}{q^2}$$

Les forces agissant s.r les électrons sont donc :

$$\left. \begin{array}{l} F_x = K_1 x \\ F_y = -K_1 y \end{array} \right\} \text{ avec } K_1 = e K$$

Elles sont proportionnelles à l'élongation F_x est une force divergente et donne aux électrons une trajectoire de type exponentiel F_y est une force de rappel et donne aux électrons une trajectoire du type sinusoidal.

En supposant que la longueur d'action de la lentille est limitée à la longueur B des électrodes et que le champ est à répartition longitudinale rectangulaire, on peut déterminer l'amplification

de déviation d'un tel système dans les deux plans XIZ et YIZ.

Exprimée par le rapport des tangentes des angles d'entrée et de sortie l'amplification :-

-dans le plan XIZ :

$$\theta_x = \frac{x'_2}{x'_1} = \operatorname{ch} Kb + K d_x \operatorname{sh} Kb$$

-dans le plan YIZ :

$$\theta_y = \frac{y'_2}{y'_1} = \cos Kb - K d_y \sin Kb$$

$$K = \frac{1}{q} \left(\frac{V}{V_1} \right)^{1/2}$$

La première relation montre une amplification positive (axe divergent) -

La seconde relation peut donner une amplification négative et de forte valeur, en particulier lorsque Kb tend vers $\pi/2$ (axe convergent).

Les coefficients d'amplification mesurés sur l'écran sont obtenus par les relations :-

$$M_x = \frac{x_2}{x_1} = \theta_x \frac{b-d'_x}{b+d_x}$$

$$M_y = -\frac{y_2}{y_1} = \theta_y \frac{b-d'_y}{b+d_y}$$

Dans la pratique, les valeurs de θ_x et θ_y sont choisies entre 2 et 3,5. La figure 3 montre une structure générale du tube cathodique utilisant deux lentilles quadrupolaires.

Dans le plan YIZ (partie supérieure de la fig.3), le faisceau subit une première amplification positive dans la lentille J1 et une seconde amplification négative dans la lentille J2.

On peut calculer les coefficients d'amplification correspondant en appliquant deux fois les formules de θ_x , θ_y et de M_x , M_y .

La lentille J voit le faisceau issu du point 1 Y2 ce qui augmente le coefficient d'amplification.

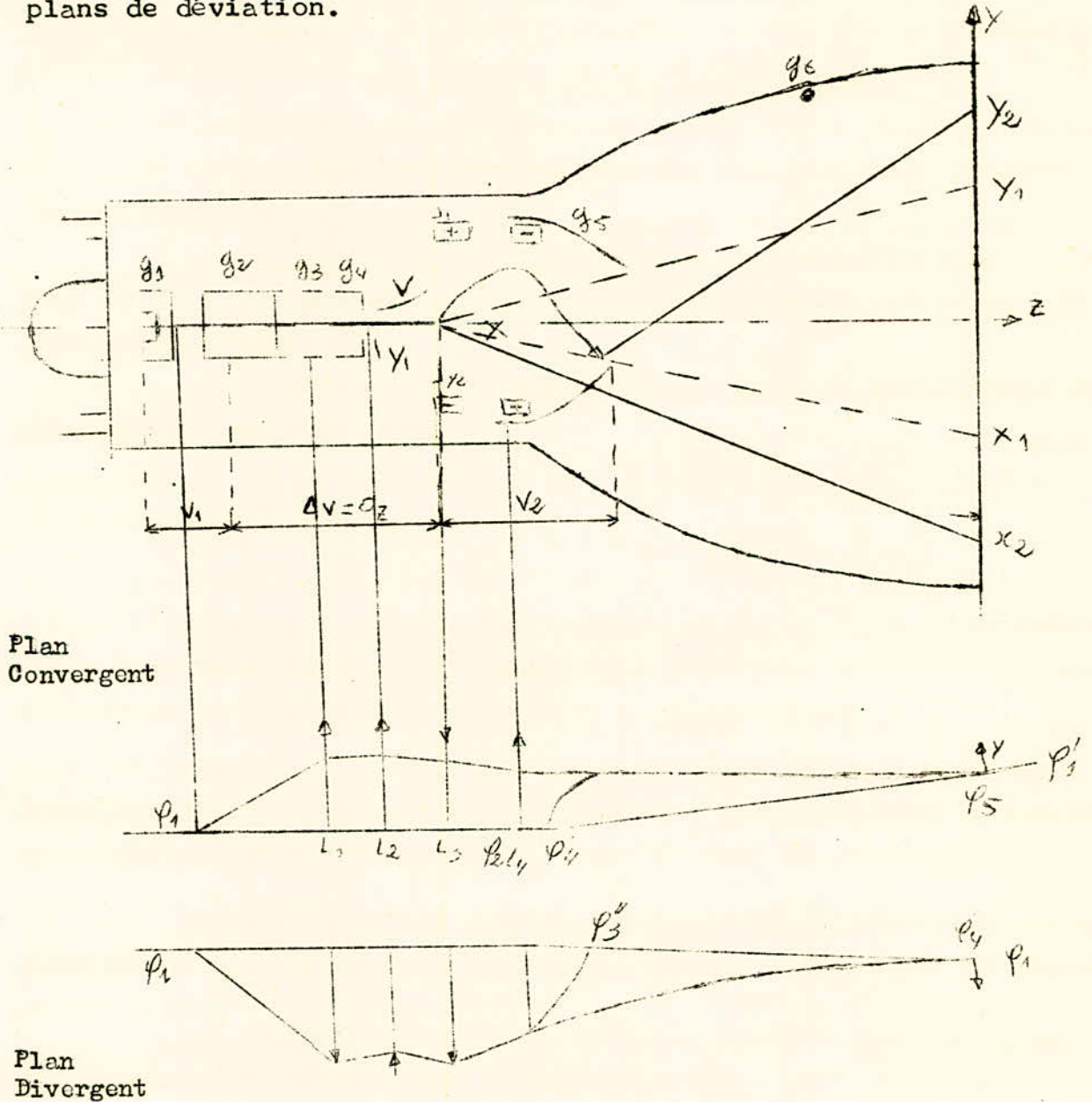
Dans le plan XIZ (partie inférieure de la fig.3), le faisceau subit une seule amplification positive par la lentille J2.

À la suite du quadripole J2 les trajectoires de la déviation verticale croisent le plan horizontal XIZ suivant un segment

.../..

de courbe - ce qui permet de placer une électrode G_5 de forme sphérique et présentant une fente d'axe horizontal. Cette électrode réalise l'équipotentiel V_1 de la post-accélération.

La figure 3 représente également le schéma optique équivalent en lentilles minces du tube pour la formation dans les deux plans de déviation.



Tube cathodique à amplification de déviation par lentille quadrupolaire.

La lentille de post-accélération L_5 est équivalente à une lentille cylindrique fortement convergente dans le plan YLZ et à dioptre cylindrique.

Les lentilles de focalisation L_1 et d'astigmatisme L_2 sont du type classique, cependant dans la conception du canon, on recherche pour L_1 une faible convergence, la focalisation étant assurée le plus possible par les lentilles L_2 et L_3 .

En pratique, le grandissement global spot/cross-over varie de 15 à 20 selon les types de tubes.

Les coefficients d'amplification élevés obtenus M_x et $M_y = 3$ à 3,5 permettent d'atteindre des facteurs de déviation "X" et "Y". Ces caractéristiques à bande passante élevée. Les angles de déviation étant relativement grands, les tubes ainsi réalisés présentent un encombrement réduit caractéristique particulièrement importantes pour les oscilloscopes portables. L'électrode de post-accélération n'interceptant pas le faisceau, le contraste et la luminance sont améliorés.

III- DEVIATION VERTICALE.

Les plaques de déviation classique sont utilisées jusqu'à des fréquences de 100 MHz. Lorsqu'elles sont très courtes, la déviation décroît comme $\text{SIN } \frac{\omega T}{\omega T}$ (T temps de transit des électrons dans le déviateur).

On utilise alors un déviateur à ligne à retard conçu de telle sorte que la vitesse de propagation du signal suivant l'axe Z soit égale à la vitesse des électrons du faisceau. Les lignes à retard peuvent être asymétriques ou symétriques. Compte tenu de la grande surface utile et des problèmes liés à la réalisation des amplificateurs, les lignes symétriques sont utilisées.

a) Lignes à retard asymétrique.

Nous avons trois types de lignes à retard asymétrique présentant des bandes passantes supérieures à 1 GHz.

1)- La ligne en zig-zag ou à méandres.

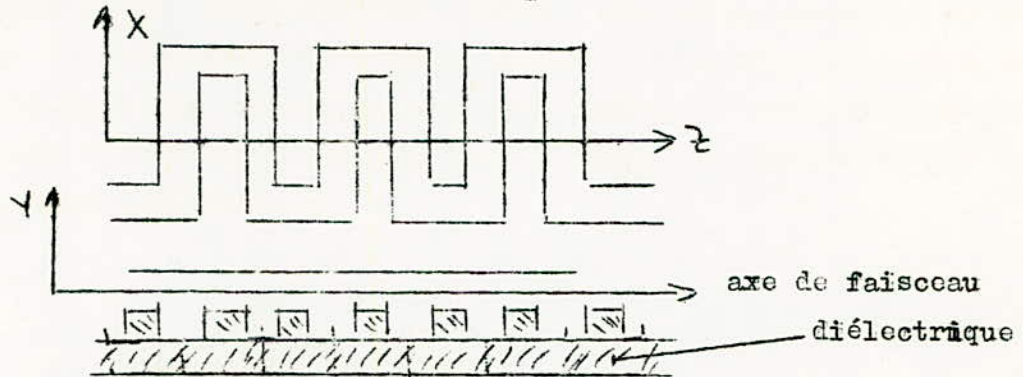
Cette ligne permet d'obtenir une bande passante de plusieurs GHz. Cependant le temps de montée intrinsèque est supérieur à celui correspondant au temps de transit d'une cellule élémentaire par suite du couplage important existant entre les cellules successives.

Une expression du temps de montée en fonction du nombre de cellules n'est :-

$$\tau = \frac{0,8T}{\sqrt{n}}$$

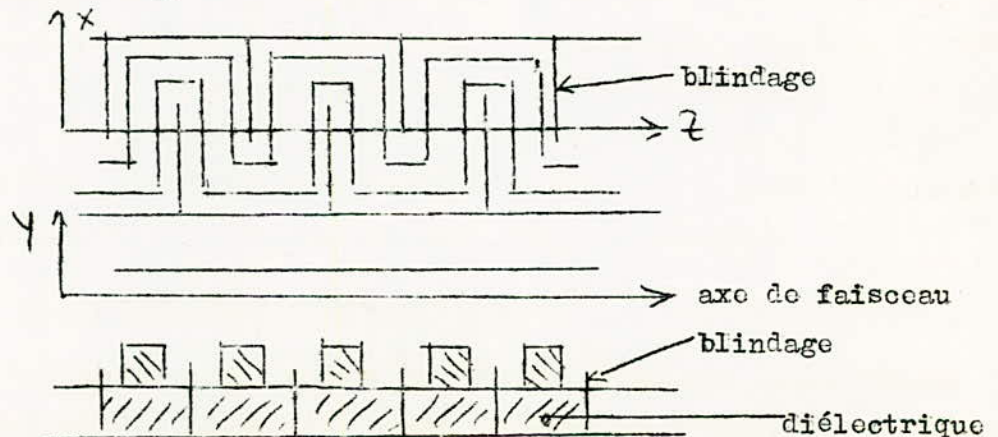
(T : temps de transit total).

La bande passante équivalente, déduite de la relation : $\Delta F \tau = 0,35$. permet de dépasser 1 GHz.



2)- La ligne en zig-zag avec blindage.

L'introduction d'un blindage entre méandres permet de réduire le couplage entre cellules. Le temps de montée se rapproche de l'expression théorique : $\tau = \frac{0,8T}{n}$ est la bande passante atteint plusieurs GHz.



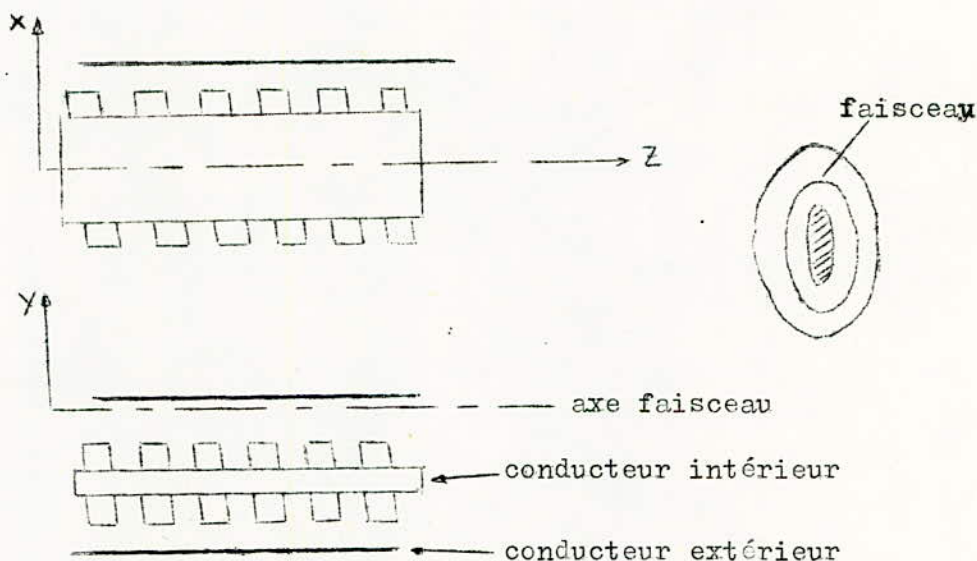
Ligne en zig-zag avec blindage.

3)- La ligne en hélice.

Cette ligne possède des caractéristiques intéressantes. Le couplage entre spires étant réduit par la présence de conducteur de retour à l'intérieur et à l'extérieur de l'hélice.

Le temps de montée intrinsèque est pratiquement celui correspondant au temps de transit d'une spire: $\tau = \frac{0,8T}{n}$ et la bande passante est de l'ordre de 4 à 5 GHz.

Cette structure ne peut pas être utilisée directement en version ligne symétrique par suite de la présence de conducteur extérieur.



Ligne en hélice.

b) Ligne à retard à hélice symétrique.

La ligne est constituée de deux hélices symétriques. La distance entre celles-ci étant croissante de l'entrée vers la sortie.

Le temps de montée intrinsèque de la ligne est de la forme $\tau = \frac{0,8T}{nk}$ avec $0,5 < k < 1$ - Fonction du couplage entre spires.

La bande passante équivalente peut être supérieure à 1 GHz - La réponse en fréquence de la ligne est exprimée par la relation :-

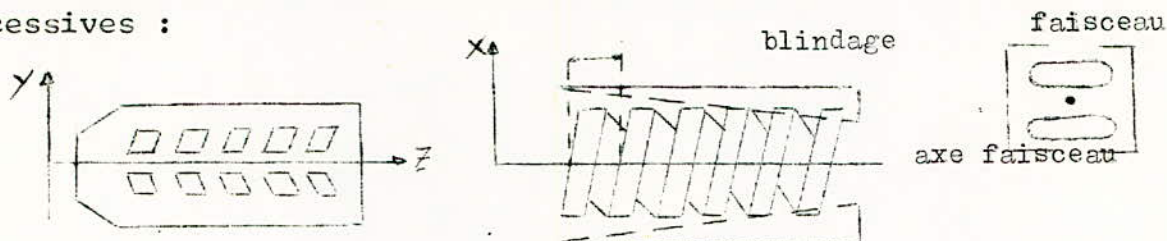
$$\frac{Y(f)}{Y_0} = \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{0,8T}{nk}$$

On suppose que la ligne est équivalente à n cellules LC (filtre passe-bas).

La réponse est exprimée par une autre relation :-

$$\frac{Y(f)}{Y_0} = \left(\frac{\sin \pi f \delta_1}{\pi f \delta_1} \right)^m \quad \text{avec} \quad \delta_1 = \frac{C_1 8T}{n}$$

cette expression ne tient pas compte du couplage entre spires successives :



IV- LA VITESSE D'INSCRIPTION.

La vitesse d'inscription est une caractéristique importante pour les tubes cathodiques rapides. Elle dépend de nombreux paramètres qui sont :

- Puissance du faisceau P .
- Rendement de conversion de l'écran R .
- Diamètre du spot φ .
- Caractéristique de la caméra d'enregistrement et du film.
 - . T_0 coefficient de transmission de l'objectif.
 - . N ouverture numérique de l'objectif.
 - . m grandissement.
 - . H_e exposition énergétique minimale nécessaire sur le film.

Limitée par la seule charge d'espace, la vitesse d'inscription maximale est :-

$$V_M = K V^{5/2} \Theta^{3/2} \varphi^{-1} \quad \text{avec} \quad \Theta = \text{demi angle du faisceau arrivant sur l'écran.}$$

Les expressions de la vitesse d'inscription réelles sont:

$$V_y = K V I \varphi^{-1}$$

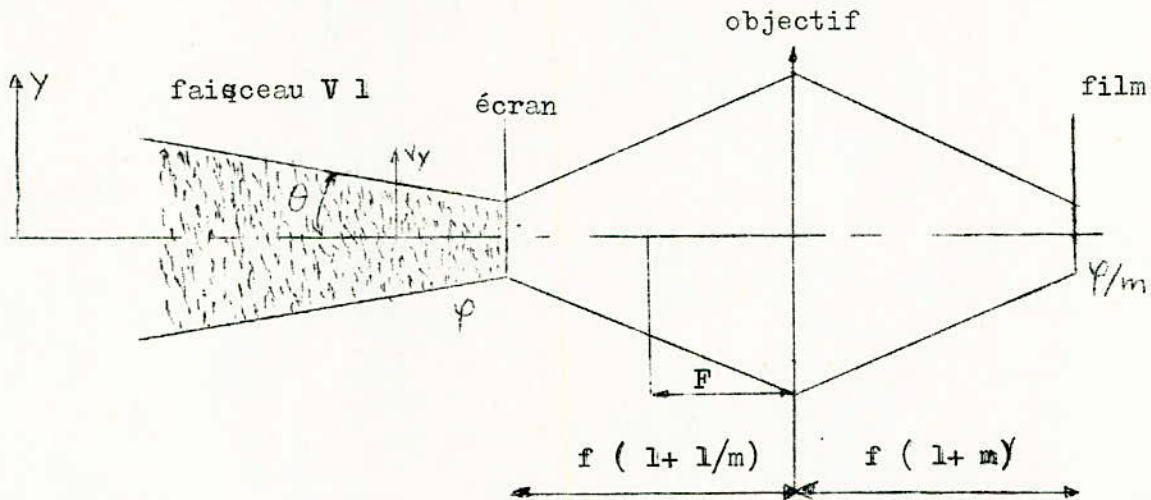
et en introduisant les paramètres cités, on a :-

$$V_y = \frac{1}{4} R V I \varphi^{-1} T_0 N^{-2} (1+m)^{-2} H_e^{-1}$$

.../...

précisons qu'il existe une valeur optimale du grandissement m en fonction du rapport diamètre de spot/dimension du grain du film :

. La valeur $m = 0,5$ est la plus couramment employée, elle est optimale pour un rapport $\varphi/\theta = 3 \text{ à } 5$



Vitesse d'inscription maximale théorique :

$$V_m = K v^{5/2} \theta^{3/2} \varphi^{-1}$$

(limitation d'espace)

Vitesse d'inscription réelle :

$$V_y = K v \varphi^{-1}$$

$$V_y = \frac{1}{4} R v \varphi^{-1} T_0 N^{-2} (1+m)^{-2} H_e^{-1}$$

k : coefficient caractérisant l'écran, la caméra et le film.

R : Rendement de conversion de l'écran.

T_0 : Coefficient de transmission de l'objectif.

N : Ouverture numérique de l'objectif.

m : Grandissement.

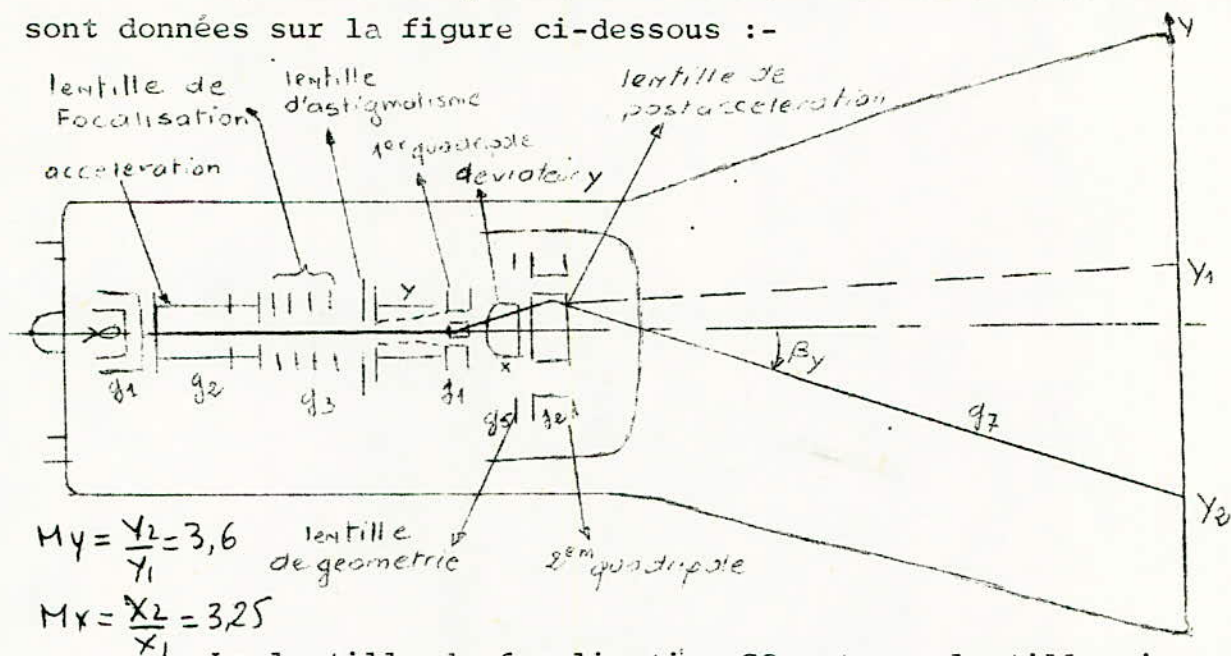
H_e : Exposition énergétique minimale nécessaire sur le film.

.../..

V- EXEMPLE : LE TUBE CATHODIQUE TH 8203.

1) Description et caractéristiques :

La structure générale et les dimensions du tube TH 8203 sont données sur la figure ci-dessous :-



La lentille de focalisation G3 est une lentille mince.

La lentille d'astigmatisme G4 devant avoir une action importante est réalisée par un diaphragme à ouverture rectangulaire afin de ne pas faire intervenir l'entrée de ligne dans cette lentille.

Le premier quadripôle n'intervenant que dans le plan vertical, présente des électrodes à section rectiligne.

La correction de la distorsion géométrique est réalisée au moyen d'une électrode G5 placée entre les plaques X et le second quadripôle.

La ligne à retard est constituée de deux hélices symétriques avec blindage de compensation.

Les caractéristiques et les performances électrooptiques

du tube sont résumées ci-dessous :

Point de fonctionnement ($V_{g2}=0$)

Tension d'accélération $V_{A1} = -V_{A2} = -2 \text{ Kv}$

Tension de post-accélération

$$V_{g3} = V_{g4} = 22 \text{ Kv}$$

Tension moyenne d'excitation des lentilles :

Focalisation $V_{g3} = 1,8 \text{ Kv}$

Astigmatisme $V_{g4} = 250 \text{ V}$

Géométrie $V_{g5} = 0 \text{ V}$

Premier quadripôle ($V_{g1x} = 125 \text{ V}$
($V_{g1y} = 0 \text{ V}$)

Second quadripôle ($V_{g2x} = 675 \text{ V}$
($V_{g2y} = -125 \text{ V}$)

Caractéristiques nominales.

Facteur de déviation ($K_x = 6 \text{ V/cm}$
($K_y = 1,2 \text{ V/cm}$)

Coefficient d'amplification ($M_y = 3,5$
($M_x = 3,25$)

Impédance caractéristique $Z_y = 2 \times 130 \Omega$

Temps de transit total $T = 1,4 \text{ ns}$

Temps de montée intrinsèque $\tau = 0,28 \text{ ns}$

Bande passante équivalente

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta F = 1,25 \text{ GHz} \text{ à } 3 \text{ dB} \\ \Delta F = 0,86 \text{ GHz} \text{ à } 1 \text{ dB} \end{array} \right.$$

Vitesse d'inscription $v = 3 \text{ cm/ns}$

Résolution $\varphi = 0,3 \text{ à } 0,4 \text{ mm}$

Angle de déviation ($\theta_{\beta x} = 30$
($\theta_{\beta y} = 26$)

Sur face utile $2 \times 0 \times 2 \text{ V}_0 = 100 \times 80 \text{ mm}^2$

Encombrement $L = 370 \text{ mm}$.

Film 10 000 ASA $N=1,2$ $m = 0,5$
Ecran P11

2) Conclusion.

La réalisation d'un tube cathodique présentant simultanément :

- Une bande passante de 1 GHz pour un affaiblissement inférieur à 1 dB.
- Un temps de montée intrinsèque de 0,2 ns.
- Un facteur de déviation "Y" de 1 à 1,5 V/CM.
- Une surface utile de $80 \times 100 \text{ mm}^2$.
- Une longueur totale de 40 cm environ.

est possible à partir de la solution utilisée pour le tube.

.../..

Nous terminons en mentionnant d'autres types de tubes cathodiques plus spécialement destinés à l'enregistrement photographique.

-Le tube équipé d'une sortie sur fibre optique qui permet un couplage optique direct tube-film.

-Le tube équipé d'un multiplicateur d'électrons à micro canaux. Cette structure de tube procure un gain en vitesse d'inscription élevé, mais sa mise en oeuvre est complexe et le coût d'un multiplicateur de grandes dimensions est actuellement très élevé. Il existe enfin d'autres tubes que nous allons définir.

oOo

.../..

- I - Structure et technologie
- II - Tube de Williams
- III - Tube à grille d'arrêt
- IV - Principe d'inscription et de lecture
- V - Tube à grille barrière
- VI - Tube à faisceau d'entretien
- VII - Le sélectron de la RCA
- VIII - Tube à mémoire à vision directe
- IX - Tube bistable à mémoire dans l'écran

oOo

B I B L I O G R A P H I E

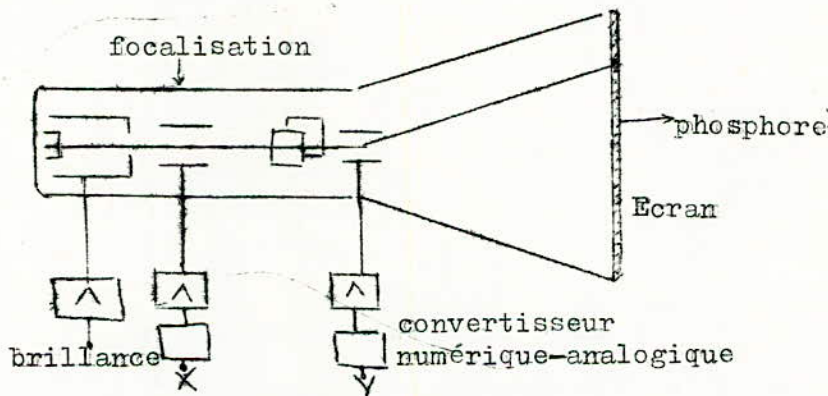
- H. BOUCHER : Organisation et fonctionnement des machines arithmétiques.
Ed. MASSON
- A PROFIT : Structure et technologie des ordinateurs .
Ed. ARMAND COLLIN
- : L'onde électrique
Volume 56 N° 3.

B - TUBES CATHODIQUES A MEMOIRE

I) Structure et technologie

Les tubes cathodiques utilisés sont de type voisin des tubes pour oscilloscope ou télévision. Si le calculateur fournit les signaux destinés à commander la déflexion du faisceau électronique et la brillance de la tache lumineuse, il est possible d'obtenir sur l'écran une image créée par programme et symbolisent le message à faire passer du calculateur à l'utilisateur.

A chaque instant le calculateur fournit les coordonnées x et y du point lumineux et sa brillance en général réduite à 2 niveaux : obscur et lumineux et éventuellement un second niveau de luminosité pour souligner certaines fractions d'image.



La solution la plus simple consiste à utiliser le balayage télé et à débloquer le faisceau aux instants nécessaires à l'inscription du dessin ou des caractères. Ceci suppose que l'image est codée sous forme d'environ 10^6 points ce qui représente un volume de mémoire important et coûteux.

On préfère commander directement le faisceau en abscisse et en ordonnée de façon à me décrire que les parties lumineuses de l'image (balayage dit cavalier).

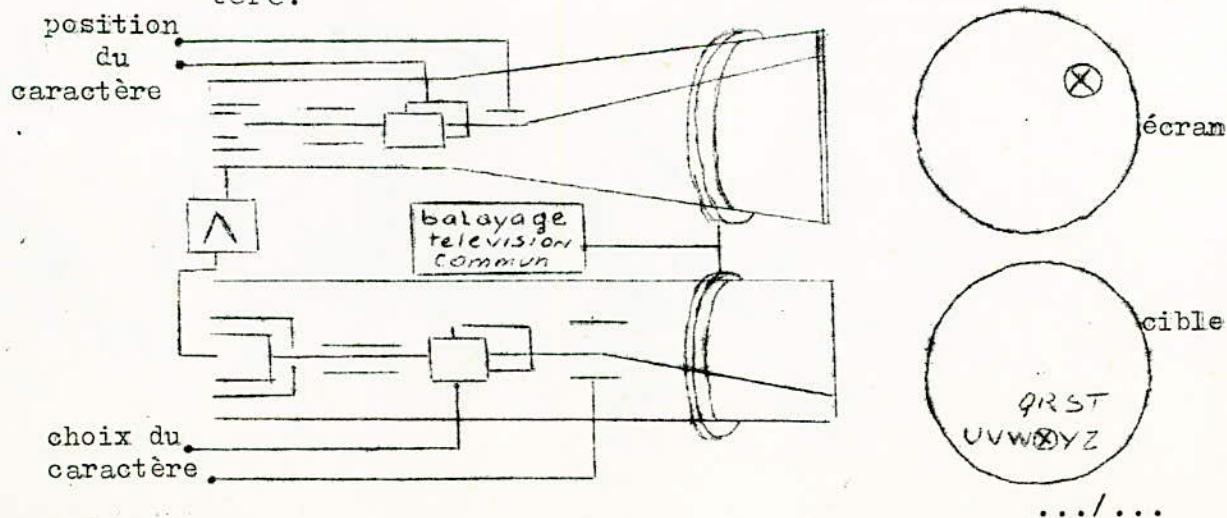
La persistance lumineuse du phosphore qui garnit l'image est limitée si l'on veut obtenir une trace suffisamment lumineuse.

Pour décharger le calculateur d'un certain nombre de travaux et pour condenser le codage des images mises en mémoire on incorpore au dispositif de visualisation un générateur de caractères : la commande du tube comporte les coordonnées du caractère à écrire.

Après avoir amené le faisceau lumineux au point désigné, le générateur de caractères prend en charge le balayage local destiné à dessiner le caractère.

Ces deux balayages peuvent-être obtenus par des procédés différents.

- Utilisation d'un réseau de diodes ou de resistances de finissant les vecteurs successifs à décrire pour aboutir au dessin voulu. Les caractères doivent-être simplifiés pour être inscrits à l'aide d'une grille de vecteurs simple.
- Utilisation du tube vidicon; la cible de ce tube est gravée à l'aide du repertoire choisi. La designation du caractère à écrire permet de choisir la zone de cible où se trouve écrit le caractère voulu, puis un balayage télé autour de ce point forme le signal de luminance correspondant qui est appliqué à la commande de luminance du tube image en même temps qu'un balayage télé local de ce 2ème tube permet de décrire la zone où va s'afficher le caractère.



(schéma sur page précédente)

Génération de caractère par tube vidicon

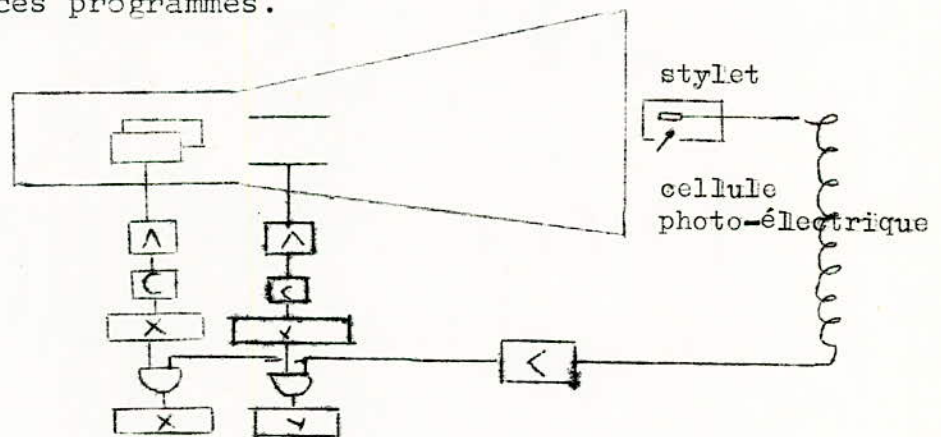
Le caractère créé peut avoir 1 forme quelconque, mais il n'est pas possible de modifier ultérieurement un caractère du repertoire initial. Certains tubes de visualisation spéciaux permettent la représentation simultanée de deux dessins indépendants sur le même écran par l'intermédiaire de deux canons différents.

Il est nécessaire de fournir à l'opérateur la possibilité d'envoyer des messages au calculateur; l'utilisation d'un crayon à lumière (light-pen) permet de designer un point quelconque de l'image à l'aide de la pointe d'un stylet électronique.

Ce stylet contient une cellule photo-electrique qui est excitée par la brillance de l'image lorsque l'opérateur place le stylet en face d'un point de l'image.

On peut prévoir que l'impulsion recueillie déclenche le transfert dans un registre spécial lisible par le calculateur du contenu des registres servant à commander la position du faisceau.

A partir de ces coordonnées, le programme du calculateur peut interpréter la réponse de l'opérateur. Des programmes spéciaux de poursuite du mouvement du stylet peuvent-être écrits de façon à permettre le tracé manuel sur l'écran. La difficulté reside dans l'établissement de ces programmes.



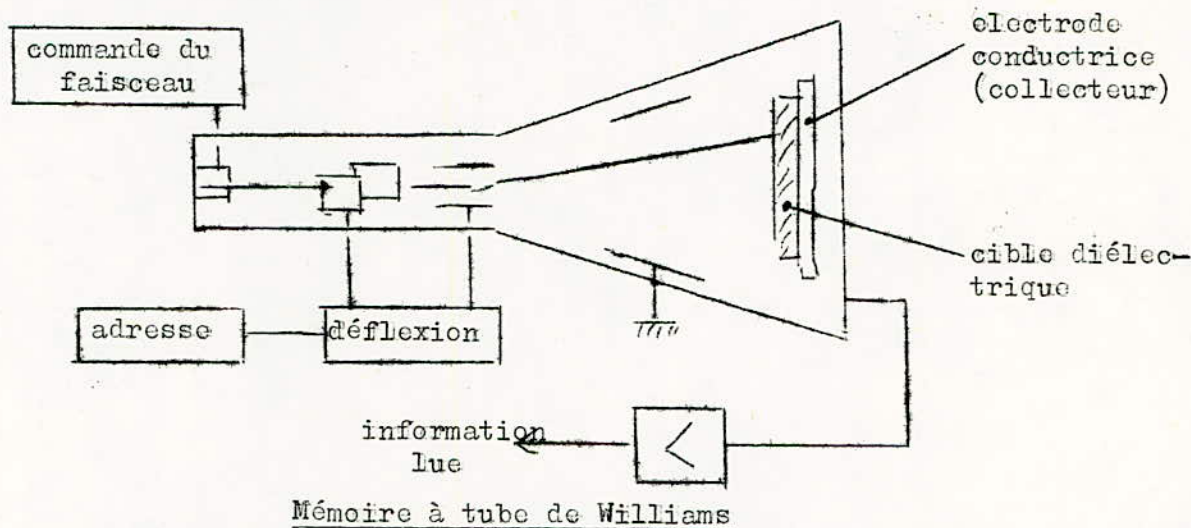
Le mouvement du faisceau du tube sert à balayer successivement les différentes cellules de mémoire constituant la surface de la cible du tube.

.../...

(schéma sur la page précédents)

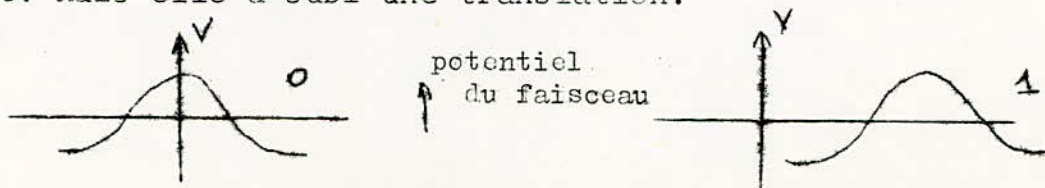
II) Tube de williams

Il comporte à la place de l'écran une cible isolante dont la face arrière est revêtue d'une électrode métallique. La surface est divisée en cases correspondant chacune à une cellule de mémoire. Pour écrire ou lire une information dans l'une des cellules le faisceau du tube est dirigé sur cette case en appliquant les tensions appropriées aux plaques de déflection.



Si partant d'un état neutre de la cible, le faisceau est débloquenté par un échelon de tension appliqué au wehnelt, la cellule choisie de la cible reçoit les électrons du faisceau accélérés avec une énergie suffisante pour provoquer la création d'électrons secondaires arrachés à la cible en nombre plus grand que le nombre d'électrons reçus.

Cette distribution de potentiels est conservée si le faisceau est coupé avant d'avoir été déplacé. Si le faisceau est coupé après avoir subi un déplacement par rapport à sa position théorique, il apparaît un potentiel négatif sur la cible du centre de la cellule: la distribution des potentiels a sensiblement la même forme que précédemment. Mais elle a subi une translation.



(courbes page précédente)

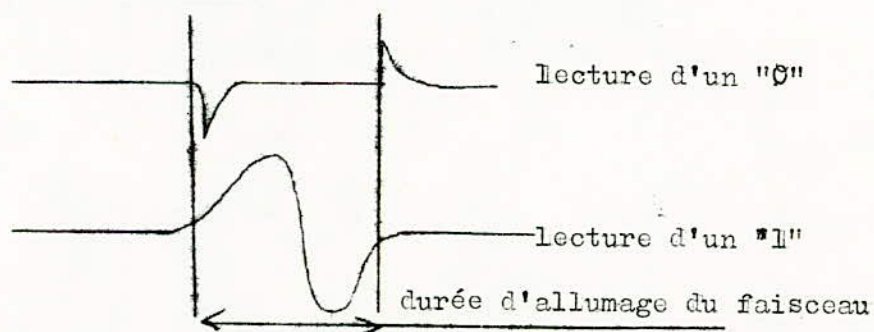
Distribution des charges pour l'enregistrement d'un 0 et d'un 1

La première configuration représente un 0 et la deuxième un 1. Ainsi le zero se trouve représenté par une tache ponctuelle sur la cible alors que le 1 correspond à 1 trait allongé ou à une tache beaucoup plus étalée.

Pour lire l'information écrite, on utilise le faisceau du tube en recueillant le signal produit au moment du déblocage du faisceau, sur une électrode conductrice déposée à l'arrière de la cible.

Lorsque le faisceau déblocqué touche une zone de la cible où a été inscrit un 0, la charge positive de la cible s'annule et il y a excès d'électrons au voisinage de la cible, on a sur l'électrode une impulsion négative puis une impulsion positive au moment où le faisceau est coupé.

Au contraire, si la zone lue contenait un 1, le faisceau rétablit une distribution des potentiels identique à celle d'un zero et il en résulte l'apparition d'une impulsion positive suivie d'une impulsion négative due à la retombée sur la cible d'électrons créés par émission secondaire.



Ainsi, le faisceau du tube permet la lecture du contenu d'une case de mémoire, mais le processus est destructif. Toute case de mémoire contient après lecture un 0 et il est nécessaire de régénérer l'information, opération pouvant être effectuée après lecture.

La régénération de l'information est indispensable après chaque lecture, en effet les charges à la surface de la cible ont tendance à s'égaliser et par ailleurs, la lecture d'une cellule de mémoire perturbe toujours l'état des cellules voisines.

.../...

Il n'est pas possible d'effectuer plus d'une cinquantaine de lectures d'un même point sans régénérer le contenu des points voisins.

Les principales difficultés de réalisation d'une mémoire sont :

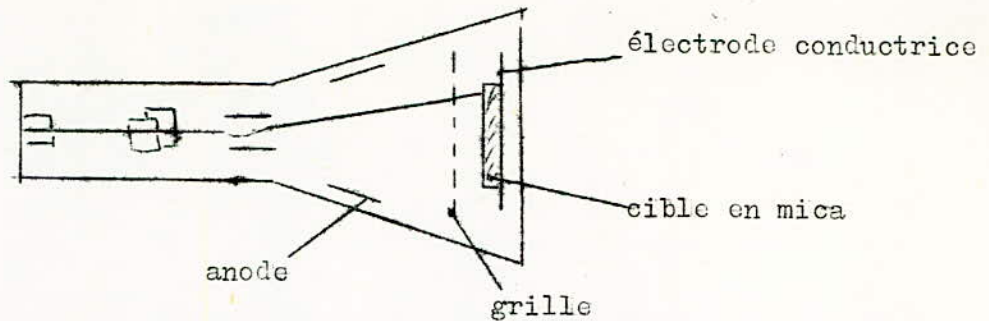
- réalisation d'une cible diélectrique présentant un bon isolement et ayant très peu d'irrégularités de structure de façon à obtenir un taux d'émission secondaire aussi régulier que possible.
- réalisation d'une électrode conductrice sous forme d'un grillage fin permettant le passage de la lumière, on obtient ainsi une visualisation du contenu de la mémoire sur l'écran du tube.
- focalisation étroite du faisceau électronique, meilleure que celle nécessaire à un écran d'observation sous une tension d'accélération peu élevée, une tension d'accélération élevée accentuerait l'effet des irrégularités de la cible.
- stabilisation du système de déflection.

III) Tubes à grille d'arrêt

Ils dérivent du tube Williams par l'adjonction de 2 électrodes supplémentaires :

- une anode accélératrice placée avant la cible et portée à un potentiel positif/cible (+ 250 v).
- une grille à mailles très fines placée devant la cible portée au potentiel de la masse

Le rôle de l'anode accélératrice est de créer un champ électrique qui augmente le taux d'émission des électrons secondaires de la cible formés par le faisceau. Le rôle de la grille est d'empêcher les électrons secondaires de retomber sur la cible au voisinage de la cellule frappée par le faisceau.



Le procédé d'écriture est différent de celui utilisé pour le tube de williams. Lorsque le faisceau, accéléré par le potentiel négatif de la cathode, frappe la cible sans que le potentiel de l'anode ait été modifié, les électrons qui le constituent donnent naissance à des électrons secondaires qui sont captés soit par le collecteur soit par la grille. Le potentiel de la cible frappée par le faisceau atteint alors un état d'équilibre positif.

Par contre si, au moment où le faisceau est débloqué la plaque arrière est portée à un potentiel négatif, le point d'équilibre atteint n'est plus le même, les électrons sont repoussés par la plaque arrière, le potentiel atteint est plus positif.

On a ainsi, la possibilité d'atteindre deux états d'équilibre distincts et agissant sur le potentiel de la plaque arrière, on convient que le premier représente l'information 0 et le second l'information 1.

Pour lire une cellule de mémoire on dirige sur cette cellule le faisceau du tube en laissant à la masse le potentiel de la plaque arrière et on observe le signal recueilli soit sur l'anode collectrice soit sur l'électrode arrière. Lorsque le contenu de la cellule est 0 l'état d'équilibre de la cible n'est pas modifié et aucun signal n'apparaît sur la plaque arrière. Mais si la cellule contient un 1, un plus grand nombre d'électrons doit être fourni à la cible, une impulsion négative apparaît sur l'électrode arrière et le courant collecteur reçu par l'anode présente une pointe positive.

Dans le domaine de l'électronique les tubes avancent à grands pas, ces derniers sont moins utilisés, pour être remplacés par des tubes plus performants nous passerons en revue les divers types de mémoires qui ont fait l'objet de réalisation pratique.

.../...

IV) Principe d'inscription et de lecture

Lorsqu'un faisceau d'électrons vient frapper l'écran d'un tube cathodique il y a absorption des électrons primaires et simultanément émission d'électrons secondaires arrachés au diélectrique qui constitue l'écran.

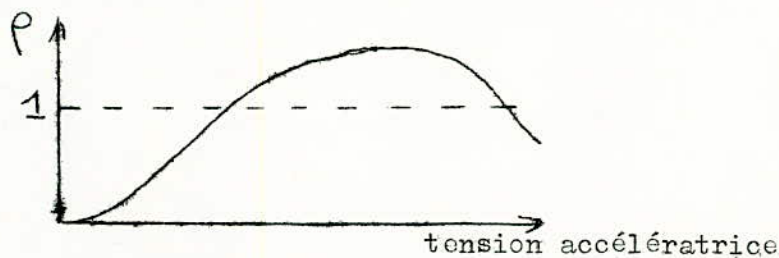
Le rapport entre le nombre d'électrons reemis et le nombre d'électrons reçus est une fonction représentée dans la figure qui suivra.

Quand ce rapport est plus grand que 1, une charge positive se forme au point de l'écran touché par le faisceau ; si la matière constituant l'écran est un diélectrique suffisamment bon cette charge va demeurer en place pendant un bon moment. On utilise cette propriété pour constituer une mémoire.

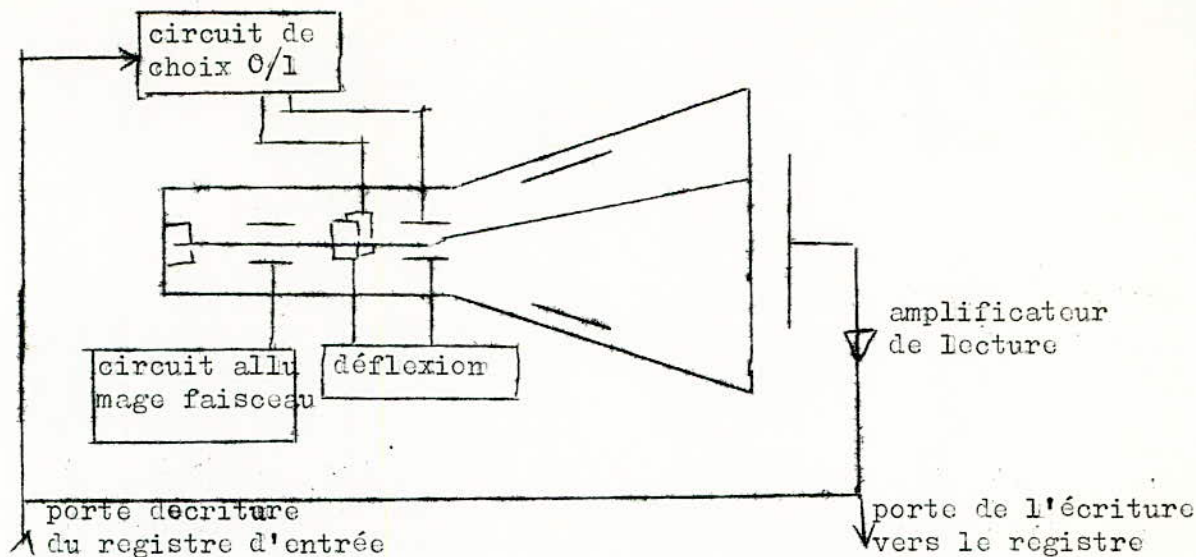
Ainsi l'écran du tube sera considéré comme divisé en fractions virtuelles affectées chacune a une position de mémoire.

Dans chacune de ces petites surfaces il s'agit de placer une charge de telle façon que :

- 1°) On puisse distinguer le 1 du 0
- 2°) On puisse lire ce qui a été inscrit.



Le choix de la surface élémentaire à utiliser résultera d'une deflexion convenable du pinceau lequel constitue à la fois le moyen de déposer les charges et le moyen de consulter la mémoire.



Considerons un tube cathodique soumis à un potentiel d'accélération tel que le rapport ρ soit supérieur à 1 et bloqué par un potentiel approprié du Wehnelt allumons le faisceau.

Au point frappé, le départ des électrons secondaires abaisse le nombre des charges négatives et le potentiel s'élève, tandis qu'autour de ce point la retombée d'une partie des électrons secondaires provoque un potentiel négatif.

Eteignons le faisceau ; la distribution de potentiel autour du point frappé ne changera pas immédiatement, puisque le matériau constituant l'écran est un isolant. Si on rallume le faisceau pour une lecture suivante la brusque apparition d'un excédent d'électrons (ceux du faisceau) au voisinage du point d'impact, provoquera dans la plaque extérieure, par effet capacitif, une baisse de potentiel qui pourra être décelée et exploitée.

Pour bien saisir le fonctionnement d'une mémoire électrostatique. Nous allons décrire en détail les opérations de lecture, puis d'inscription sur un tube utilisant le système point-trait.

- 1°) Au départ, le faisceau est éteint et sur l'écran, un certain nombre de bits sont stockés. Le calculateur appelle la mémoire et ordonne une lecture à l'emplacement.

.../...

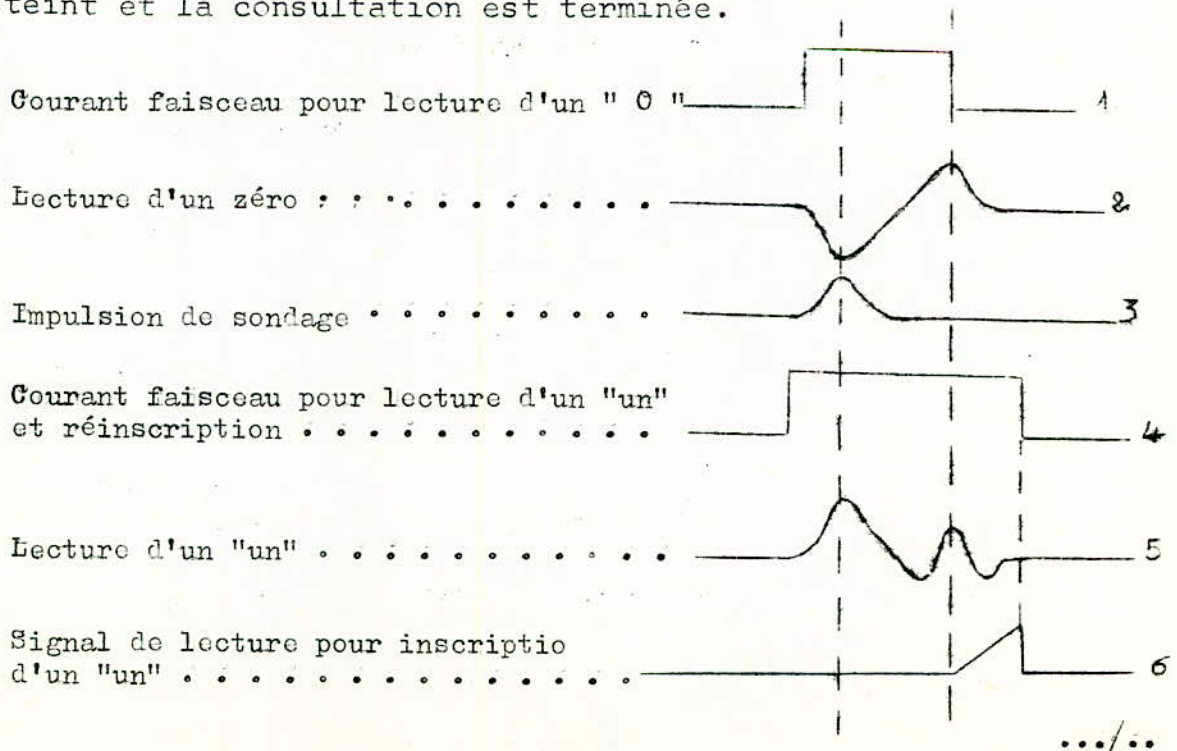
2°) Le faisceau reste éteint et les potentiels de déflection s'établissent dans les plaques de façon que le spot, lorsqu'il apparaîtra, se trouve sur l'emplacement N qui est défini par une coordonnée verticale y et une coordonnée horizontale X sur l'écran.

Ceci explique que les tubes à deflexion electrostatique, ne consomment que peu de courant pour leur commande et ont un temps de réponse du faisceau bien moindre que les tubes à deflexion par bobines magnetiques.

3°) Le faisceau s'allume et se fixe à l'intensité réglée. Dans l'electrode externe se produit une variation de potentiel caractéristique de l'information stockée, soit ci-après (2) ou (5).

Ce signal est amplifié, et sa partie plus significative prélevée pour examen dans un tube à coincidence débloqué par l'impulsion (3).

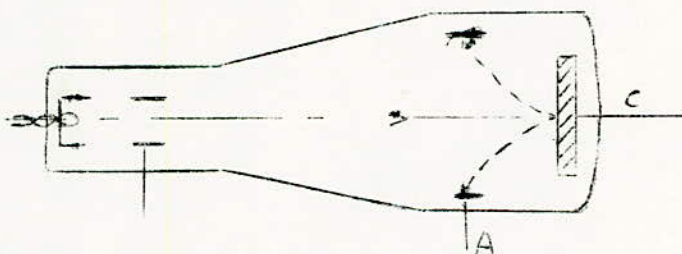
Si le signal s'avère négatif, l'information stockée était un 0 et n'a pas été modifiée par l'allumage du faisceau. Celui-ci s'éteint et la consultation est terminée.



- 4°) Si le signal s'avère positif, l'information stockée était un 1 et comme il a été effacé, il faut reinscrire. Le faisceau est allumé, et une petite dent de scie (6) vient se superposer à l'un des potentiels de déflexion déplaçant le spot d'un diamètre. Le faisceau s'éteint, et un 1 reste stocké en vue de la prochaine lecture.
- 5°) Pour inscrire, le processus précédent reste valable. Mais, au lieu de reinscrire le signal lu, on se contente de ne pas s'en servir et de commander, ou non, la phase 4 précédente selon l'information à stocker. Le cycle de lecture-inscription dure, de 8 à 16 microsecondes.

V) Tubes à grille barrière

1) Description et caractéristiques



Un canon à électrons, une anode accélératrice A, une cible C, portée à un potentiel tel que le rapport ρ soit supérieur à 1.

On a en outre $V_a > V_c$, au début de sorte que tous les électrons secondaires sont absorbés par l'anode et que le potentiel de C croît.

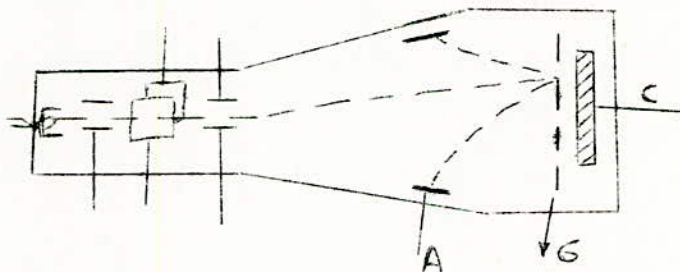
Cela augmente le nombre des électrons secondaires émis, mais en même temps une partie d'entre-eux commence à retomber sur la cible. Finalement, il s'établit un état d'équilibre caractérisé par V_c légèrement inférieur à V_a et par un coefficient apparent ρ égal à 1.

.../...

Si la charge ne diffusait pas, si les électrons secondaires retombaient sur la cible exactement là où ils sont émis, ce tube pourrait constituer une mémoire utilisable de la même façon que dans le tube Williams : Mais plus sûre et plus dense.

Mais la retombée des électrons se fait aussi bien sur la position émettrice que sur ses voisines, de sorte que chaque inscription modifie les positions voisines.

On y remédia en introduisant une fine grille, placée près de la cible et jouent un effet retardateur pour obliger les électrons qui retombent, à le faire au voisinage de position émettrice cette grille a donné son nom au tube.



1°) ECRITURE

Le faisceau étant fixé depuis un certain temps sur un emplacement défini de la cible les électrons secondaires ont progressivement ramené la face avant du mica au potentiel qui correspond à $p = 1$ où un équilibre s'établit c'est l'état 0.

Pour écrire un 1, on applique alors à la plaque métallique C une brusque augmentation de potentiel. Par suite de l'effet de capacité entre C et la grille le potentiel du mica s'élève, il attire abondamment les électrons secondaires et se charge négativement jusqu'à regagner l'équilibre.

Puis on éteint le faisceau en même temps que le potentiel de la plaque C revient à la valeur d'origine et l'emplacement se trouve porté à un potentiel inférieur à celui de l'équilibre. Cela constitue le stockage d'un 1, on peut faire la convention inverse en changeant le sens des variations de potentiel C au cours du cycle.

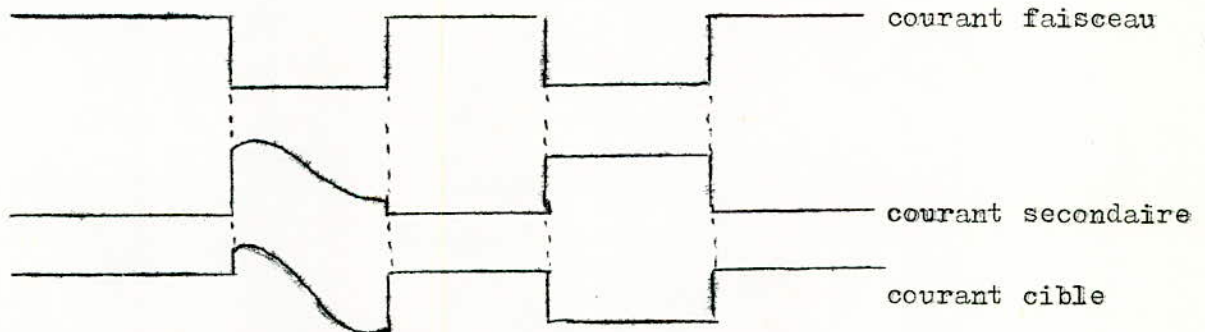
.../...

2°) LECTURE

Pour lire on examine la variation de courant de A ou de C la seconde technique présente l'avantage de conduire à des signaux de sortie de signe contraire selon que l'information stockée était 0 ou 1.

Examinons la lecture sur cible. Pour lire on allume le faisceau sur l'emplacement consulté si l'information stockée était un 0, le potentiel de l'emplacement est celui de l'équilibre et le courant de cible s'établit à la valeur négative totalisée faisceau plus électrons secondaires si c'était un 1, le courant secondaire d'abord important décroît au fur et à mesure que le potentiel de l'emplacement regagne la valeur d'équilibre.

Quant au courant cible il change de signe et cela peut-être détecté aux bornes de la charge la lecture ramène l'emplacement à l'état 0, et il y a lieu de reinscrire.

VI) Tube a faisceau d'entretien

Le tube a faisceau d'entretien est un tube à grille barrière dont la cible est percée de trous et que l'on fait suivre d'une électrode collectrice.

Pour lire on amène la cible au potentiel de la cathode, l'électrode collectrice restant positive. Si le point de la cible frappé par le faisceau était négatif par suite de l'inscription antérieure, il repousse le faisceau, l'électrode collectrice ne reçoit rien.

Si le point frappé n'était pas chargé, le faisceau traverse la cible pour frapper l'électrode collectrice, produisant un courant dans le circuit de celle-ci. Ce système permet une lecture non destructrice très intéressante.

VII) Selection de la PCA (la radio corporation of Americo)

Dans ce tube l'élément de stockage est un oeillet métallique dont le trou central mesure 0,5 mm de \varnothing ; ces oeillets sont disposés en matrice carrée et en face de chacun d'eux se trouve une cathode émettrice.

Le potentiel de 175 volts de l'électrode collectrice maintient sur les oeillets un débit continu d'électrons qui joue le rôle de faisceau d'entretien.

La caractéristique courant-tension des oeillets est telle qu'il n'y ait que deux équilibres stables 0 et 175 volts.

Pour écrire ou lire, on envoie une impulsion négative sur toutes les barres orthogonales du réseau de sélection sauf 2, ce qui ne laisse qu'une fenêtre conductrice face à l'oeillet choisi.

Pour écrire un 1, on porte l'électrode d'écriture à 350 v et l'oeillet qui est couplé capacitivement à l'électrode, la suit. L'augmentation du courant établit alors l'état d'équilibre supérieur, qui se maintient quand l'électrode d'écriture reviendra progressivement à la masse.

Pour écrire un 0, on fait croître le potentiel de l'électrode d'écriture à 350 v assez lentement, et on maintient cette valeur assez longtemps pour que l'oeillet revienne déchargé par le faisceau au potentiel du collecteur.

A ce moment, le potentiel de l'électrode d'écriture est brusquement ramené à 0 volts, entraînant l'oeillet, qui va se trouver à - 175 v et rejoindra progressivement l'état d'équilibre inférieur sous l'action du faisceau d'entretien .

Pour lire le contenu d'un oeillet, une electrode de lecture est portée brusquement de 125 à 225 v au torisant le passage à travers ses trous des electrons qui auraient traversé l'oeillet.

Or, celui-ci ne laissera passer d'electrons que s'il est à l'état + 175 volts.

Le faisceau, n'existe que si l'oeillet contient un 1, va frapper un écran qui rend le stockage visible et donne des electrons secondaires ceux-ci sont collectés par les fils de lecture et le courant correspondant produit dans une resistance 1 impulsion qui sera utilisée pour transmettre un 1.

Le selectron se présente comme un carré plat, de dimensions à choisir selon la capacité de la mémoire.

CONCLUSION

Les mémoires electrostatiques ont marqué un progrès remarquable sur les solutions precedentes. Par contre on leur reproche leur encombrement, leur fragilité (la durée de vie d'un tube mémoire est de l'ordre de 50 à 100 heures).

Dés que les mémoires aussi rapide, mais à l'abri de ces reproches, ont été au point, les tubes electrostatiques ont été abandonnés.

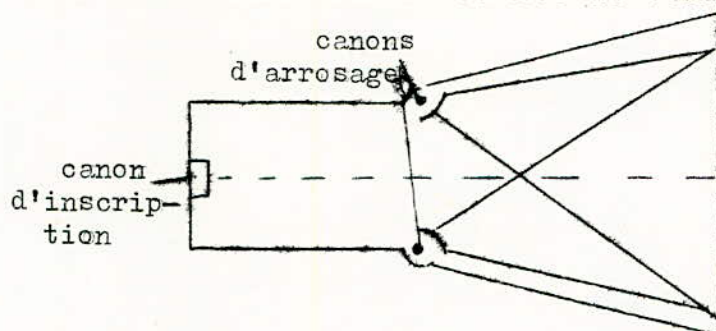
VIII) Tubes a mémoire avision directe

Caractéristiques

- Ils ont un canon d'inscription composable en tout point à ceux qui équipent les tubes à rayons cathodiques de mesure.
- Un ou deux canons de lecture destinés à produire un faisceau large d'electrons à densité uniforme sur toute la surface de l'écran de visualisation. Par suite de la forme particulière de leur faisceau, on appelle souvent ces canons : canon d'arrosage.

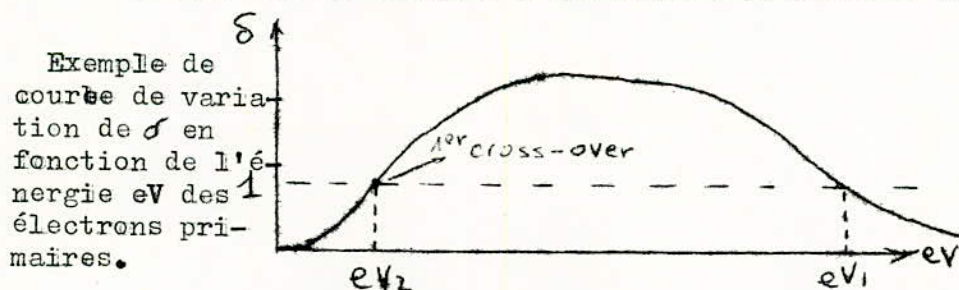
.../...

- Un écran de visualisation
- Une cible d'enregistrement qui est constituée par l'écran de visualisation tous ces éléments sont contenus sous vide dans une en ceinte de verre.



Ce tube à la propriétés de stocker une information inscrite sous forme d'un relief de charges, à la surface d'une couche mince de dielectrique qui constitue la cible d'enregistrement. Ce relief de charge est crée par le bombardement des electrons issus d'un canon d'inscription sous la forme d'un faisceau qui convenablement de fléchi pour balayer la surface désirée de la cible. Il est restitué sous forme lumineuse sur l'écran de visualisation par les electrons issus des canons d'arrosage.

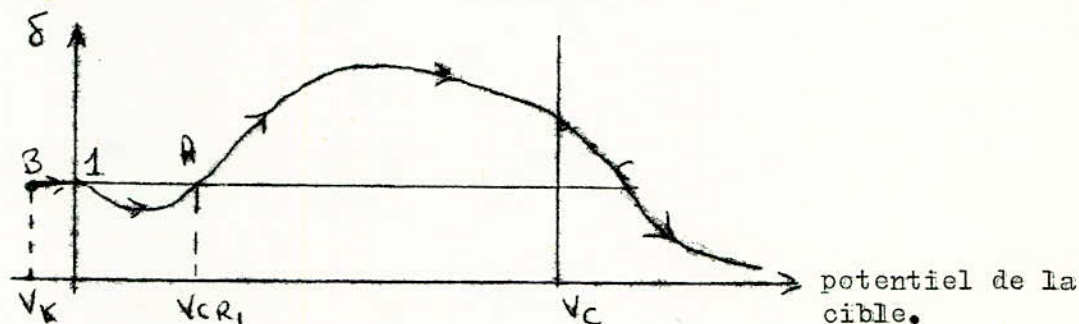
Le dépôt de charges sur la couche mémoire s'effectue grace au fait que tout materiau bombardé par un faisceau electronique emet des electrons secondaires selon le matériau et selon l'energie des electrons incidents (ou electrons primaires). On appelle coefficient d'émission secondaire σ le rapport entre le nombre d'electrons secondaire emis et le nombre d'electrons primaires incidents.



Il existe deux energies eV_1 et eV_2 (premier cross-over et 2e) pour lesquelles le nombre d'electrons primaire et le même que le nombre d'electrons secondaires ($\sigma = 1$).

Les électrons primaires dont les énergies sont respectivement inférieure ou supérieure à ev_1 sont appelés électrons lents ($\sigma < 1$) et électrons rapides ($\sigma > 1$) du fait que dans les tubes à mémoire la cible est un isolant, ce potentiel de la surface bombardée est modifiée par les électrons primaires. Les électrons lents déposant des charges négatives, les électrons rapides des charges positives.

Caractéristique d'émission secondaire en fonction du potentiel de la surface bombardée d'un cible.



Cette courbe est plus significative que l'autre de ce qui se passe réellement dans le tube ici, σ est le rapport entre le nombre d'électrons qui quittent effectivement la surface de la cible et le nombre d'électrons primaires.

Le point A de la courbe (premier cross-over) correspond à un potentiel initial. En effet départ et d'autre de ce potentiel les électrons primaires chargent la cible négativement ou positivement.

Du côté négatif, la cible atteint un potentiel d'équilibre (point stable B) voisin de celui de la cathode d'où proviennent les électrons primaires, ceux-ci ne tombent plus sur la cible qui les repousse en totalité et $\sigma = 1$.

Du côté positif, le potentiel de la cible peut s'élever jusqu'à ce que l'énergie de bombardement des électrons primaires atteigne celle du deuxième cross-over.

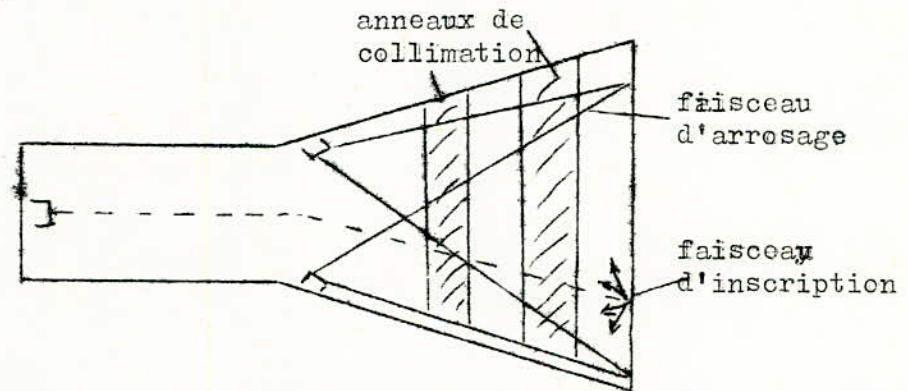
Cependant, en général les électrons secondaires sont collectés par une électrode (collecteur) dont le potentiel est relativement peu élevé lorsque le potentiel de la cible devient proche de celui du collecteur, une partie des électrons secondaires retombent sur la cible et à l'équilibre (point stable) $\sigma = 1$/...

La forme de la caractéristique au voisinage des points B et C est due aux lois de répartition des énergies des électrons primaires issus de la cathode et des électrons secondaires émis par la cible.

IX) Tube bistable à mémoire dans l'écran

1) Description

Dans ce tube la poudre lumineuse de l'écran de visualisation joue également le rôle de cible mémoire. Les grains de poudre sont déposés sur un support conducteur transparent qui sert de collecteur pour les électrons secondaires les canons d'arrosage bombardent en permanence la surface de l'écran, dont le support conducteur peut-être commuté à différentes tensions selon les modes de fonctionnement.



2) Mode mémoire

Le potentiel du collecteur suffisamment positif, le potentiel de la surface de l'écran peut prendre deux valeurs stables selon qu'elle est bombardée par les électrons lents ou par des électrons rapides (fonctionnement bistable).

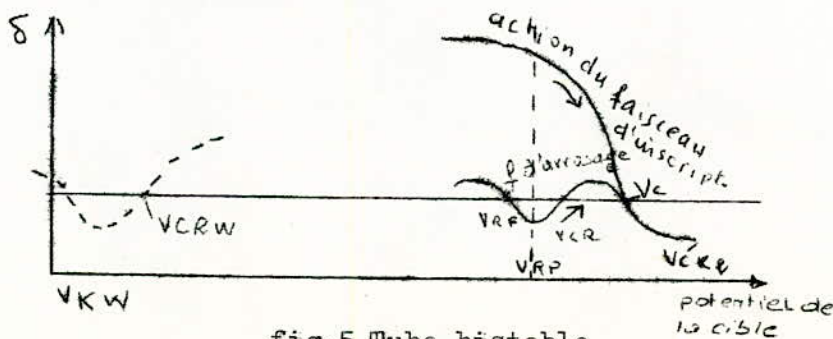


fig.5 Tube bistable

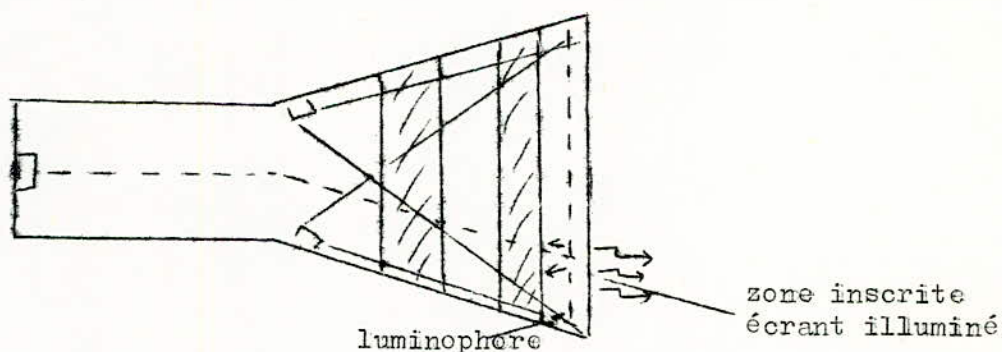
K : cathode
 w : canon d'inscription
 F : canon d'arrosage
 cr : cross-over
 rp : potentiel avant inscription
 c : collecteur
 .../...

Cette figure représente schématiquement la caractéristique d'émission secondaire de la cible mémoire, en fonction du potentiel de sa surface, pour les électrons issus du canon d'inscription, dont la cathode est très négative ($- 3 \text{ kV}$ par exemple) et pour les électrons issus des canons d'arrosage.

Dans l'attente d'une inscription, le potentiel de la surface de l'écran est maintenu au-dessous du 1er cross-over par les électrons lents issus des canons d'arrosage, l'écran n'est alors que faiblement lumineux.

Au moment de l'inscription, un faisceau d'électrons rapides focalisés bombardent la surface de l'écran et puisque l'énergie de ces électrons est située au-delà du 1er cross-over, ceux-ci apportent des charges positives.

Si le courant du faisceau d'inscription est suffisant, le potentiel de la surface de l'écran s'élève jusqu'à ce que l'énergie des électrons d'arrosage devienne supérieure à celle du premier cross-over. Sous l'action des électrons d'arrosage, la couche mémoire devient alors plus positive jusqu'à atteindre un potentiel voisin de celui du collecteur l'écran s'illumine alors localement au niveau de la surface inscrite sous l'action des électrons d'arrosage.



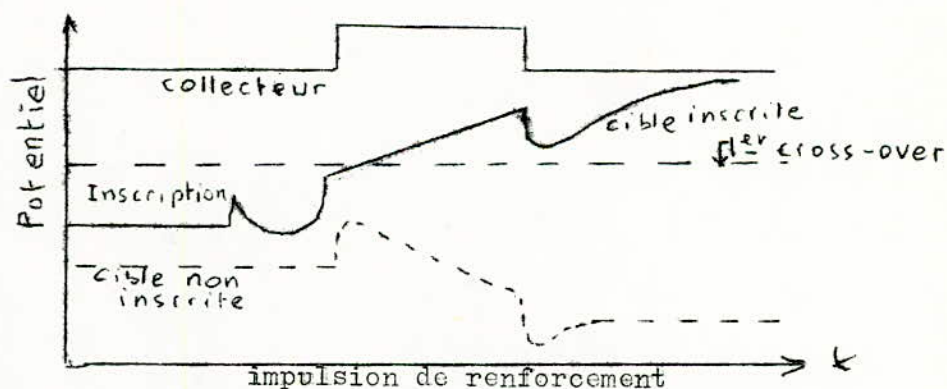
Si le courant du faisceau d'inscription est insuffisant pour porter le potentiel de l'écran au delà du 1er cross-over, les électrons d'arrosage ramènent le potentiel à la valeur qu'il avait avant inscription, et aucune trace n'est mise en mémoire la vitesse d'inscription d'un tube est limité à $0,5 \text{ cm/ps}$ environ.

.../...

Cependant si le phénomène à visualiser est répétitif, on peut procéder par intégration de l'inscription à condition d'interrompre momentanément le faisceau d'arrosage. Lorsque le nombre de charges apportées par l'inscription est suffisant le faisceau d'arrosage est rétabli et la trace est visualisée.

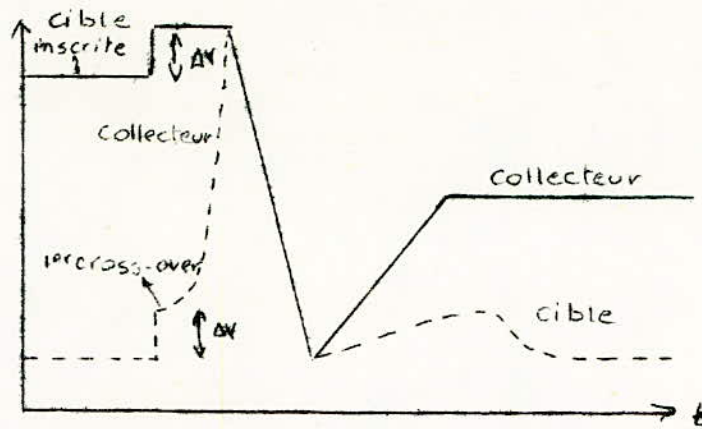
3) Renforcement

Il est possible d'accroître la vitesse d'inscription par une impulsion appropriée supposons en effet que le nombre de charges apportées par l'inscription soit suffisant pour que la trace soit mise en mémoire, le potentiel de la couche restant inférieur au potentiel du 1er cross-over de la caractéristique d'émission secondaire il suffit d'appliquer au collecteur aussitôt après l'inscription une impulsion de tension (voir figure) dont l'amplitude permette aux zones inscrites d'être placées au delà du 1er cross-over les zones non inscrites restant en-deçà, le faisceau d'arrosage accentue alors le relief des charges, et après l'impulsion, la trace est conservée en mémoire. La vitesse d'inscription peut être portée à 5 cm / ps.



4) Effacement

Pour effacer la cible inscrite il suffit d'appliquer au collecteur une impulsion de tension suffisamment positive pour porter l'ensemble de la surface de la couche mémoire au delà du 1er cross-over, l'écran devient lumineux. le collecteur est ensuite ramené rapidement à un potentiel voisin de celui des cathodes des canons d'entretien puis porté à nouveau lentement à son potentiel de fonctionnement. le tube est prêt alors à recevoir une nouvelle inscription.



5) Mode sans mémoire

Ce tube peut fonctionner sans mémoire comme un tube cathodique normal, pour cela il suffit d'appliquer au collecteur un potentiel voisin de celui des cathodes des canons d'arrosage, ainsi seuls les électrons du faisceau d'inscription donneront une trace visible sur l'écran.

CONCLUSION

Grâce aux derniers perfectionnements apportés aux tubes, les oscilloscopes à mémoire sont devenus des instruments indispensables pour un grand nombre d'applications.

Du fait de la compatibilité mémoire-sans mémoire et des performances atteintes dans le domaine de la vitesse d'inscription, il est permis de prévoir un développement important des tubes à mémoire dans les prochaines années.

C - NOUVEAUX TYPES DE TUBES

I - Tube à mémoire et à persistance variable

- 1 - Généralités
- 2 - Mémoire du tube
- 3 - Commande de la partie mémoire
- 4 - Commandes écriture et stockage
- 5 - Commande effacement

II - Tubes à mémoire enregistreurs

- 1 - Tubes Bicanons
- 2 - Tubes Monocanons

oOo

B I B L I O G R A P H I E

- J.C. BAUD : Principes et applications de l'oscilloscope à mémoire.
Electronique et Microélectrique industrielles
N° 193.
- B. COURTAN : Les tubes à mémoire enregistreurs.
Revue Technique Thomson CSF - Volume 3 N° 4.

C - NOUVEAUX TYPES DE TUBESI/ Tube à mémoire et à persistance variable1) Généralités :

La vitesse maximale de balayage d'un oscilloscope est de deux nanosecondes par division, si le phénomène examiné à une faible recurrence la trace observée sur l'écran sera peu lumineuse.

Pour pallier à ce défaut, les tubes cathodiques doivent être alimentés par une forte tension d'accélération (2000 V) et de post-accélération (20 000 V).

La solution consiste à amplifier les déviations au moyen d'une lentille à fente spéciale, couplée à deux lentilles quadrupolaire. L'amplification de déviation ainsi obtenue est de 5 à 6 par rapport à un tube normal.

Cette conception permet d'atteindre des performances élevées des principales caractéristiques du tube, telles que :

- Luminance de trace
- Finesse de spot
- Vitesse d'inscription
- Sensibilité de déviation
- Domaine de fréquence d'utilisation

Elle permet, de réaliser des tubes de grande surface utile à faible encombrement. Les sensibilités obtenues sur ces tubes cathodiques sont de l'ordre de 2V/division. Il y a quatre types de phosphore entrant dans la composition des écrans pour tubes cathodiques destinés aux oscilloscopes.

- Le type P₂, de couleur vert jaunâtre, destiné à l'usage général.

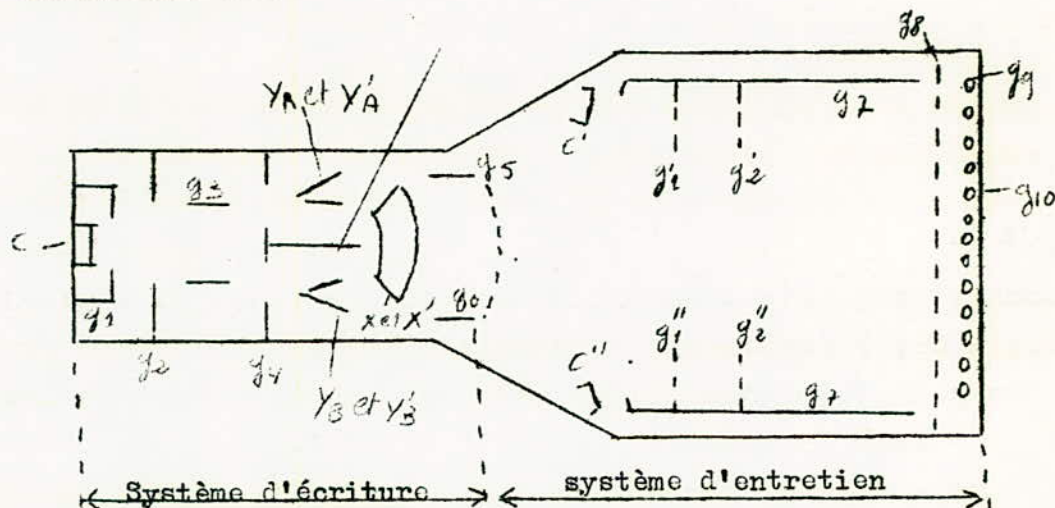
.../...

- Le type P₇ donne une couleur bleue de courte persistance, puis une couleur jaune vert de longue persistance (0,35 S). Le phosphore est indiqué pour les applications médicales ou industrielles qui mettent en jeu des phénomènes lents.

- Le type P₁₁ de couleur bleue qui a une courte persistance (65 μs) est adapté à l'enregistrement photographique de phénomènes de courte durée.

- Le type P₃₁ de couleur verte à courte persistance, il est utilisé dans les tubes à mémoire.

2) Mémoire du tube :



Synoptique simplifié des parties écriture et entretien du tube cathodique à mémoire et à persistance variable de l'oscilloscope PM 3234.

.../...

Le tube cathodique mémoire "demi-teinte" de l'oscilloscope PM 3234 comprend 2 parties principales.

- Le système d'écriture
- Le système d'entretien

Il est intéressant de s'attarder un peu sur le fonctionnement de la partie stockage de l'information du PM 3234.

Le système d'entretien est composé d'un double ensemble de projection. Chacun de ces ensembles comprend un canon de projection, une cathode "C", une grille de commande " G_1 " et une grille d'accélération " G_2 ". Ces systèmes de projection ont pour but de fournir un nuage d'électrons combiné et mis en forme par les deux grilles de commande " G_1 " et par le colimateur " G_7 " lequel grâce à une tension positive adéquate, dirige le nuage d'électrons sur la surface exacte de l'écran.

Ce nuage avant de parvenir à la grille de stockage et sur l'écran est accéléré par l'électrode " G_8 ". Cette dernière est appelée collecteur.

Lorsque les électrons issus des systèmes de projection ont traversé le collecteur, ils sont contrôlés par le potentiel de la grille et de la surface de la couche de stockage.

On peut voir sur la (Figure 1) les grilles de stockage et du collecteur qui ont toute deux des orifices de $40 \mu\text{m}$. Le côté cathode de cette grille est revêtu d'un matériau non conducteur sur lequel sont mémorisées les informations (Figure 2).

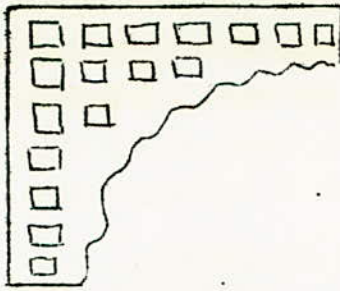


fig.1. Grille "mesh" de
mémoire.

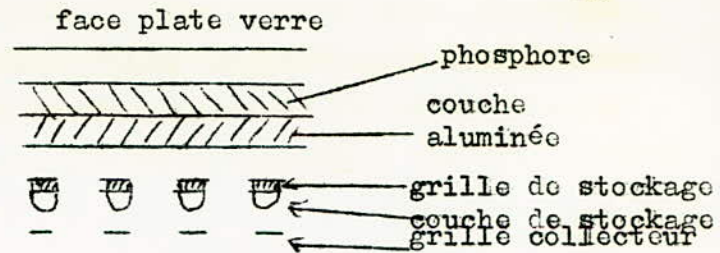
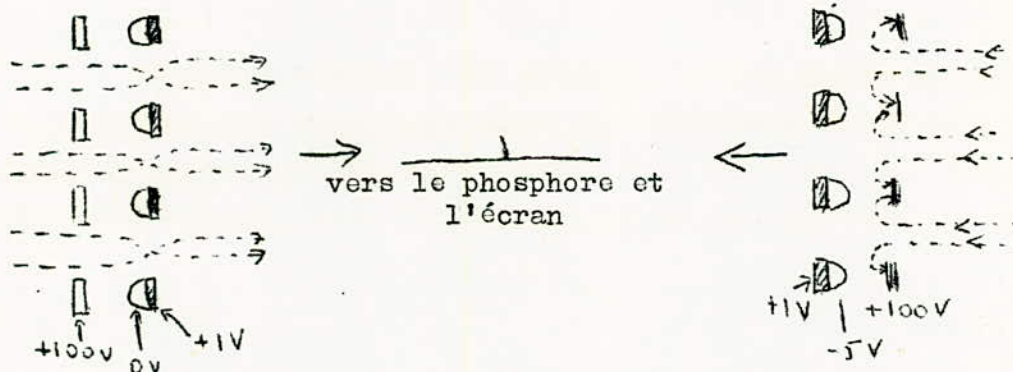


fig.2.

Entre cette grille de stockage et la surface de la couche, il existe un couplage capacitif qui est indispensable pour les opérations d'écriture et d'effacement. La grille de stockage est environ de + 1V par rapport aux cathodes des canons de projection. Le potentiel de la surface de stockage est commandé par le programme écriture et effacement appliquée à la grille citée, il varie entre 0 volts et les valeurs négatives.

Si on examine (figure 3 a) on peut voir que si la surface de la couche mémoire est à 0 volts, la plupart des électrons de projection traversent la grille et atteignent l'écran.

(figure 3) Système de stockage à grande brillance en (a) et au "cut-off" en (b).



Le reste des électrons est repoussé par la surface de la couche et ensuite capté par la grille collecteur. Si comme la Figure 3b, la surface de la couche de stockage est négative, le nombre des électrons qui traversent la grille de stockage est considérablement réduit et pour une certaine valeur (Niveau de Cut-off) aucun électron ne traverse la grille.

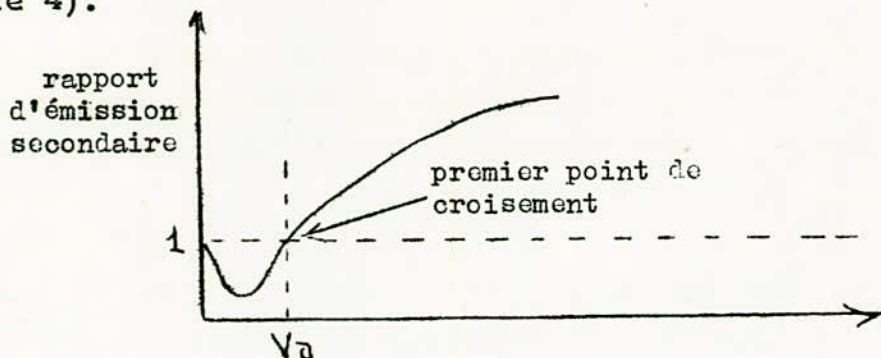
Une importante tension de post-accélération (6 KV environ) est appliquée à l'écran.

Ainsi, dès que les électrons peuvent traverser la grille de stockage, ils sont accélérés par ce potentiel et viennent bombarder le luminophore de l'écran en provoquant une émission lumineuse.

En résumé, le stockage des informations se fait en enregistrant le signal du canon d'électrons sur une couche de matériau non conducteur et cela en formant une répartition de charge positive par une émission d'électrons secondaires.

Cette répartition de charge subsiste pendant très longtemps sur la surface de stockage même quand le canon d'écriture est supprimé.

Cette information ainsi stockée, est rendue visible sur l'écran du tube cathodique grâce à un second faisceau électronique dont les électrons frappent le luminophore en passant par les positions positivement chargées de la couche de stockage. Le principe du stockage des informations sur le matériau non conducteur est illustré (figure 4).



Courbe du rapport d'émission secondaire

Le principe est basé sur la courbe du rapport d'émission secondaire. Cette courbe représente le rapport entre le nombre d'électrons qui quittent la surface de la couche de stockage et le nombre des électrons qui y parviennent et est tracé en fonction du potentiel de la surface de stockage.

Le premier point de croisement indiqué sur la (figure 4) représente un rapport d'émission secondaire égal à 1. C'est à dire que le nombre d'électrons incidents est égal au nombre d'électrons secondaires.

Si la surface est bombardée avec des électrons d'énergie plus élevée, son potentiel augmente.

En effet les électrons émis sont plus nombreux que les électrons incidents. Si la surface est bombardée avec des électrons d'énergie inférieure à V_a (Volt) le potentiel de la surface diminue puisque les électrons sortants sont moins nombreux que les électrons incidents.

Le tube à mémoire et persistance variable du PM 3234 peut être utilisé comme un tube cathodique normal avec une remanence de luminophore du type 31 comprise entre 2 μ s et 1 ms.

3) Commande de la partie mémoire :

Pour stocker définitivement un signal quelconque, l'utilisateur a le choix entre 2 possibilités. L'une lui permet de garder ce signal en mémoire pendant une durée supérieure à 10 mn cela avec une luminosité réduite ou alors de garder ce même signal en mémoire pendant une durée supérieure à 30 mn, mais cette fois avec une luminosité renforcée. Le choix entre ces deux solutions permet à l'opérateur d'utiliser, avec un maximum de rendement, la partie mémoire.

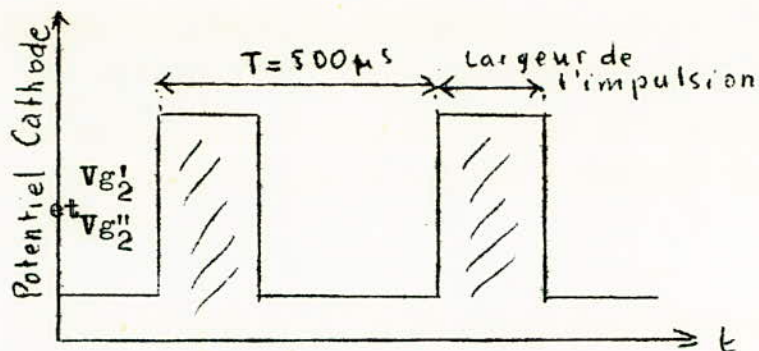
4) Commandes écriture et stockage :

Avant d'entreprendre l'inscription et le stockage d'une information, il est nécessaire que la couche "mémoire" soit à un potentiel inférieur au "Cut-off".

Afin d'éviter aux électrons de projection de parvenir à l'écran. Ce potentiel ne peut-être obtenu qu'à l'aide d'une action d'effacement au "programme-d'effacement". Cette situation électrique obtenue, il faut intervenir au niveau des cathodes d'écriture et permettre au faisceau électronique de se déplacer sur la surface de la couche "mémoire". Entre cette surface et les cathodes d'écriture existe une différence de potentiel importante. Elle permet aux électrons de parvenir à la surface de stockage avec une énergie supérieure au premier croisement. Le point d'impact des électrons sur cette surface de stockage se charge positivement et atteint un potentiel dont le maximum peut-être de 0 volt ce qui représente le potentiel des cathodes des canons de projection. Ces zones chargées permettent au champ de post-accélération de capter les électrons de projection. Il s'en suit donc que les zones de charges obtenues sur la surface de stockage sont rendues visibles sur l'écran.

L'action sur les grilles (G'_2 et G''_2) détermine le mode de fonctionnement choisi par l'opérateur qui est de trois ordres : mode normal, mode à remanence variable et mode de mémoire variable.

Dans le premier mode, les grilles d'accélération sont en permanence au même potentiel que la cathode. Le potentiel est en permanence à + 50 Volts dans le deuxième mode, et en mode mémoire variable, ces grilles sont soumises à des impulsions positives de largeur variable. La largeur d'impulsion choisie détermine la luminosité du stockage. Pour une luminosité minimale, l'impulsion est pratiquement coupée et ainsi le temps de stockage en mémoire est maximal (figure 5).



(Fig. 5) Potentiel des accélérations des canons de projection pendant le stockage de l'information.

La figure 6 illustre le principe des commandes nouvelles des circuits de remanence.

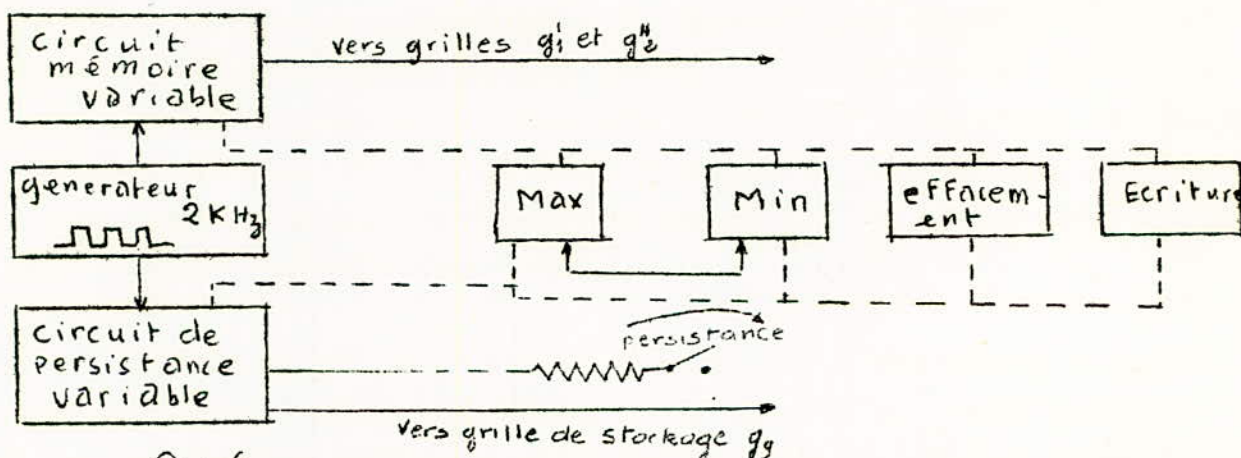


Fig.6

5) Commande effacement :

Pour "effacer" les informations stockées en mémoire, l'opérateur peut procéder de deux façons.

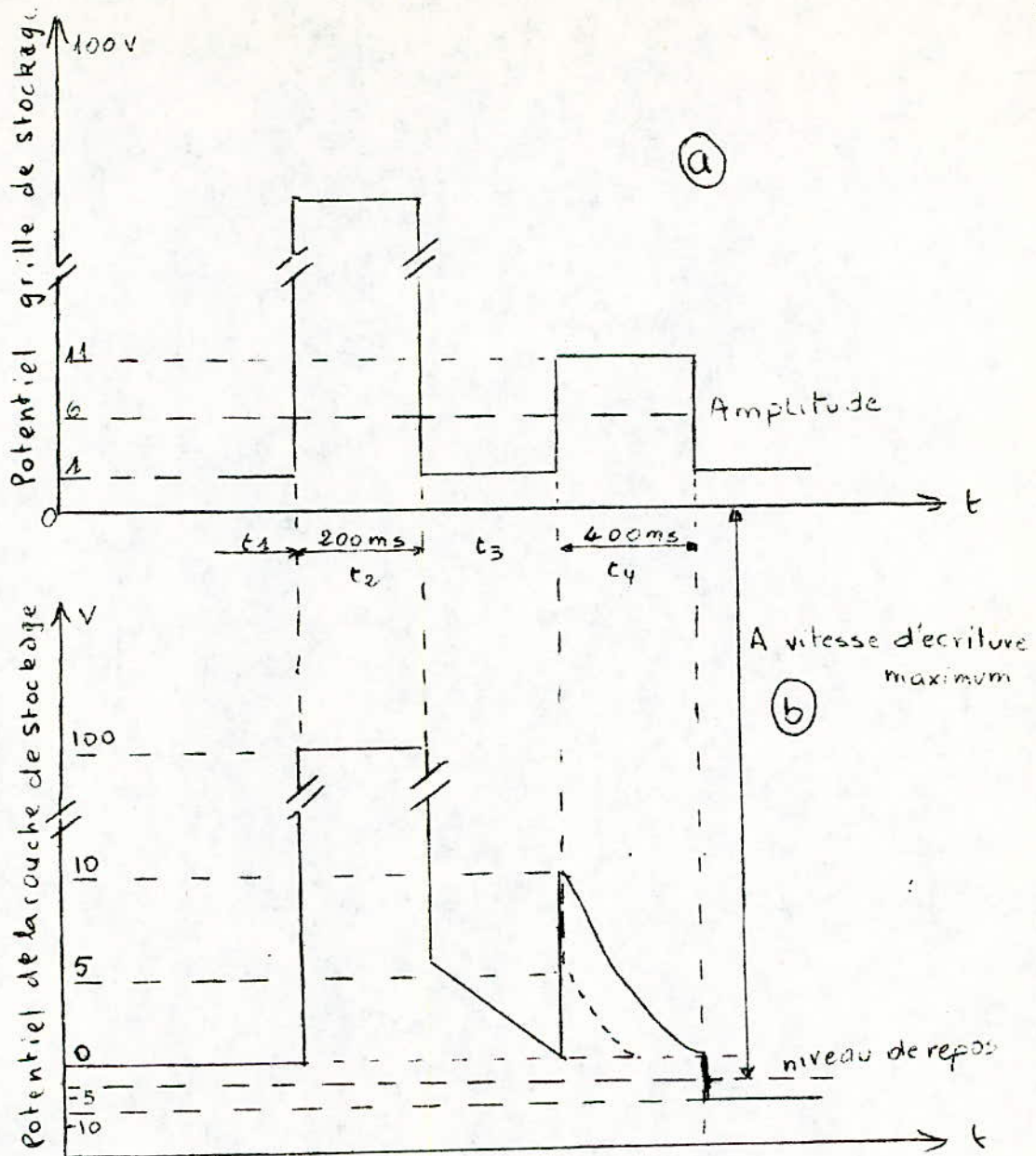
- En utilisant la fonction d'effacement manuel.
- En utilisant l'effacement automatique en mode rémanence variable.

Quand l'utilisateur appuie sur la touche "effacement" et qu'il la maintient, la grille de stockage est au même potentiel que le collecteur (100 V). On peut voir sur la figure 7a la variation du potentiel de la grille de stockage, dans les deux cas pour un cycle d'effacement. Du fait du couplage capacitif entre les éléments de l'électrode de stockage, la surface de la couche de stockage suit presque le même potentiel que la grille du même nom ; comme cette surface est bombardée par des électrons d'énergie plus grande que celle du premier croisement, tout le potentiel de la surface devient tellement positif que toutes les informations de la couche mémoire sont éliminées.

La touche "effacement" relâchée, la grille de stockage revient à + 1 Volt de même que la surface de stockage (celà toujours du fait de l'effet capacitif) et sous l'action des électrons des canons de projection, ce potentiel retombe à zéro. Après 200 ms (figure 7) la grille de stockage est automatiquement portée à + 11 Volts. Ce potentiel est maintenu pendant 400 ms. Ces 400 ms terminés, la grille de stockage revient à + 1 Volt ce qui ramène la surface de la grille de stockage d'un potentiel de 0 volt à un potentiel de - 10 Volts. Le cycle d'effacement est alors terminé et le système est prêt à recevoir de nouvelles informations.

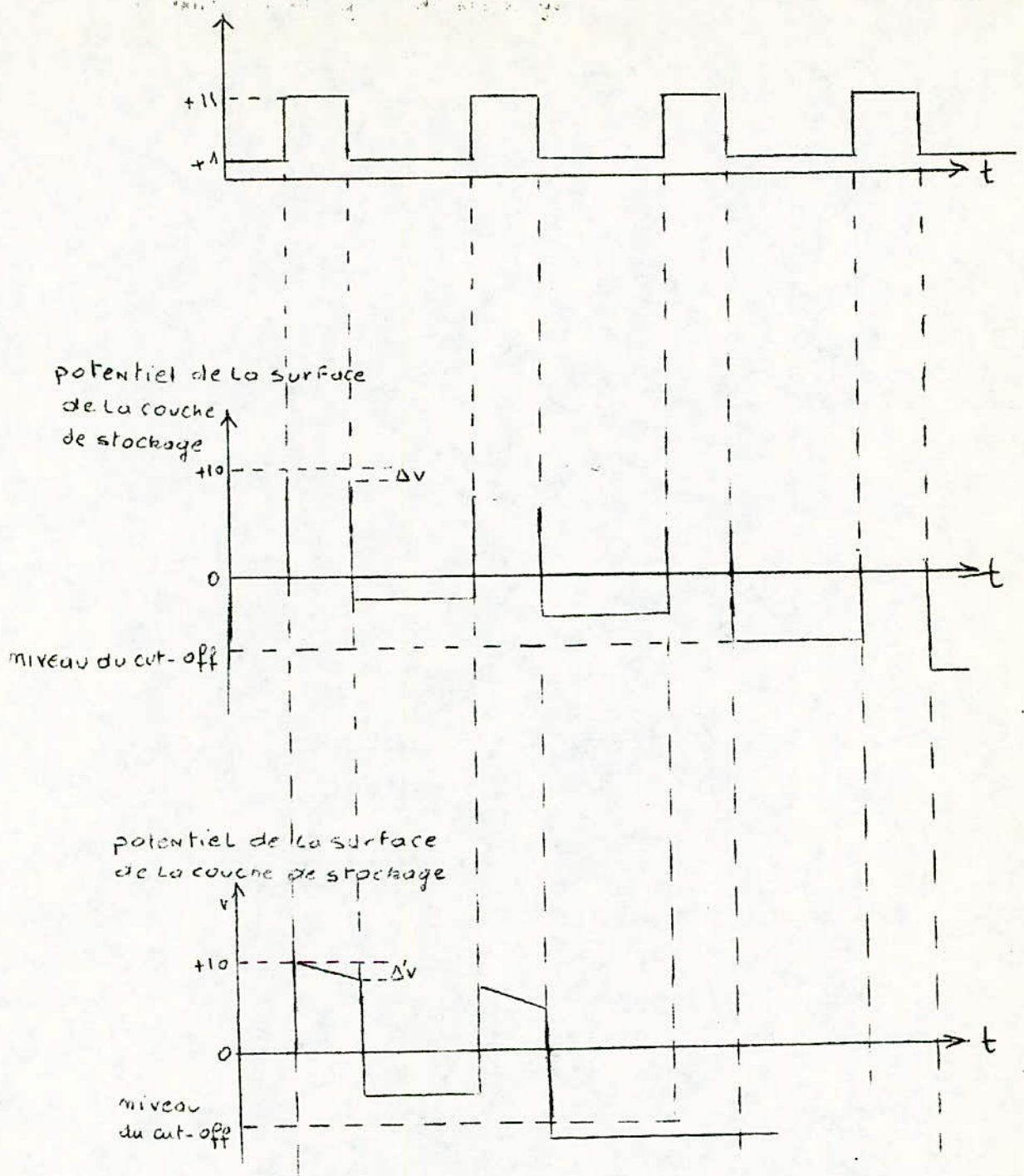
L'effacement automatique est réalisé à l'aide d'un générateur de signaux carrés à une fréquence de 2 KHz. Ce signal est appliqué à la grille de stockage "G₀" (figure 8a et b).

Pour que l'effacement puisse être effectué avec rapidité, il faut que les largeurs d'impulsions soient plus grandes. Dans ce cas la chute de potentiel de surface augmente et il faut moins de cycle pour que l'effacement soit complet Figure 8. Cette largeur d'impulsion peut-être commandée par le potentiomètre "persistance" ce qui permet d'avoir une remanence sur l'écran réglable entre 0,3 s et 1,5 mn.



7 - Potentiel de la grille de stockage pendant un cycle d'effacement en a et de la surface de la couche de stockage pendant le même cycle en b.

.../...



(Figure 8) Potentiel de la grille de stockage pendant le mode "remanence variable en a ; le potentiel correspondant de la surface de la couche de stockage contenant des informations est représenté en b alors qu'en c le réglage de la remanence et plus bref" (largeur des impulsions plus grande).

II/ LES TUBES A MEMOIRE ENREGISTREURS (TME)

1) Tubes bicanons

a) Généralités :

Les tubes à mémoire sont des tubes à rayons cathodiques capables d'emmagasiner les données sous forme d'un relief de charges et de restituer l'information ainsi stockée sous forme, soit d'une image lumineuse, soit d'un signal électrique. On appelle (TME) une catégorie particulière de tubes à mémoire caractérisée par les deux points suivants :

a/ L'information stockée est restituée sous forme d'un signal électrique.

b/ L'information peut-être restituée (lue) un nombre illimité de fois. C'est ce qu'on appelle une lecture non destructive.

La cible des tubes du type TME peut-être constituée, soit d'une grille mémoire modulant le faisceau de lecture, soit d'une cible plane assurant la lecture par contrôle coplanaire. On se bornera dans cet exposé à cette deuxième catégorie qui est particulièrement intéressante.

b) Principes généraux de fonctionnement du tube TME :

L'utilisation d'une cible contrôle coplanaire pour obtenir une lecture non destructive du signal enregistré constitue la caractéristique fondamentale des tubes TME qu'il s'agisse de tube monocanons ou bicanons.

c) Lecture non destructive par contrôle coplanaire :

Cette lecture se caractérise par :

- L'utilisation d'un faisceau d'électrons d'intensité constante et d'incidence normale à la cible appelée faisceau de lecture.

- L'utilisation d'une cible plane à structure périodique fine comportant alternativement des parties diélectriques et conductrices.

- La présence sur les parties diélectriques d'un relief de charges déposé lors de l'écriture. Le relief de charge enregistré engendre sur la surface de la cible un relief de potentiel dont l'effet est une modification des trajectoires électroniques du faisceau de lecture au voisinage immédiat de la cible.

d) Principe du contrôle coplanaire :

Le contrôle coplanaire utilise l'interaction électrostatique entre éléments voisins situés dans un même plan pour contrôler l'arrivée des électrons de lecture sur des éléments discrets de la cible, on prend comme référence (0) le potentiel de la cathode émissive des électrons de lecture et on appellera V_c potentiel de cible, le potentiel des parties conductrices de la cible qui sont toutes au même potentiel puisqu'il s'agit d'un conducteur unique.

Ce potentiel V_c peut-être commandé de l'extérieur et il est placé en lecture à une valeur faible par exemple $V_c = + 5 \text{ V}$. On désigne par V le potentiel de la surface du diélectrique. On suppose dans un 1er temps que les parties diélectriques de la cible n'aient reçu aucune charge, le potentiel se trouve donc uniforme sur toute la surface de la cible : $V = V_c$; à faible distance de la cible plane se trouve placée une grille de champ à un potentiel élevé + 500 Volts qui établit dans l'espace grille-cible un champ décélérateur uniforme. Les lignes^{d'} équipotentiel dans l'espace grille-cible sont représentées sur la figure 1 au voisinage de la cible.

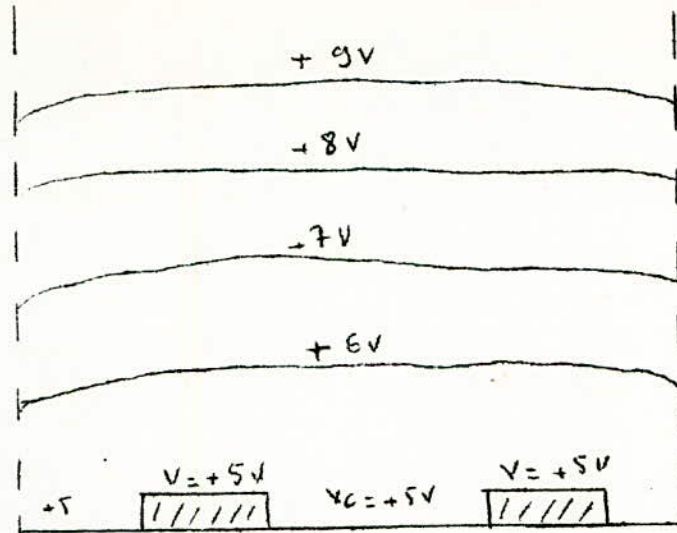


Figure 1 - Equipotentiel au voisinage de la cible pour un diélectrique non chargé.

Les électrons de lecture, bien qu'arrivant à vitesse très réduite, ont une énergie suffisante pour parvenir jusqu'à la cible.

Supposons dans un 2ème temps que les parties diélectriques de la cible aient été chargées de façon à ce que le potentiel V soit négatif (exemple - 5Volts). Il apparaît au voisinage de la cible un réseau d'équipotentiel...

Les électrons de lecture subissent une répulsion due à ce potentiel négatif, répulsion qui a pour effet qu'aucun électron n'arrive sur le diélectrique, d'autre part de refouler une partie des électrons vers la grille de champ, l'autre partie pouvant atteindre la partie conductrice de la cible.

.../...

e) Effacement :

Il s'agit d'amener tous les points de la surface du diélectrique au potentiel négatif de Cut-off V_{co} quel que soit leur état antérieur.

La couche sera prête à recevoir une nouvelle inscription, pour cela on commute la cible de V_{cl} à $V_{ceff} = V_{cl} - V_{co}$

Ce faisant, on ne change pas la charge de chaque élément du diélectrique, mais uniquement son potentiel.

Ce potentiel qui peut être compris avant commutation entre 0 (cas d'un point inscrit à saturation) et V_{co} (cas d'un point non inscrit) va donc devenir compris entre : $V_{ceff} - V_{cl}$ et $V_{ceff} - (V_{cl} - V_{co}) = 0$.

V_{ceff} et V_{cl} sont tels que $0 < V_{ceff} - V_{cl} < V_{p1}$, donc sur toute la surface du diélectrique l'impact des électrons ramènera le potentiel des différents points à 0 volt potentiel d'équilibre, si ensuite la tension de cible est ramenée de V_{ceff} à V_{cl} , le diélectrique voit son potentiel de surface devenir :

$$0 - (V_{ceff} - V_{cl}) = V_{co}$$

On constate donc que par simple commutation du potentiel d'électrons, cible de V_{cl} à V_{ceff} puis de nouveau à V_{cl} le potentiel de la surface du diélectrique a été uniformisée et ramenée à V_{co} par les électrons du faisceau.

.../...

f) Ecriture :

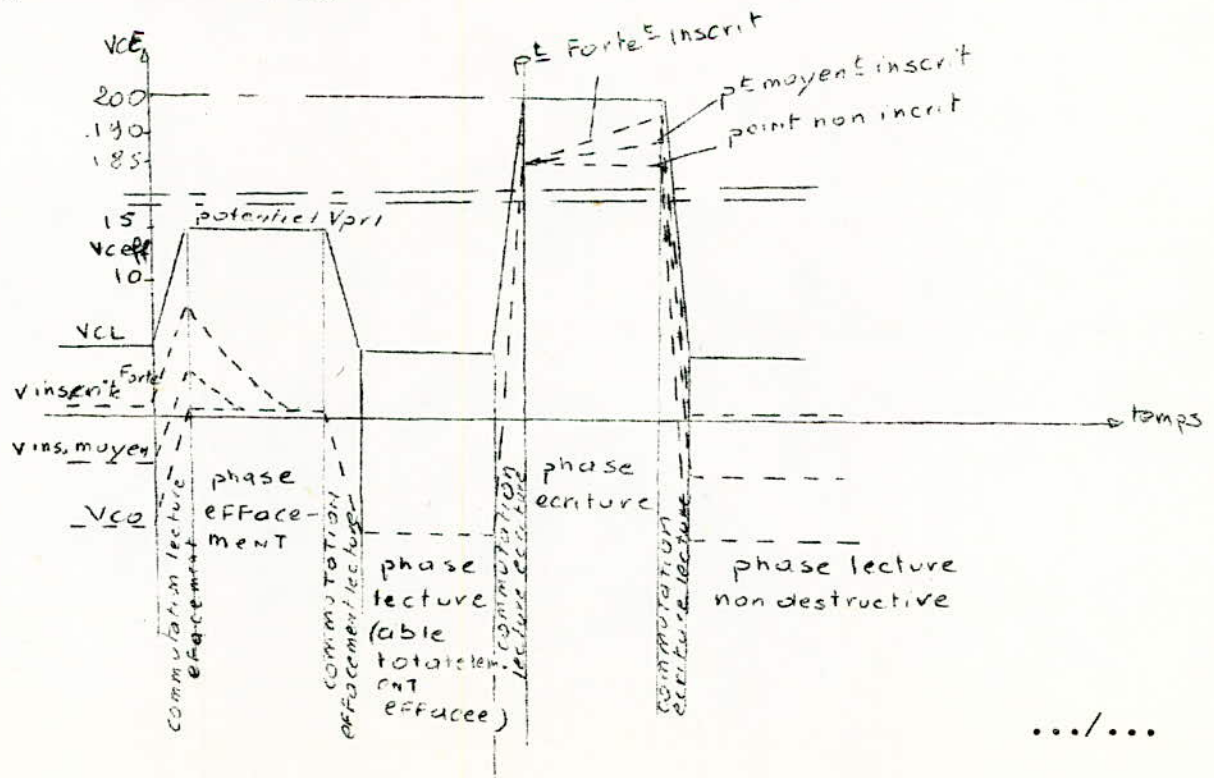
Il s'agit d'amener le potentiel diélectrique à une valeur comprise entre V_{co} et 0 en supposant que par l'effacement préalable, le diélectrique a été placé à $V = V_{co}$ comme cela vient d'être décrit. Comme le potentiel V doit être relevé, il faut ici déposer des charges positives ce qui est possible si V pendant l'écriture est placé à $V = V_{pr} 1$. On placera donc V_{CE} à une valeur fortement positive, en tout cas telle que $V = V_{CE} - V_{ceff}$ soit supérieure à $V_{pr} 1$.

Si l'élément DS placé à ce potentiel V reçoit des électrons, l'apport des charges sera positif et va devenir $V_{CE} - V_{ceff} + \frac{DQ}{CDS}$

Si la tension de cible est ensuite commutée de V_{CE} à V_{CL} ,

$$V_{CE} - V_{ceff} + \frac{DQ}{CDS} - (V_{CE} - V_{CL}) = V_{CO} + \frac{DQ}{CDS}$$

Le potentiel du diélectrique se trouve donc amené après cette phase écriture à un potentiel supérieur à V_{CO} d'une quantité proportionnelle à DQ

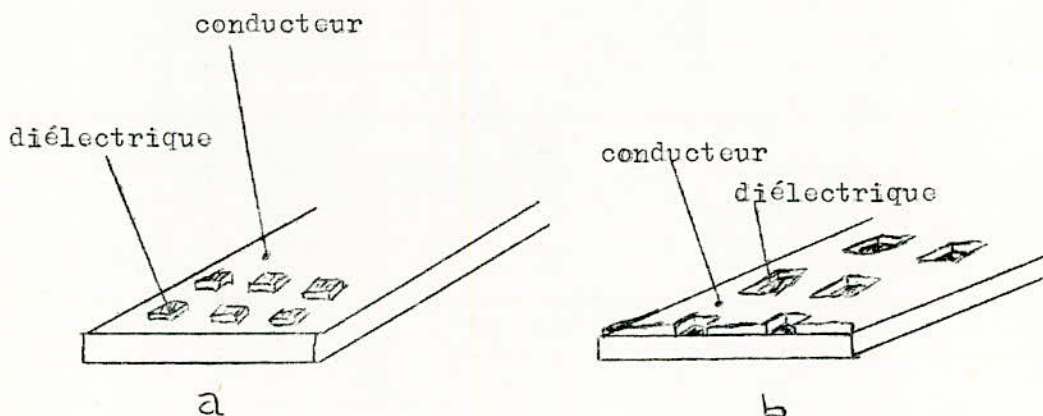


2) Les tubes monocanons :a) Généralités :

La cible est constituée d'une mosaïque de diélectrique sur une plaque métallique. Un canon unique est utilisé séquentiellement pour l'effacement, pour l'écriture, puis pour la lecture. La capacité de la cible par unité de surface n'est alors déterminée que par l'épaisseur du diélectrique et est indépendante du pas de la mosaïque et de l'épaisseur du métal.

Dans une variante, figure b, la cible peut être constituée d'une grille métallique déposée sur un bloc de diélectrique. Dans ce cas, la capacité C est déterminée par le pas de la grille métallique et est indépendante de l'épaisseur du diélectrique.

En général, les tubes décrits comporteront une cible de la structure de la figure a.

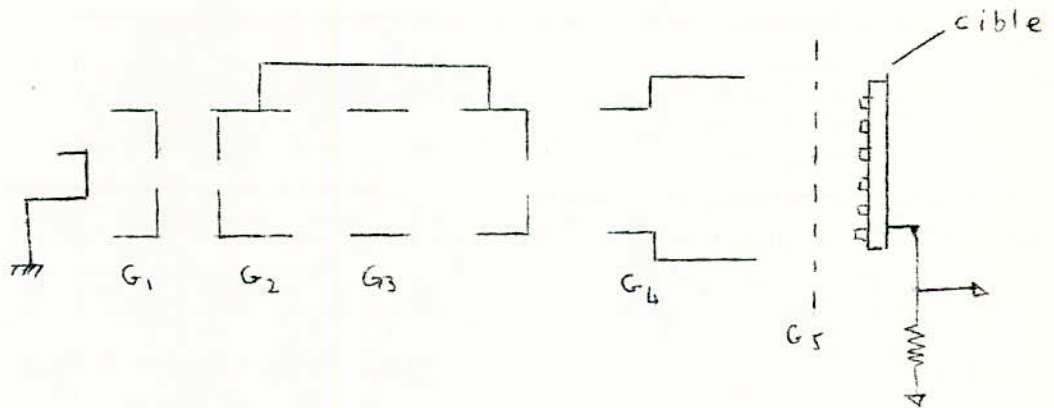


.../...

b) Constitution interne (TME 1238 et 1239)

La figure 2 schématise la structure de ces tubes. Ils comportent un canon à électrons et une cible à mémoire. Le canon se compose d'une cathode, d'une électrode de contrôle G_1 , d'une électrode d'accélération G_2 , d'une électrode dite d'effacement G_3 , d'une électrode de concentration G_4 et enfin d'une grille de champ G_5 .

Cette grille à mailles fines (20 à 40 mailles par mm) est tendue à une faible distance de la cible à mémoire. La cible est du type figure a dans laquelle le métal est du silicium fortement dopé.



et le diélectrique de la silice chaque carré isolant à environ $10\mu\text{m}$ de côté et le pas et d'environ $15\mu\text{m}$. cette cible est obtenue à partir d'une plaque mince de silicium en utilisant le procédé bien connu de réalisation des circuits intégrés.

a') Le silicium est recouvert de silice par oxydation thermique. L'épaisseur de la couche d'oxyde est uniforme et d'environ 1 à 2 μm

b') La silice est recouverte de résine photosensible.

c') L'insolation se fait à travers un masque photographique en forme de quadrillage.

d') Les opérations de dépouillement, d'attaque de la silice et de dissolution de la résine restante se font de façon classique.

Il reste finalement une plaque de silicium recouverte de carrés de silice compacte très adhérente et uniforme. On peut remarquer que la constitution de ce tube est très simple tant pour la cible à mémoire que pour le canon, de plus la température ambiante est totalement indépendante des caractéristiques de mémoire.

c) Principe de fonctionnement :

Pour les différentes phases (effacement, écriture, lecture) la cathode du canon est toujours maintenue à la masse et on agit sur la tension de la cible pour modifier la valeur du coefficient ϕ .

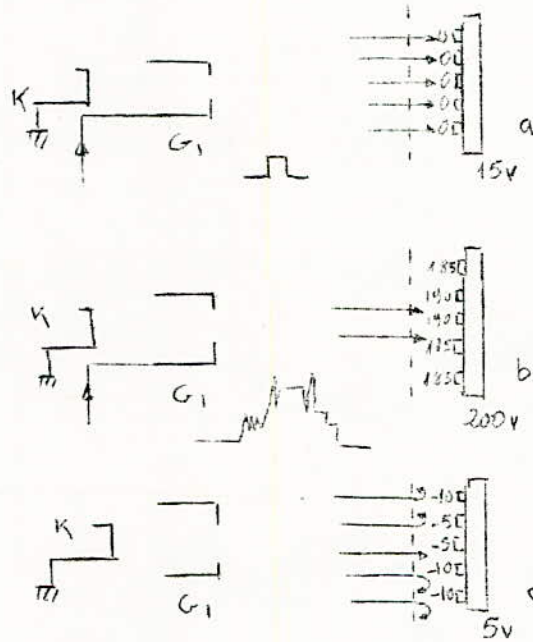
Le Wehnelt G_2 du canon reçoit le signal d'entrée correspondant à l'information à stocker.

Le faisceau d'électrons est focalisé et défléchi électromagnétiquement, puis collimaté de façon à rendre les trajectoires électroniques perpendiculaires en tout point à la surface de la cible. La partie métallique de la cible est l'électrode sur laquelle est prélevé le signal de sortie.

La figure 2 indique les tensions établies sur le métal et sur l'isolant pendant les 3 phases d'un cycle complet. Rappelons brièvement ce qu'a été décrit en détail plus haut.

- Pour l'effacement, δ est inférieur à 1 et le diélectrique se stabilise à 0 volt, potentiel de la cathode.

- Pour l'écriture, δ est supérieur à 1 et les zones de diélectrique frappées par le faisceau voient leur potentiel augmenter de quelques volts.



Pour la lecture, le relief de potentiel module le faisceau d'électrons qui ne peut atteindre le métal de la cible qu'aux endroits inscrits, engendrant ainsi un signal qui reproduit avec de nombreux niveaux d'intensité possibles l'information stockée. Le signal de lecture recueilli aux bornes de la résistance de charge de la cible est ensuite appliqué, après amplification et traitement au Wehnelt d'un tube de visualisation standard qui reproduit l'image enregistrée.

La lecture étant non destructive, le temps de mémoire (temps pendant lequel l'information peut être prélevée sans modification) est théoriquement infini.

En pratique, il peut a priori, être limité par deux phénomènes :

- Décharge progressive des éléments chargés du diélectrique par fuite de l'isolant : étant donné la faible tension aux bornes de ce diélectrique et son épaisseur relativement grande, le champ appliqué est très faible et les qualités de la silice formée sont suffisantes pour que cette cause de limitation de la mémoire soit négligeable.

- Création d'ions par le faisceau de lecture : en effet, le vide dans le tube n'étant pas parfait, les électrons peuvent, le long de leur parcours, ioniser les molécules de gaz résiduel, les ions positifs créés dans l'espace compris entre la grille et la cible sont attirés par les zones négatives de l'isolant et viennent progressivement annuler la charge stockée.

Une des performances intéressantes de ce tube est sa possibilité d'effacer très rapidement l'image enregistrée. Le temps d'effacement est lié d'une part à la capacité C de la cible, d'autre part au courant de faisceau pendant l'effacement.

Face à l'extraordinaire progrès, l'homme ne peut pas recevoir d'une manière directe, simple et claire les informations en provenance de l'ordinateur.

Avec l'avènement des consoles graphiques, cet obstacle est éliminé.

D - LES CONSOLES GRAPHIQUES.

I- CONSOLES ALPHANUMERIQUES.

II-CONSOLES GRAPHIQUES A TUBES A MEMOIRE.

III-CONSOLES A BALAYAGE CAVALIER.

IV-CONSOLES A TUBES CATHODIQUES COULEUR A PENETRATION.

oOo

B I B L I O G R A P H I E

J. CERON : Les consoles graphiques - Revue française d'électricité - N°254.

: Visualisation graphique en couleur - Electronique et Microelectronique Industrielles N°157.

D- LES CONSOLES GRAPHIQUES.

I- CONSOLES ALPHANUMERIQUES.

Le premier système d'affichage graphique développé pour l'ordinateur s'inspire directement des techniques de la télévision; il utilise des tubes à balayage linéaire. L'écran est divisé en "pavés" égaux généralement carrés. Le partage fait sur l'écran définit ainsi une mosaïque dont chaque élément est caractérisé par un numéro de bande (Y) et un numéro de colonne (X). Chaque bande et interbande contient un certain nombre de lignes. On appelle matrice de représentation l'ensemble des points dans lequel sont décrits les caractères. L'exemple choisi (Fig 1) montre une matrice (8 × 6) avec un espace de 1 entre caractères et 4 entre deux bandes.

A chaque intersection (X,Y), on fait correspondre un élément d'une mémoire (octet ou mot). Celui-ci contient un "message" ⁿdonant, parmi un catalogue de symboles ou caractères prédéfinis, quel est celui qui devra être représenté dans le pavé (Y,X). Le message correspond généralement à un code normalisé (ASCIT, ISO, EBCDIC). Le catalogue est lui-même supporté par une mémoire, il contient la configuration de points décrivant chaque symbole ou caractère.

La technique d'affichage sur une console alphanumérique est simple. Supposons que l'ordinateur écrit sur la première ligne BK (voir Figure 1). Le calculateur adresse l'élément (1,1) de la mémoire image de l'écran; il écrit le code correspondant à B. De même, en (2,1), il envoie le code de K, puis en (3,1) celui qui explicite que la ligne de texte est terminée. L'affichage proprement dit se fait de la manière suivante : au début de la première ligne, les "compteurs de bande, de colonne et de ligne" sont positionnés à 1. Par le biais de l'élément mémoire (1,1), la logique de la console accède à la description de B. Le compteur de ligne étant à 1, la première ligne de B est affichée (4 points allumés, 3 éteints, Figure 1).-

.../..

La première ligne du premier caractère étant terminée, le "compteur de colonne" progresse de 1 ($X=2$). La logique peut alors accéder à la description de K et l'afficher (1 point allumé, 3 éteints, 1 allumé et 2 points éteints). Le code suivant en (3,1) indique que le reste de la ligne est éteint. Le compteur de ligne passe à 2, celui de colonne passe à 1; le compteur de bande ne change pas ($Y=1$). Ainsi, la deuxième ligne de B et K est décrite d'une manière analogue à la première (1 point allumé, 3 éteints, 1 allumé, 2 éteints pour B et 1 point allumé, 2 éteints, 1 allumé, 3 éteints pour K figure 1).

Lorsque les huit lignes composant les caractères sont terminées, l'interbande est décrite par des lignes éteintes. Ensuite, les compteurs sont positionnés comme suit :- $X=1$, $Y=2$, ligne vidéo=1. La deuxième bande de texte peut être affichée comme la première et ainsi de suite. Lorsque la dernière bande est décrite, la logique reprend la description de la première.

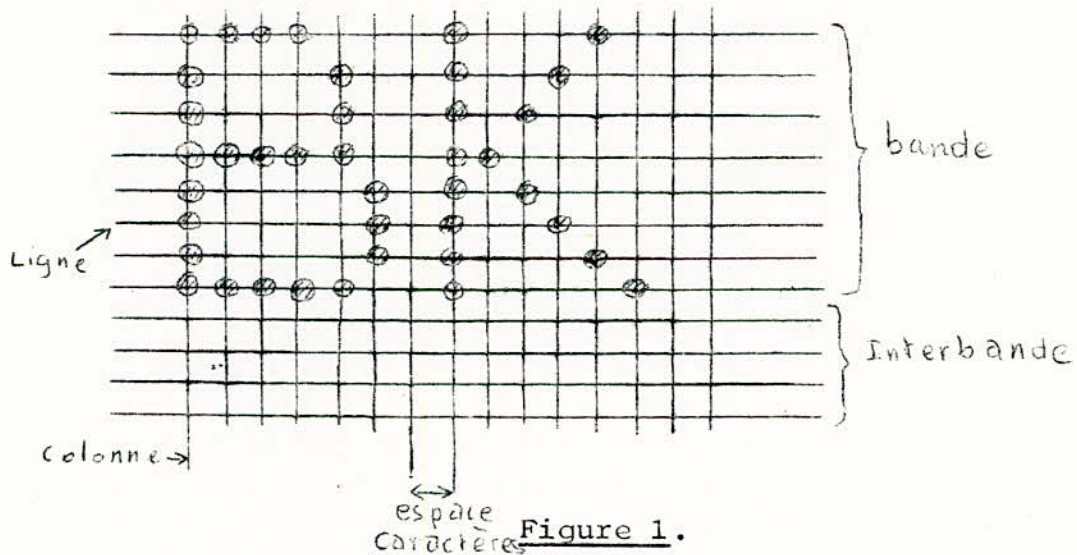


Figure 1.

Le schéma d'affichage ci-dessus est simplifié et n'a d'autres prétentions que d'expliquer le principe. L'échelle des temps en particulier n'apparaît pas, bien que tous les événements évoqués soient synchronisés sur une horloge.

La plupart des consoles alphanumériques comprennent des fonctions plus ou moins sophistiquées de mise en page, d'édition

et de correction de texte commandées soit par l'ordinateur, soit par l'opérateur à partir d'un clavier.

Ainsi, le calculateur, par l'envoi de codes dans la mémoire (X,Y) peut décrire des résultats ou passer des questions auxquelles peut répondre l'opérateur grâce au clavier associé à la console.

Le champ d'application des consoles alphanumériques est très vaste, et il n'est pas possible de dresser une exhaustive de leurs utilisations. D'une technologie relativement simple, utilisant les éléments bon marché comme le moniteur télévision, leur faible prix leur a valu un succès immédiat et grandissant. L'information conversationnelle leur doit ses premiers pas; il suffit pour s'en convaincre de visiter les lieux où l'informatique est en contact avec le public comme les aéroports, les gares, les banques, etc...

II- CONSOLE GRAPHIQUE A TUBES A MEMOIRE.

Dans ce domaine, une place de choix revient aux tubes à mémoire, car ils constituent un des éléments déterminants de la percée des consoles graphiques en péri-informatique. Les tubes à mémoire ont été décrits dans ce qui précède ce chapitre.

Une console graphique bâtie autour de tubes à mémoire présente un certain nombre d'inconvénients. Au niveau du travail sur les images, il n'est pas possible de faire l'effacement sélectif (restreint à une portion de dessin), ce qui conduit à reconstruire l'image pour toute modification. Compte tenu de l'écriture sur la grille, cela se traduit par une image inutilisable pendant des temps pouvant aller jusqu'à plusieurs secondes. Pour toutes les applications où la cadence de modification d'image est importante, l'utilisation d'une telle console devient désagréable pour l'utilisateur.

D'autre part, le photostyle n'est pas utilisable avec les tubes à mémoire. En effet, le tube n'assurant pas un balayage logique

permanent, il n'est pas possible d'utiliser le signal d'une cellule captant le spot.

Enfin un dernier inconvénient réside dans le fait que l'image est constamment allumée : ainsi la durée de vie des tubes à mémoire en utilisation intensive est relativement faible. Pour terminer, on dira que les consoles graphiques organisées autour de tubes à mémoire sont très intéressantes pour l'affichage de dessins qui n'évoluent pas trop souvent en fonction du temps. Elles ne peuvent être utilisées convenablement pour des applications interactives, à plus forte raison si l'utilisateur doit être en contact "manuellement" avec son dessin pour travailler.

III- CONSOLES A BALAYAGE CAVALIER.

Les consoles graphiques interactives dont l'essor actuel devrait aller en s'amplifiant sont bâties autour de cathoscopes de grand format (20 à 30, parfois 40 cm).

L'adressage des points sur l'écran peut être quelconque grâce aux commandes analogiques de déflexion verticale et horizontale : on parle de balayage cavalier par analogie avec la souplesse de déplacement du cavalier dans les jeux d'échecs.

Le faisceau d'électrons émis par le canon est modulé en puissance par une commande dite d'intensité qui permet de donner plus ou moins de luminance à tout ou partie de l'image. Un point allumé sur l'écran est une image très fugitive car les phosphores utilisés sont de faible remanence (30 à 100 micro-secondes).

Il faut rafraîchir ce point à une fréquence minimale égale à celle de persistance rétinienne (30 Hertz environ).

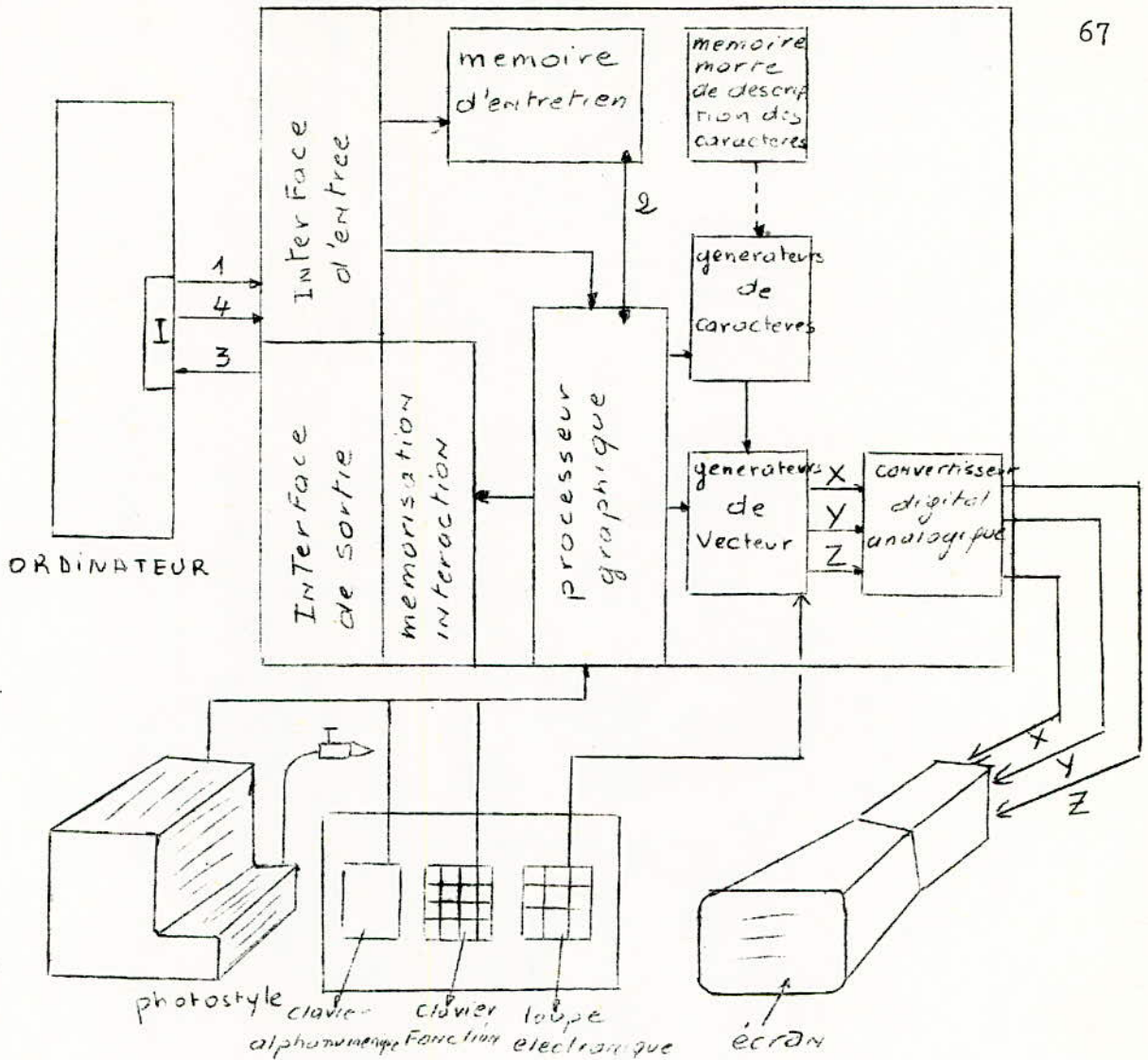
L'organe de calcul de l'image et de commande du tube dispose donc de 30 Millisecondes pour décrire entièrement un dessin sans que celui-ci clignote. Avec les vitesses de calcul permises par les composants actuels et les caractéristiques en déflexion des tubes, cet inconvénient est devenu secondaire.

Les avantages d'une console à balayage cavalier par rapport aux tubes à mémoire résident, dans la facilité de modification d'une image, et dans leurs performances en interaction. En effet, tout ou une partie d'un dessin peut être corrigée instantanément surtout avec les phosphores faiblement remanents. L'effacement sélectif rapide est une condition nécessaire à la manipulation sans contrainte de graphisme. Un deuxième aspect est la possibilité d'utiliser un photostyle, appelé encore improprement crayon lumineux. Le photostyle se présente comme un stylo muni d'un contact. Il renferme un élément photosensible qui, lors du passage du spot devant son extrémité, émet un signal. La logique du calcul d'image et de commande du tube appelée processeur graphique (ou de dessin). Sur l'apparition de ce signal, sauvegarde les caractéristiques logiques de l'élément désigné (nom, repère ou adresse) et ses coordonnées écran (adressage X,Y).

L'utilisateur, en actionnant le contact, autorise alors la console à donner les caractéristiques de l'élément d'image désigné à l'ordinateur pour l'exploitation.

Les processeurs graphiques qui commandent la visualisation sur l'écran reçoivent des informations codées en provenance du calculateur. Ces informations décrivent des images. Elles sont décodées et transformées en ordres analogiques par le processeur de dessin via des fonctions micro-programmées. Les fonctions graphiques les plus couramment employées sont les suivantes : génération de vecteurs, de caractères, de symboles, gestion des types de traits (pointillés, tiretés, etc...), et des luminances, transformations géométriques planes (translation, rotations, symétries, échelles), dispositions de loupe, couplage de l'image sur une logique d'application par une structuration en plusieurs niveaux.

.../..



Synoptique d'une console graphique interactive du type AFIGRAF.

I : interface d'entrée/sortie.

1): circuit d'envoi d'images du calculateur vers la console.

2): affichage d'un graphisme.

3): interaction de l'opérateur.

4): envoi de commandes de l'ordinateur pour la console.

.../...

Les consoles à balayage cavalier ayant une image rafraîchie, les ordres binaires la décrivant doivent être stockés dans une mémoire dite d'entretien. Parmi les moyens d'action dont dispose l'opérateur sur une console graphique interactive, on trouve généralement un clavier analogue à celui des machines à écrire, pour l'entrée de texte ou de chiffres, et un clavier de fonction. Ce clavier est programmable suivant l'application et déclenche des traitements d'images ou des calculs spécifiques. Le photostyle peut-être utilisé de trois manières : en désignation d'un élément sur lequel l'opérateur souhaite agir, en dessin d'image ou en menu. Le menu consiste en l'affichage en clair, dans un coin de l'écran, du nom d'un certain nombre de fonctions. L'utilisateur peut déclencher une action en désignant simplement son nom au photostyle.

Le photostyle et le clavier de fonction constituent des éléments essentiels de dialogue entre un opérateur non informaticien (médecin, dessinateur, etc...) et l'ordinateur.

Illustrons ce chapitre par les divers types de problèmes que les consoles graphiques sont aptes à traiter.

Le premier secteur à se développer a été la conception assistée par ordinateur (C.A.O). Il faut entendre par là des applications où le dessin est principalement un support de réflexion, parfois de communication. Les transformations faites sur l'image ne prennent de sens qu'en liaison avec des modifications sur les autres représentations.

L'industrie aéronautique pour le calcul de profils d'ailes de fuselage d'avions, de pales d'hélicoptères, la construction navale pour la conception automatisée des bateaux géants actuels, et l'industrie automobile pour l'étude des carrosseries sont les principaux utilisateurs de consoles graphiques en C.A.O.

Un exemple particulièrement brillant est réalisé par le laboratoire de bio-informatique du CNRS où les études d'élasticité des viscères et des parois du coeur sont réalisées à partir d'une console graphique interactive.

L'enseignement programmé quant à lui s'est immédiatement tourné vers les consoles interactives pour des raisons évidentes de facilité d'amalgame de l'élève, du professeur et de l'ordinateur.

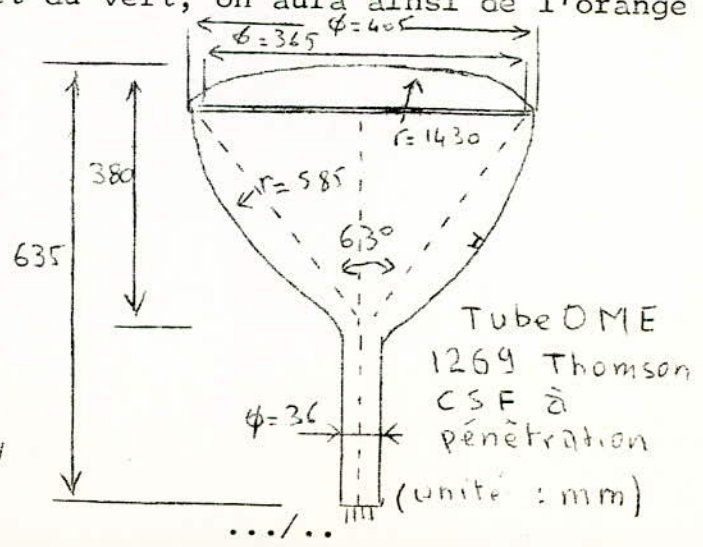
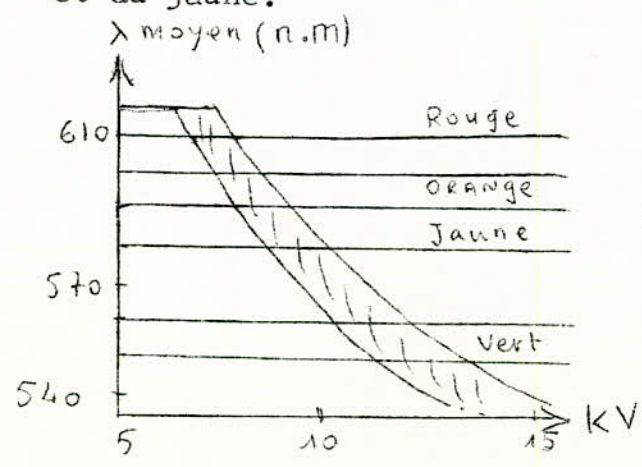
Cependant pour certaines applications, il est indispensable d'utiliser la couleur. Pour cela ont été développés des tubes multichromes; les plus répandus sont les tubes cathodiques à pénétration.

IV- CONSOLES A TUBES CATHODIQUES COULEUR A PENETRATION.

Le tube dichrome se présente comme un tube monochrome ordinaire. Il est équipé d'un seul canon, un culot et une verrerie classique. Sa particularité est dans la nature de la couche lumineuse déposée sur l'écran.

Cette couche uniforme complexe est constituée par deux luminophores différents séparés par une zone barrière. On utilise couramment deux poudres qui produisent des luminescences rouges et vertes (d'autres combinaisons sont possibles). Les grains de poudre (verts) sont enrobés d'une couche inactive formant une barrière de potentiel que seuls peuvent franchir les électrons rapides.

La commande de la couleur s'effectue en agissant sur la H.T anodique. Le phénomène mis à profit est la pénétration d'un seul luminophore à certains niveaux d'énergie des électrons issus du canon du tube. Usuellement, l'émission lumineuse "rouge" est obtenue entre 6 et 9 KV, la "verte" entre 12 et 18 KV. Evidemment entre ces 2 valeurs extrêmes, on peut avoir des couches intermédiaires résultant du dosage du rouge et du vert, on aura ainsi de l'orange et du jaune.



a) Unité cathodique couleur.

On peut obtenir pratiquement la même définition que dans les tubes monochromes soit 1024×1024 points sans masque, sans grille et sans limitation due au nombre restreint de grains de lumino-phore disposés sur l'écran.

On peut utiliser avec un seul canon un balayage "cavalier" mis à part les problèmes de commutation et de variation rapide de H.T.-

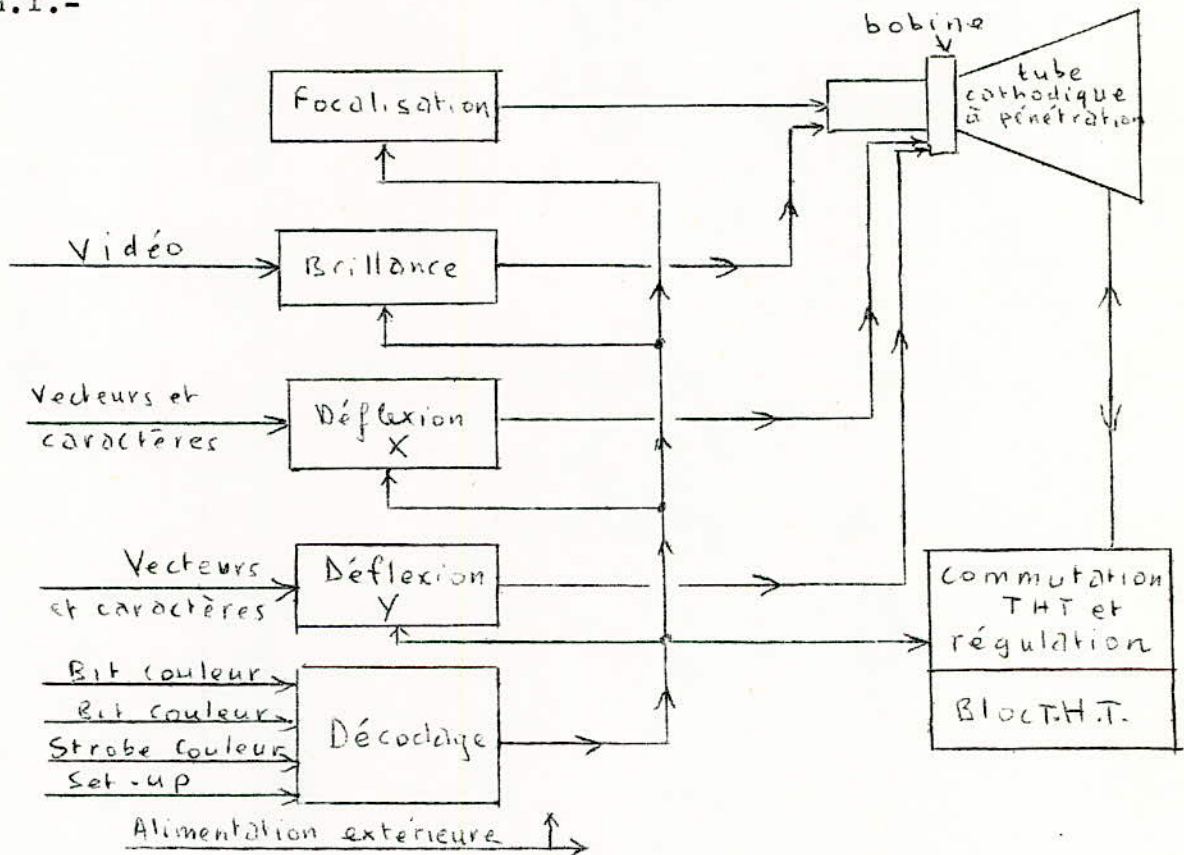


Schéma synoptique de l'unité cathodique.-

.../..

b) Unité de traitement.

Avec l'unité cathodique couleur à pénétration, on dispose de l'élément original assurant la visualisation, mais cet équipement est purement analogique et ne peut donc être connecté directement à l'ordinateur central qui délivre des messages strictement numériques. On aura donc recours à un convertisseur numérique/analogique.

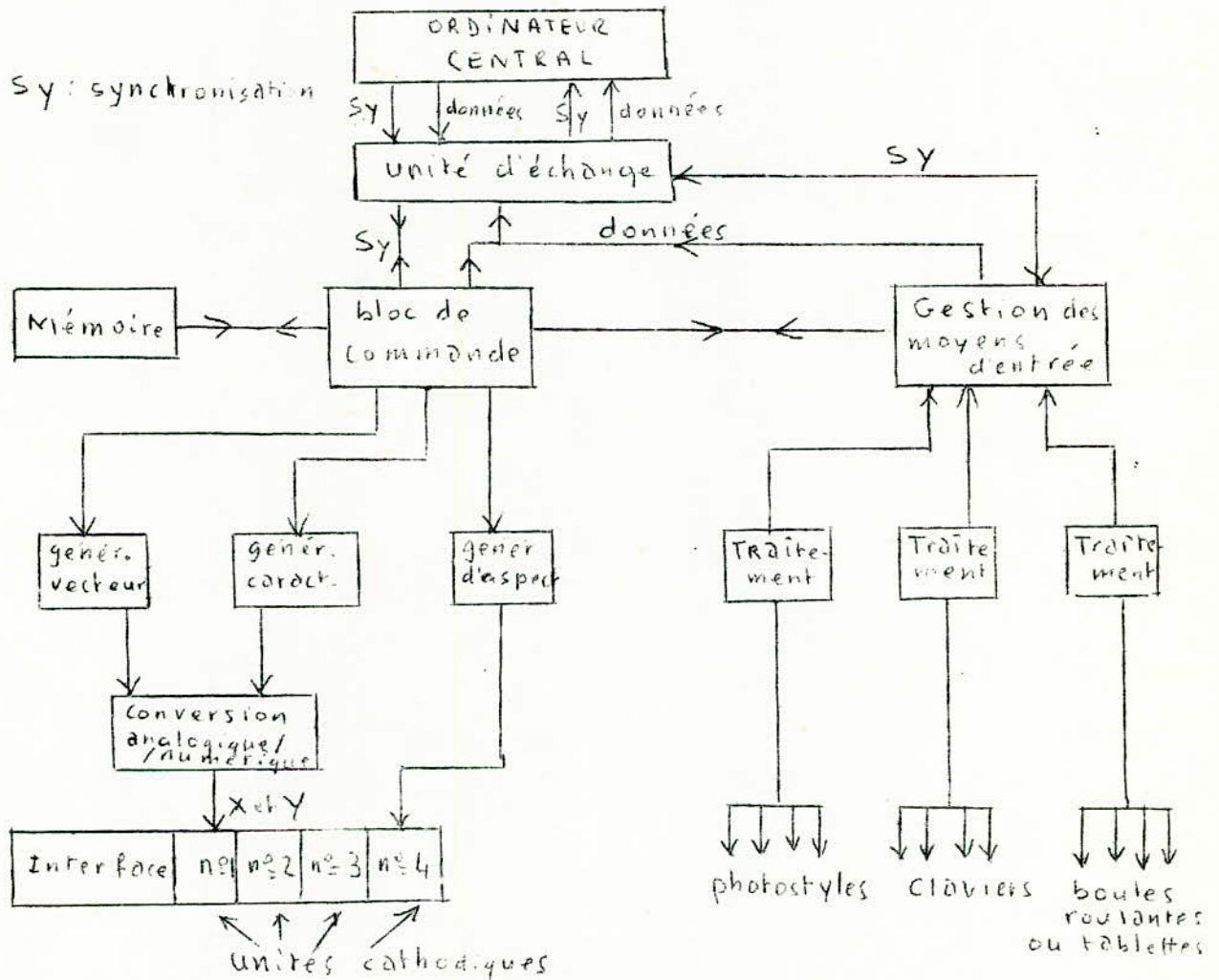


Schéma synoptique de l'unité de traitement.

Le fonctionnement de l'unité de traitement est coordonné par processeur graphique (bloc de commande) qui aiguille les instructions échangées entre l'ordinateur et la mémoire d'entretien interne de l'unité de traitement, appelle les données stockées dans cette mémoire et les présente aux générateurs élaborant les signaux de

.../...

commande des unités cathodiques (déflexion X et Y, luminance, commande de couleur).

La mémoire d'entretien est à tores de ferrite (4096 mots de 16 bits) qui peut stocker un minimum de 4 images/4 couleurs) très chargées. La liste des instructions correspondant aux images visualisées simultanément, est appelée cycliquement par le processeur graphique et, ce à une fréquence entre 35 et 50 Hz suivant les conditions d'exploitation notamment l'ambiance lumineuse de la salle opérationnelle.

Le générateur de vecteurs est à intégration numérique; il opère sur 12 bits. La définition de l'image programmée est de 10 bits. Le générateur de caractères est à base de circuits LSI programmables; sa capacité standard est de 60 caractères pouvant être représentés en 4 tailles différentes (120 caractères en extension).

Le générateur d'aspect permet 3 niveaux de brillance, les tracés, pointillés, le clignotement; à noter que pour obtenir une brillance quasi-uniforme quelle que soit la couleur, les vitesses de tracé, des vecteurs et caractères sont fonctions de leur couleur (les tracés plus lents correspondent à la tension anodique la plus faible e'est-à-dire un rouge). Il convient d'indiquer également que dans les configurations multi-écrans, la mémoire de rafraîchissement et les générateurs divers précités sont utilisés en partage de temps :

les images distinctes (jusqu'à 4) sont "écrites" sur tous les écrans à chaque période de rafraîchissement, mais le courant du faisceau cathodique est coupé sélectivement pour rendre invisible le tracé sur les écrans non concernés.

c) Moyens de dialogue.

Le photostyle permettant le pointage et le tracé.

La boule roulante pour la désignation.

La tablette pour l'écriture et le dessin graphique.

Le clavier alphanumérique et de fonctions d'édition : pour la rédaction de l'émission de messages.

.../..

Le clavier de fonctions programmées pour l'émission d'instructions codées.

Les informations émises par ces différentes sources sont gérées (mise en format 16 bits, mémorisation, multiplexage) dans l'unité de traitement et transmises séquentiellement à l'ordinateur via l'unité d'échange par son canal de sortie.

d) Caractéristiques générales de l'unité cathodique.

- Le tube cathodique monocanon polychrome à barrière de potentiel de 36 cm de diamètre 4 couleurs distinctes : rouge-orange-jaune-vert.
- Le décodage des informations de couleurs pilotant la commutation des tensions de modulation et de focalisation de la T.H.T. anodique et des circuits de déflexion.
- Le système de commutation de la tension anodique permettant jusqu'à 1024 commutations par seconde avec un temps de commutation inférieur ou égal à 50 micro-secondes.
- Circuits de balayage à déflexion dirigée (balayage cavalier).
- Bande passante signaux faibles supérieure ou égale à 2 Méga Hertz.
- Temps de positionnement pour 1 diamètre inférieur ou égal à 10 micro-secondes.
- Trois rapports d'agrandissement 1 - 1,2 - 1,5.
- Cycle de rafraîchissement entre 35 et 50 Hz - (à choisir) suivant les conditions d'exploitation.
- Vitesse de tracé des vecteurs et caractères variable suivant la couleur.
- Capacité maximale à 40 Hz : 1900 vecteurs de 1 pouce; 5000 caractères de taille 3 (taille usuelle).

Le tube cathodique, qui fut pendant très longtemps et est encore, un display de choix, voit cependant son prestige diminuer pour des raisons qui n'ont bien souvent rien à voir avec la qualité des images présentées. Il peut s'agir d'encombrement, de vitesse d'accès, de couplage avec un dispositif d'enregistrement ou tout simplement le désir de changer.

Dans la suite de cet exposé, nous traiterons les dispositifs de visualisation n'utilisant pas de tubes cathodiques mais des substances électroluminescentes ou des cristaux liquides.

oOo

DEUXIEME PARTIE

I- DEFINITIONS - PROPRIETES.

- 1) Définition.
- 2) Propriétés des cristaux liquides nématiques.
 - 2.1- Facteur d'ordre.
 - 2.2- Propriétés optiques.
 - 2.3- Propriétés électriques et magnétiques.
 - 2.4- Théorie élastique des C.L. nématiques.

II- EFFETS ELECTRIQUES.

- 1) Biréfringence électriquement contrôlée.
- 2) Nématique en hélice.
- 3) Diffusion dynamique.

III- PHASE CHOLESTERIQUE.

IV- APPLICATION DES CRISTAUX LIQUIDES.

- 1) Dispositifs à adressage électrique.
 - 1.1- Visualisation par diffusion dynamique.
 - 1.2- Visualisation par contrôle électrique de biréfringence.
 - 1.3- Visualisation par nématique en hélice.
- 2) Dispositifs à adressage électronique.
- 3) Dispositifs à adressage optique.
 - 3.1- Convertisseur de lumière à C.L. et photoconducteur.
 - 3.2- Atténuateur à C.L.
 - 3.3- Visualisation par effet thermo-optique.
- 4) Cellule à cristal liquide à mémoire.

V- PRINCIPAUX PRODUITS UTILISES EN C.L.

oOo

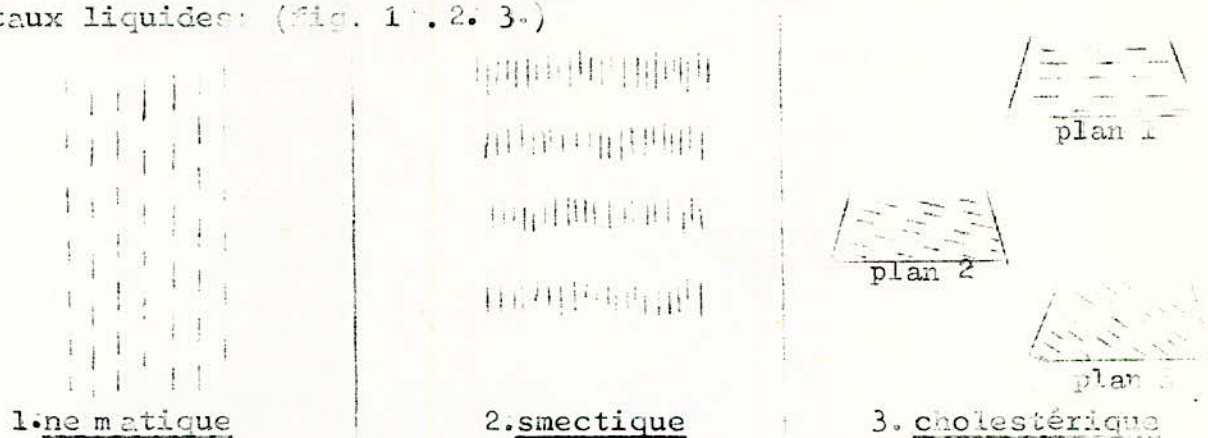
B I B L I O G R A P H I E

- I. BAJENESCO : Evolution et perspectives des moyens d'affichage - Electronique et micro électronique industrielles n° 169.
- G. BROUSSAUD : OPTOELECTRONIQUE Ed. Masson et Cie.
- J. ROBILLARD : Application de la physique de l'Etat Solide aux systèmes d'affichage d'informations - Revue RIT n° 15.
- :+ Revue technique Thomson CSF 6-73 Volume 2 n°5.

A-LES CRISTAUX LIQUIDES ET LEURS APPLICATIONS

I. DEFINITION - PROPRIETES.

1) On appelle cristal liquide, ou mieux, "état mésomorphe" l'état de la matière qui possède simultanément les propriétés d'un solide cristallin (anisotropie spatiale des propriétés physiques, et celle d'un liquide (fluidité, coalescence des gouttes par contact, etc). Découvert en 1888 par Lehmann et Rönitzer, cet état mésomorphe peut être atteint par chauffage de certains matériaux ; pour d'autres par dissolution dans un solvant. On distingue donc les thermotropes pour lesquels la phase mésomorphe se situe entre deux températures T_1 et T_2 et les lyotropes dont le domaine d'existence est limité par 2 concentrations C_1 et C_2 - Schématiquement, les molécules d'un cristal liquide ont la forme d'un fuseau allongé pour lequel on peut définir un grand axe. Parmi les thermotropes on distingue les trois types de cristaux liquides: (fig. 1. 2. 3.)



- La phase nématique : les molécules ont leur grands axes parallèles à une certaine direction mais leurs centres de gravité sont répartis au hasard, comme dans un liquide ordinaire.

- La phase cholestérique : elle est caractérisée par des plans parallèles équidistants contenant les molécules. Dans chaque plan, les molécules s'alignent parallèlement à une direction préférée et cette direction tourne d'un angle constant d'un plan au suivant;

.../...

la configuration résultante est celle d'une hélice quand on se déplace sur une perpendiculaire aux plans contenant les molécules.

- La phase smectique : Les centres de gravité de molécules sont répartis au hasard dans des plans parallèles et équidistants l'axe de molécules peut être soit perpendiculaire soit parallèle aux plans contenant ces centres de gravité.

Les propriétés communes aux cristaux liquides de différentes phases sont :

- composition organique
- molécule de forme allongée
- chaîne centrale rigide (les double-liaisons sont fréquentes le long de l'axe moléculaire)
- présence simultanée de forts dipôles et de groupements aisément polarisables dans la molécule (la présence de noyaux aromatique est favorable).

Ces caractéristiques expliquent la fréquence de la formation d'un état mésomorphe (une substance organique sur 200 peut donner un cristal liquide).

2) Propriétés physiques des cristaux liquides nématiques

Les recherches actuelles sont axées généralement sur le type nématique des cristaux liquides dont nous verrons plus loin les avantages sur les autres types.

2.1. Facteur d'ordre

La dualité de l'état solide cristallin et liquide s'explique par l'existence d'un ordre moléculaire partiel. Cet ordre moyen ne tient pas compte des fluctuations pouvant intervenir.

On définit alors un taux d'ordre moyen d'orientation par

$$S = \frac{1}{2} (3 \overline{\cos^2 \theta} - 1)$$

où θ est l'angle de l'axe de la molécule avec la direction moyenne d'alignement - Les crochets signifient que l'on fait la moyenne

.../...

thermodynamique et la moyenne sur toutes les molécules. Pour un ordre parfait, $S = 1$, pour le désordre $S = 0$; pour le nématique $S = 0,7$.

La plupart des caractéristiques physiques dépendent de ce facteur d'ordre.

2.2- Propriétés optiques.

Le nématique se comporte comme un cristal uniaxe dont l'axe optique est la direction d'alignement des molécules. Ceci, du fait de la symétrie cristalline du nématique. La biréfringence Δn (différence entre l'indice N_e mesuré par une polarisation parallèle au directeur et l'indice N_o mesuré dans un plan perpendiculaire) est toujours positive. De plus sa valeur est élevée, elle atteint 0,3 pour un indice moyen de 1,5.

2.3- Propriétés électriques et magnétiques.

La constante diélectrique et la susceptibilité magnétique sont anisotropes. On met en évidence un tenseur de susceptibilité magnétique $\tilde{\chi}$ et un tenseur diélectrique $\tilde{\epsilon}$ qui ont chacun 2 valeurs propres différentes (et non trois communes dans les solides cristallins puisqu'une rotation autour de la direction d'alignement ne change pas le cristal liquide). Une des valeurs propres correspond à une mesure dans un plan perpendiculaire au directeur (α_{\perp} et ϵ_{\perp}), l'autre à une mesure parallèle à n (α_{\parallel} et ϵ_{\parallel}). La composante ϵ_{\parallel} ne présente pas d'anomalie en fonction de la fréquence mais la constante ϵ_{\perp} montre une relaxation pour des fréquences de l'ordre du mégahertz. Cette différence est due au fait qu'il est difficile de faire tourner la molécule autour d'un axe perpendiculaire à la direction d'alignement (alors que la rotation autour du grand axe est libre).

La résistivité électrique du cristal liquide est plus importante perpendiculairement à la direction d'alignement que parallèlement. $\frac{\rho_{\perp}}{\rho_{\parallel}} \approx 1,5$. Suivant la concentration des charges du cristal liquide, il s'ensuit un déplacement des ions parallèlement aux molécules ou une rotation des molécules qui se mettent dans le sens du déplacement des ions.

2.4- Théorie élastique des cristaux liquides nématiques.

On s'intéresse, à titre d'information seulement aux effets énergétiques associés à une déformation continue d'un monocristal nématique provoquée par l'application d'un champ extérieur. Cette déformation est décrite par l'orientation des molécules définie par le vecteur unitaire n (m). L'originalité de cette théorie réside dans le fait que l'énergie élastique est indépendante des déplacements locaux des molécules **puisque** dans le nématique, les centres de gravité sont répartis de façon quelconque. Elle ne dépend que des rotations locales du directeur. P.C. FRANK a montré qu'il existait trois déformations fondamentales :-

1) Déformation en éventail : le rayon de courbure R_1 est donné par :

$$\frac{1}{R_1} = \text{div } n$$

2) Déformation de torsion : $\frac{1}{R_2} = -n \text{ rot } n$

3) Déformation de flexion : $\frac{1}{R_3} = n \wedge \text{rot } n$

Une déformation quelconque mais petite peut être décomposée en une somme pondérée de ces trois déformations élémentaires fondamentales.

L'énergie libre de déformation est :

$$F = \frac{1}{2} \int_V [K_{11} (\text{div } n)^2 + K_{22} (n \text{ rot } n)^2 + K_{33} (n \wedge \text{rot } n)^2] dv$$

K_{ii} étant des constants élastiques du cristal liquide.

Lorsque le cristal liquide est soumis à un champ extérieur, il faut ajouter à F le terme d'interaction F_i du champ avec le cristal liquide :

$$F_i = - \frac{1}{2} \int_V [\epsilon_a (\nabla \cdot E)^2 + \mu_a (N \cdot H)^2] dv.$$

$\epsilon_a = \epsilon_{\perp} + \epsilon_{\parallel}$: anisotropie de la constante diélectrique.

$\mu_a = -\alpha_{\perp} + \mu_{\parallel}$: anisotropie de la susceptibilité magnétique.

Du fait de ces anisotropies, le nématique s'oriente dans un champ extérieur - le directeur n tend à se mettre parallèle au champ local si l'anisotropie est positive et perpendiculaire

si celle-ci est négative - Expérimentalement, on constate que ϵ_a est généralement positive alors que ϵ_a est indifféremment positive ou négative (suivant la nature du cristal liquide).

II - EFFETS ELECTRIQUES.

Un champ électrique appliqué à un cristal liquide a un double effet d'alignement :

-Un effet purement diélectrique dû à l'anisotropie de la constante diélectrique, il est décrit par la théorie élastique précitée.

-Un effet de conduction ionique : cet effet secondaire peut être évité si on applique un champ électrique dont la fréquence est supérieure à la fréquence de relaxation des charges f_r du cristal liquide = les ions sont immobiles et n'interviennent plus dans l'alignement. Les effets du champ électrique peuvent donc être classés en plusieurs catégories suivant que l'effet d'orientation ionique existe ou non et qu'il s'oppose ou favorise l'orientation purement diélectrique.

On a formé le tableau suivant :

	$f < f_r$	$f > f_r$
$\epsilon_a > 0$	Alignement parallèle au champ électrique	
$\epsilon_a < 0$	Compétition entre alignement diélectrique et alignement de conduction.	Tendance à l'alignement perpendiculaire au champ électrique.

où f est la fréquence du champ électrique et f_r : la fréquence de relaxation des charges du cristal liquide $f_r = \frac{1}{2\pi\tau}$

Quelle que soit l'effet utilisé, la mise en œuvre du cristal liquide est la même - il s'agit d'un condensateur plan dont le diélectrique est un film nématique. Son épaisseur (10 μm) est déterminée par des cales de mylar. Les électrodes sont des dépôts d'oxyde d'étain ou d'un mélange d'oxyde d'indium et d'oxyde d'étain sur du verre. Leur transmission est supérieure à 95% tandis que celle de la cellule complète est de l'ordre de 90%.

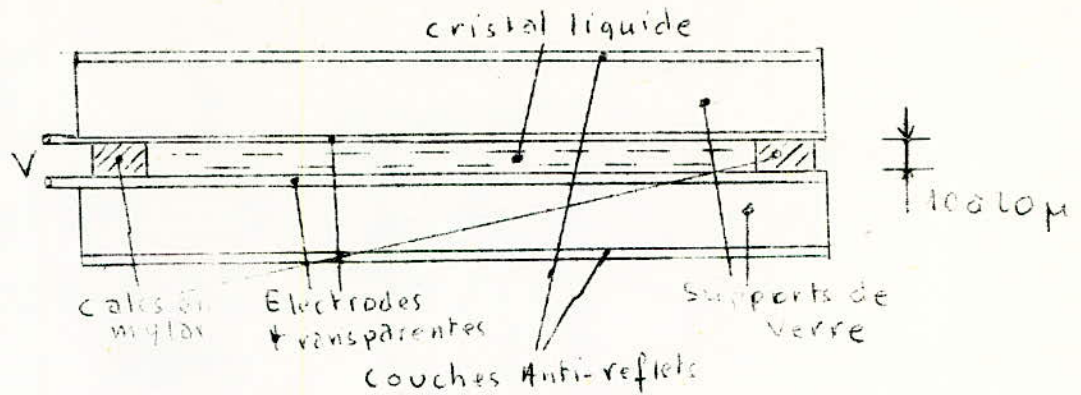


fig: Cellule à cristal liquide.

2.1- Biréfringence électriquement contrôlée .

Le principe de cet effet est la visualisation de la rotation d'alignement des molécules sous l'effet d'un champ électrique par la variation de la biréfringence que cette rotation induit, La cellule à cristal liquide est optiquement équivalente à une lame cristalline à faces parallèles .

Elle présente donc les phénomènes de polarisation propres à ces lames cristallines .

Placée entre polarisateurs croisés, sa transmission est:

$$I = I_0 \sin^2(2\alpha) \sin^2 \frac{2\delta(V)}{\lambda}$$

α est l'angle que fait la direction de polarisation de la lumière avec la direction des lignes neutres de la cellule.

$\delta(V)$ est le retard optique induit par l'épaisseur du nématique.

Si θ est l'angle que font la direction d'alignement des molécules et la lumière;

$$\delta = \left[\frac{n_e}{\left(1 - \frac{n_e^2 - n_o^2}{n_o^2} \cos^2 \theta\right)^{1/2}} - n_o \right] \cdot e$$

n_o et n_e étant les indices définissant la biréfringence

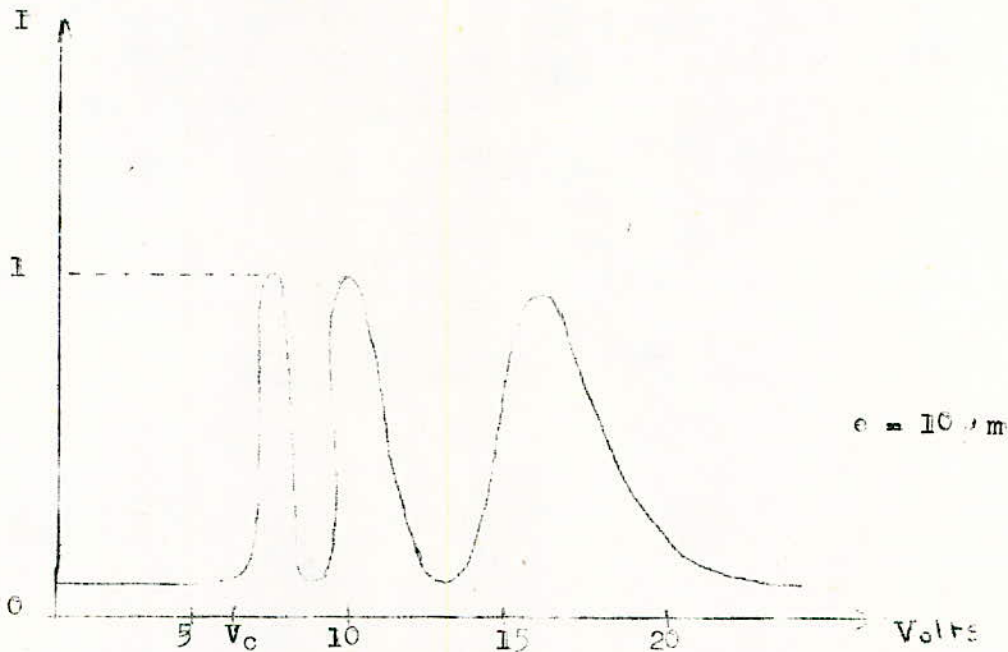
Si l'on éclaire la cellule en lumière parallèle:

-monochromatique, elle module l'intensité transmise entre une valeur nulle et l'intensité incidente (au coefficient de qualité des polarisateurs près).

-polychromatique, elle modifie le spectre de la lumière, incidente donc sa couleur.

La particularité du cristal liquide est la possibilité de modifier la transmission I en appliquant un champ électrique extérieur du fait de la dépendance existant entre I et le champ appliqué. La transmission de la cellule est très faible (lumière se propageant parallèlement à l'axe optique) puis augmente quand la tension dépasse une tension seuil V_c , conformément à la relation

$$I \propto \sin^2 \frac{2\pi \delta(v)}{\lambda}$$



Courbe $I = f(V)$ en lumière monochromatique.

La théorie de FRANK donne :

$$V_c = \pi \left(\frac{K_{11}}{1 - \epsilon_a} \right)^{1/2}$$

K_{11} et ϵ_a définis plus haut.

2.2 - Nématique en hélice.

Cet effet s'observe sur des corps pour lesquels $\epsilon_a > 0$ (s'alignent parallèlement au champ appliqué). Les électrodes et les parois sont traitées de façon à ce que les molécules s'alignent parallèlement à une direction A appartenant au plan des parois. Les deux directions des 2 parois font un angle de $\frac{\pi}{2}$. On obtient

.../...

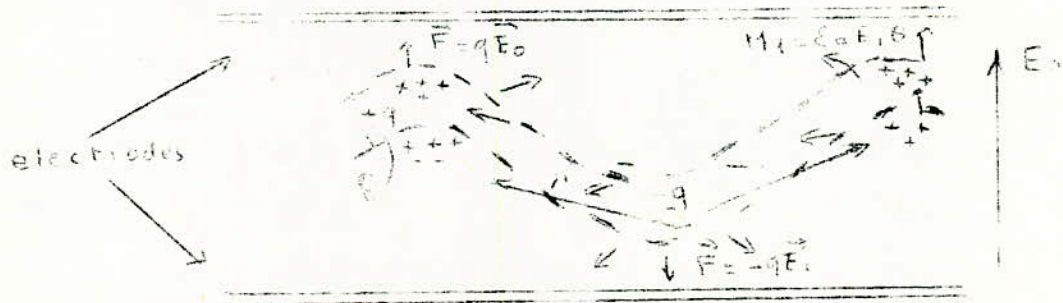
artificiellement une structure cholestérique dont le pas est quatre fois l'épaisseur de la cellule (40 μ m). En présence d'un champ électrique, les molécules tendent à se mettre perpendiculairement aux parois. La structure ne présente donc plus ni pouvoir rotatoire ni biréfringence puisque la lumière se déplace parallèlement à l'axe optique. Le plan de polarisation est inchangé à la traversée du cristal liquide. Si les polarisateurs sont parallèles, la cellule au repos est noire, alors qu'elle est transparente sous champ - entre polarisateurs croisés, elle est noire sous tension

2.3- Diffusion dynamique.

Dans ce cas, l'anisotropie diélectrique ϵ_a est négative. L'effet observé à des fréquences $f \ll f_r$ a son origine dans la compétition entre l'alignement diélectrique (perpendiculaire à E) et l'alignement de conduction (parallèle à E). Au delà d'une tension seuil V_c , cet antagonisme conduit à une instabilité de l'ordre nématique avec création de perturbations. Celles-ci provoquent des fluctuations locales de l'indice de réfraction donc diffusion de la lumière.

Description du mécanisme :

Supposons que l'alignement nématique au repos soit en moyenne parallèle aux électrodes. Du fait de l'agitation thermique à un instant donné, cette structure est légèrement distordue. Si la distorsion est périodique comme le montre la figure :-

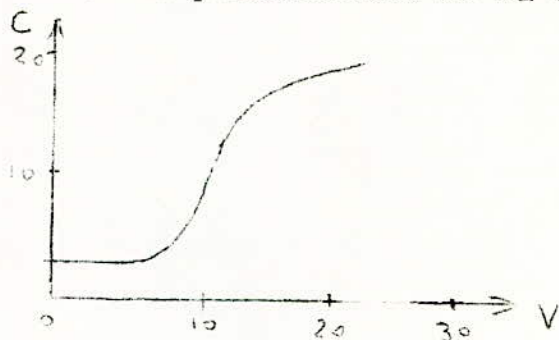


On voit apparaître en présence de E des charges d'espace $+q$ et $-q$ provoquées par l'anisotropie de conductivité (les charges se déplacent parallèlement aux molécules). Soumises au champ E_0 , ces charges se déplacent en entraînant les molécules qui se mettent parallèles au champ : la tension initiale est amplifiée d'où instabilité. Les charges créent un champ E_1 supplémentaire qui est déstabilisant puisqu'il tend à faire tourner la molécule.

Si le champ électrique appliqué change de sens, les charges $+q$ et $-q$ s'échangent mais le signe des couples exercés sur les molécules ne change pas. Les instabilités s'observent donc en courants alternatifs, à fréquence suffisamment basse pour que les charges $+q$ et $-q$ puissent se déplacer.

Les phénomènes en courant continu sont peu différents du fait de la nature de l'électrode et de la polarisation de la cellule

Relation contraste-tension.



La figure ci-dessus montre le contraste en fonction de la tension appliquée. Le rapport étant la brillance de la cellule soumise à une tension $V > V_c$ et celle de la cellule au repos.

V_c est comprise entre 6 et 9 V. Le contraste augmente jusqu'à une certaine limite avec l'épaisseur du film nématique. Les temps de réponse sont longs 10 ms et 100 ms pour le retour à l'état de repos.

III - PHASE CHOLESTÉRIQUE.

Comme décrit plus haut, le cristal cholestérique est un réseau de plans parallèles définis par une distribution uniforme de molécules orientés suivant la même direction. D'un plan au suivant, cette direction tourne d'un angle constant voisin de 15 minutes d'arc. L'arrangement sur une normale à ces plans est une hélice dont

le pas varie de $0,3 \mu$ à $0,7 \mu$. Cette configuration permet de comprendre l'essentiel du comportement optique des substances cholestérique :

a) un fort pouvoir dichroïque.

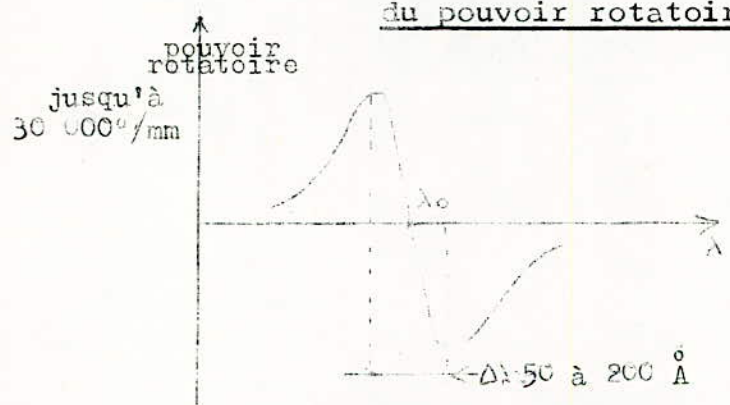
b) une activité optique pouvant être très élevée ($30.000^\circ/\text{mm}$ contre $20^\circ/\text{mm}$ pour le quartz).

Ces deux propriétés sont liées aux résonances possibles du champ électromagnétique dans l'hélice (incident). C'est ainsi que le pouvoir rotatoire s'annule en changeant de signe lorsque :-

$$\lambda = n p = \lambda_0$$

où n est l'indice moyen du milieu et p le pas de l'hélice; est de ce fait appelé longueur d'onde d'inversion.

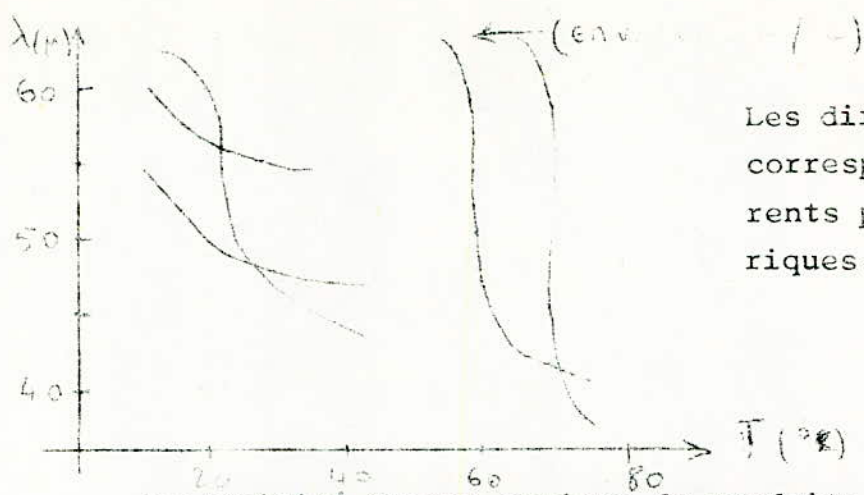
Figure : Activité optique d'un film cholestérique, dépendance du pouvoir rotatoire avec la longueur d'onde.



La haute surtension de la résonance est à l'origine des couleurs extrêmement pures réfléchies par un film cholestérique éclairé en lumière blanche. Il y a réflexion sur la longueur d'onde $\lambda_0 \pm \Delta\lambda$ pour les radiations incidentes polarisées circulairement dans le sens de l'hélice et transmission pour les radiations polarisées circulairement en sens inverse.

Influence de la température.

Comme à propos de nématiques, la structure cholestérique peut être influencée par l'application d'un champ électrique ou magnétique. Mais c'est à leur sensibilité à la température (effet thermo-optique) que les cholestériques doivent l'essentiel de leurs applications.



Les différentes courbes correspondent aux différents produits cholestériques.

Sensibilité thermo-optique de produits cholestériques.

Quant à la phase smectique, elle ne diffère de la phase nématique que par la stratification des molécules c'est-à-dire par une contrainte supplémentaire imposée à leurs mouvements. Moins sensibles de ce fait que les nématiques aux perturbations extérieurs électriques ou magnétiques, les smectiques n'ont pas encore trouvé de domaine pratique d'emploi.

IV - APPLICATIONS DES CRISTAUX LIQUIDES A LA VISUALISATION -

L'éventail des applications des cristaux liquides à la visualisation est très large, que ce soit dans le procédé utilisé ou dans l'effet final recherché.

Dans les procédés utilisés on peut rencontrer trois genres d'adressages.

IV-1. Dispositif à adressage électrique.

1-1. Visualisation par diffusion dynamique.

Les temps de réponse attachés au phénomène de diffusion dynamique sont relativement long (10 ms à l'écriture et 100 ms au retour à l'état initial comme cité plus haut). De ce fait, l'utilisation des cristaux liquides se prête mal à l'adressage électrique xy. Il faut aussi commander le système par des tensions élevées (centaine de volts) pour permettre aux impulsions de commande de 5 ms seulement et ceci complique le problème de seuil (30 V au lieu de 2 à 5 V en régime normal).

L'observation de la cellule est soit en transmission (il faut alors une source de lumière derrière celle-ci) soit en réflexion en utilisant seulement la lumière ambiante. Le film nématique paraîtra alors obscur en l'absence de tension et brillant sous tension. Un point excité est donc blanc sur fond noir. En donnant aux électrodes un graphisme approprié, on peut visualiser une information.

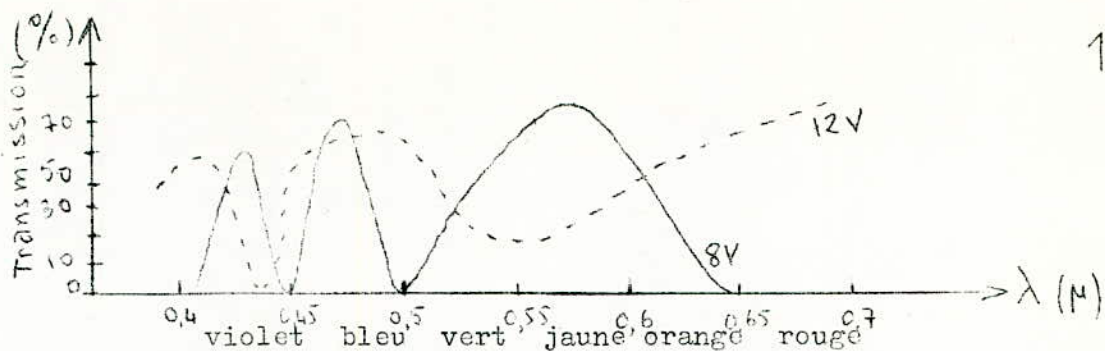
En général, on inscrit des caractères à l'aide de segments : 16 pour l'affichage alphanumérique ou 7 pour l'affichage numérique.

Les caractéristiques sont :

- Affichage plat (Epaisseur 3 à 6 mm)
- Dimensions de segments quelconques (5 mm à 300 mm).
- Tension de commande et consommation faibles (15 V, $150 \mu W/cm^2$)
- C'est un modulateur de lumière (et non une source) et permet la visualisation en milieu à haut niveau d'éclairement.
- Variations en fonction de la température du temps de réponse et de la résistance élevées.
- Durée de vie limitée par l'électrolyse produite par le passage du courant.

1.2- VISUALISATION PAR CONTRÔLE ÉLECTRIQUE DE BIREFRINGENCE

La structure la plus intéressante du point de vue visualisation correspond à la structure homéotrope au départ avec un produit à anisotropie négative. Les raisons en sont : l'obtention d'un contraste meilleur (couleur sur fond noir), tension seuil plus élevée, avantage pour le multiplexage. La variation du chromatisme est surtout sensible entre le vert et le rouge. C'est ce que l'on observe en pratique : lorsque la tension appliquée est portée de façon continue de 8 V à 12 V (pour une fréquence de 5 KHZ) la couleur de la cellule passe, de façon continue elle aussi, du vert au rouge. On a relevé les caractéristiques spectrales de transmission tracées pour 2 valeurs de la tension appliquée à la cellule.



La durée de vie de cette cellule est accrue par rapport à la diffusion dynamique car la fréquence utilisée est supérieure à celle de relaxation des charges du cristal liquide et il n'y a plus électrolyse. Une autre caractéristique de la biréfringence électriquement contrôlée est sa possibilité de répondre à des impulsions de faible durée (10 ps) et de cadence suffisante; si τ est la durée de l'impulsion et T sa période; $n = \frac{T}{\tau}$ est le nombre de points pouvant être excités séparément pendant le temps $(T - \tau)$ où le point (x, y) n'est pas excité.

En introduisant les informations colonnes parallèles sur une matrice et en effectuant un balayage sur les lignes, on peut avoir 10.000 points excités en une période de rafraîchissement.

Ces remarquables performances exigent malheureusement que la cellule soit observée en transmission et éclairée en lumière parallèle (ou pseudoparallèle). Il ne saurait donc être question ici de travailler en seule lumière ambiante comme cela est faisable avec la diffusion dynamique.

1.3 Visualisation par nématique en hélice.

Il suffit d'introduire la cellule entre un polariseur et un analyseur pour traduire par des variations d'intensité lumineuse les variations d'anisotropie du cristal liquide. Ainsi, si le polariseur et l'analyseur sont orientés dans la même direction, la transmission de la cellule en champ nul est égale à zéro puisque la polarisation a tourné de $\frac{\pi}{2}$ en traversant le film nématique. En présence d'un champ appliqué, et lorsque l'axe optique est devenu perpendiculaire aux électrodes, la transmission est au contraire voisine de l'unité (les mêmes états peuvent être observés

.../...

aussi, mais en ordre inverse, dans la configuration polariseur-analyseur croisés). Ce mode de fonctionnement est caractérisé par une dynamique étroite; aussi est-il utilisé surtout en commutateur de lumière. L'avantage sur la diffusion dynamique et la biréfringence est la tension seuil très faible (1V), celle de saturation de 3 V et la consommation réduite à quelques $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

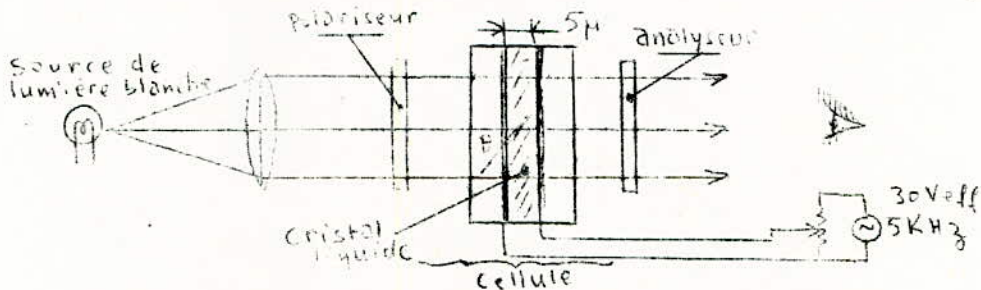
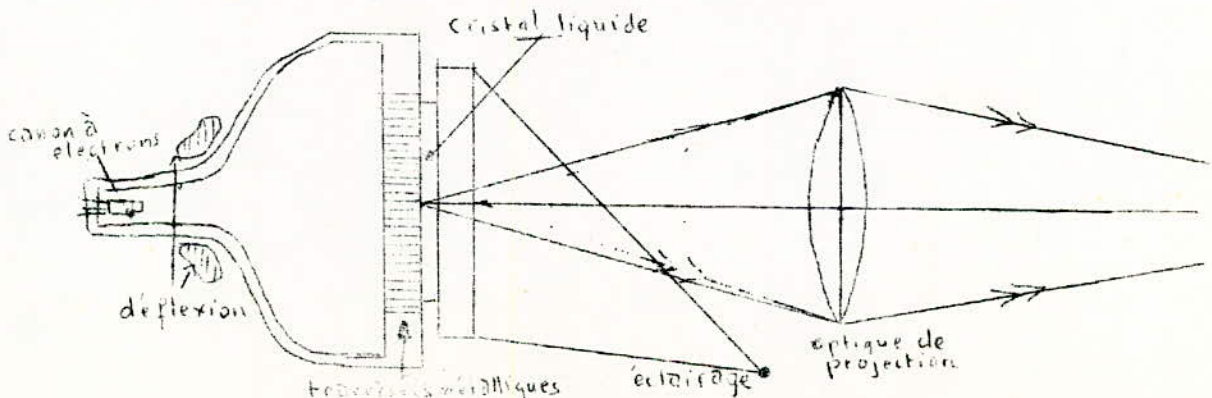


fig: Dispositif "sandwich" utilisant la transmission pour la Visualisation.

IV.2- Dispositifs à adressage électronique.

L'adressage d'une matrice à base de cristaux liquides est plus facile à l'aide d'un faisceau d'électrons que d'électrodes croisées. Mais comme on perd l'avantage de l'écran plat, cette méthode se prête plutôt pour les modulateurs bidirectionnels de lumière, c'est-à-dire pour la projection sur grand écran.

Comme il n'est pas possible de disposer le cristal liquide sur la trajectoire des électrons, on réalise l'adressage au moyen de traversées métalliques capables d'apporter jusqu'au film mésomorphe les charges délivrées par le faisceau d'électrons. On aura le dispositif suivant pour projection sur grand écran :-



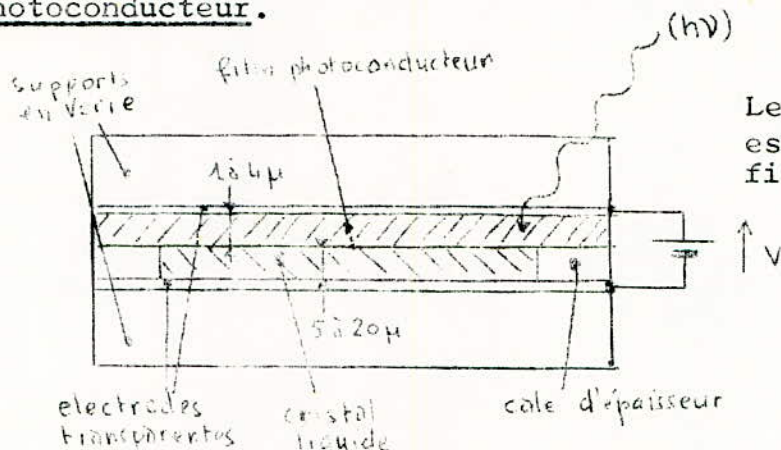
Adressage électronique d'un film de cristal liquide

(schéma de principe d'un modulateur de lumière pour projection

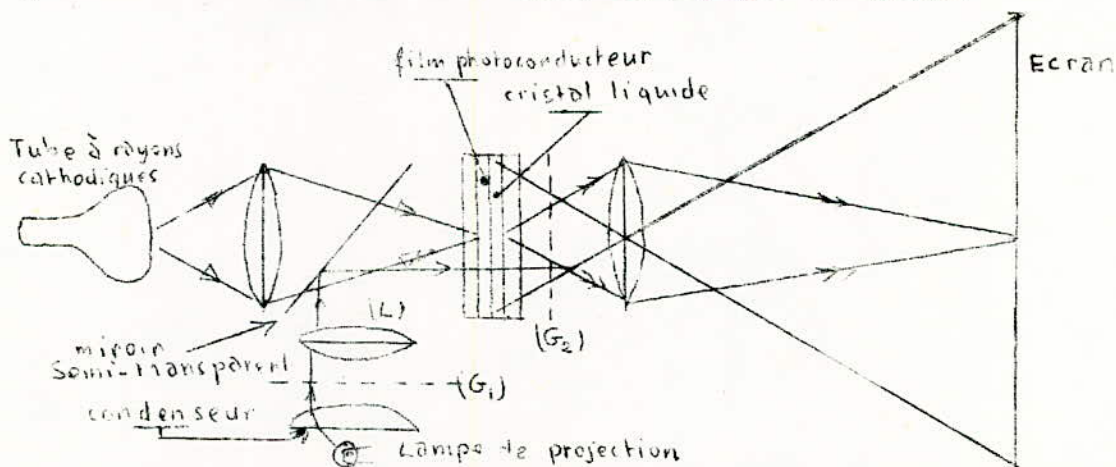
10

IV-3. Dispositifs à adressage optique.

3.1- Convertisseur de lumière à cristal liquide et photoconducteur.



La tension V continue est appliquée aux électrodes. Dans l'obscurité, la résistance du nématique est inférieure à celle du photoconducteur. De ce fait, la quasi-totalité de V est sur le photoconducteur et le nématique reste transparent. Si le photoconducteur est éclairé, sa résistance diminue en fonction de la lumière reçue et une partie plus ou moins grande de V se reporte sur le nématique modulant ainsi sa transparence. Une image s'inscrit alors sur le nématique et peut être projetée. Un exemple d'utilisation de convertisseur d'images à cristal liquide et photoconducteur est donné dans la figure ci-après.



La lentille (L) et les grilles forment une optique de Schlioren, dont le rôle est d'accroître le contraste de la projection.

Les applications de ce système sont :

- Réprographie
- Convertisseur d'images infrarouges et ultraviolets
- transmission de documents par voies téléphoniques.

3.2. Atténuateur à cristal liquide

Le phénomène de diffusion de la lumière par un cristal liquide nématique soumis à un champ électrique peut être utilisé pour contrôler un faisceau lumineux. D'après la figure 3.2. montrant le principe de l'atténuateur si s est la surface de la pupille de sortie de l'appareil vue par le cristal liquide, ϕ le flux traversant s et $S(V)$ la surface, dans le plan de cette pupille de sortie, du faisceau lumineux quand le cristal diffuse du fait de l'application d'une tension V , le flux transmis n'est plus que de l'ordre de

$$\phi = \frac{s}{S(V)}$$

L'atténuation est d'autant plus importante que s est petit.

Les avantages de ce système sont :

- absence de pièces mobiles (fiabilité supérieure à celle d'un système mécanique analogue)
- faible tensions et puissances mises en jeu
- uniformité de réponse spectrale
- encombrement réduit
- faible prix.

Quant aux inconvénients, ils sont à considérer, notamment l'impossibilité de donner a priori l'atténuation puisqu'elle dépend de la géométrie de l'appareil sur lequel la cellule est montée ; la cellule ne doit pas être proche de la source lumineuse car l'échauffement produirait des variations dans les caractéristiques du cristal liquide.

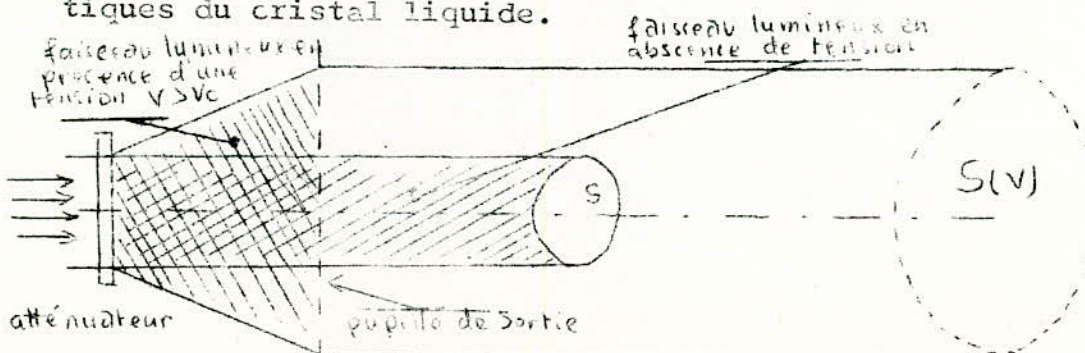
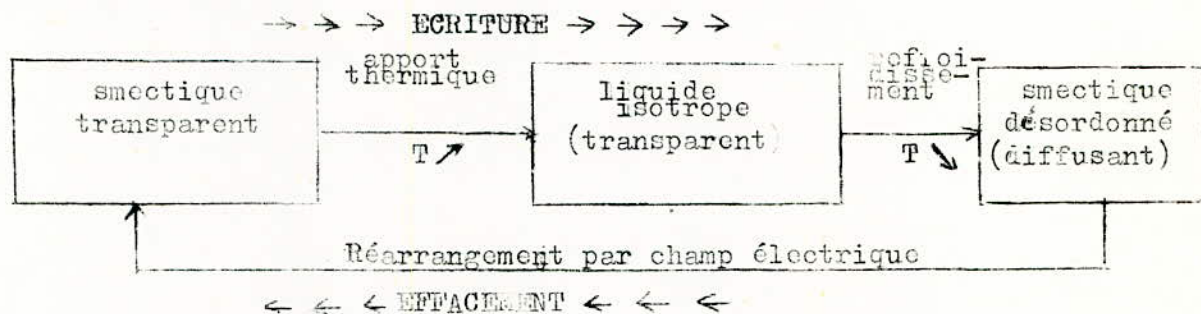


Fig. 3.2. atténuateur à cristal liquide.

3.3. Visualisation par effet thermo-optique.

Il s'agit là aussi d'un effet de diffusion mais statique lié au fait que le passage de la phase liquide à la phase mésomorphe du cristal (par décroissance de la température) peut donner lieu à un arrangement moléculaire complémentaire désordonné. Le retour à l'état ordonné est effectué électriquement par application aux électrodes d'une tension alternative $\sphericalangle 50 \text{ Veff}; 1\text{à}5\text{kHz}$

Le synoptique de l'opération est le suivant :



L'utilisation de ce mécanisme suppose qu'un balayage thermique de la cellule puisse être effectué dans un temps et une rigueur compatibles avec la bande passante de l'information à visualiser. Une source d'énergie est alors localisée sur un point de la cellule. On utilise un laser YAG (50 mW, à $1,06 \mu\text{m}$) dont les électrodes absorbent partiellement l'énergie et chauffent localement le cristal liquide. Celle-ci effectue les transitions décrites dans le schéma du mécanisme ci-dessus et permet la visualisation de l'information (point noir sur fond éclairé si c'est le point inscrit).

-L'effacement total de la cellule se fait application d'une tension électrique de 50 V, 1 à 5 KHz.

-L'effacement partiel (sélectif) s'obtient par effet mixte électro-thermique le faisceau laser réchauffe le point inscrit en phase liquide isotrope mais une tension de l'ordre de 20 V est appliquée à l'ensemble de la cellule lors du refroidissement. Dans ces conditions l'effet orientant du champ électrique n'agit que sur le point qui a été adressé par le laser.

Les principales caractéristiques employant l'effet thermo-optique sont :

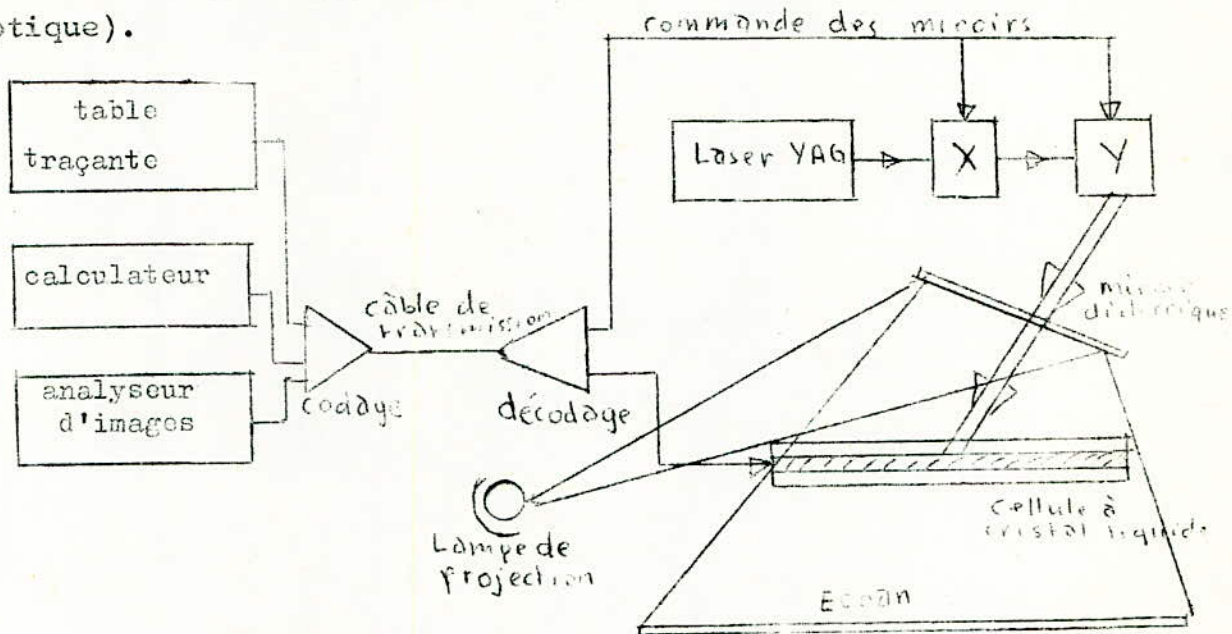
-une haute définition de l'ordre de 20 par cellule.

.../...

-un contraste élevé (mesuré sur l'écran, il est de l'ordre de 20/1)

-une échelle de gris continue (4 demi-teintes séparées)

Le prototype suivant a été présenté : (on donne son synoptique).



Il est constitué par :

-un laser YAG ($\lambda = 1,06 \mu m$; 50 mw).

-un doublet afocal destiné à élargir le faisceau; il est appelé à minimiser la tache de diffraction du faisceau laser.

-un système de miroirs tournants destinés à défléchir en x - y le faisceau laser.

-un système de projection par transmission : il y a séparation complète de lumières d'inscription et de projection au niveau de la cellule qui est transparente dans le visible et absorbante dans le proche infra-rouge. Deux procédés de visualisation sont expérimentés grâce à ce prototype :

1). La reproduction et la projection d'images transmises par un signal BF.

La cellule est adressée par le laser suivant le balayage Télévision. On obtient une modulation spatiale de la transparence de la cellule en appliquant une tension électrique modulée en amplitude entre les électrodes. Cette tension, caractéristique du signal Vidéo, module seulement la transparence du point adressé par le laser. Cette modulation directe est d'un grand intérêt

.../..

puisqu'elle ne fait pas appel à un modulateur acousto-optique. Une image de 300 lignes est reproduite dans un cadre de 15 x 15 mm. Le temps de reproduction est de l'ordre de 1 minute. Ces données correspondent à une transmission par ligne téléphonique classique.

2) Adressage versatile de la cellule.

Dans ce procédé, l'affichage est binaire. La déflexion du laser peut être commandée par l'intermédiaire d'une table traçante. Cette visualisation convient particulièrement bien à la reproduction de graphes, textes etc... L'application de ce procédé une fois développé, peut avoir lieu dans le trafic routier, aérien maritime, assistance médicale, télé-enregistrement, reproduction de graphes, caractères, diapositives. etc....

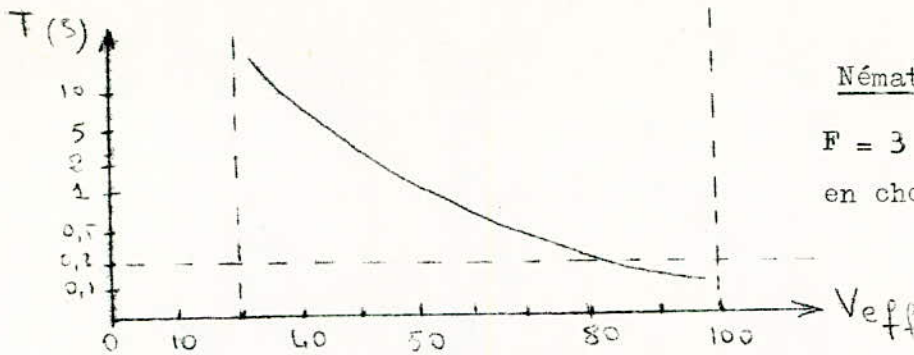
IV - 4 Cellule à cristal liquide à mémoire

Si l'on ajoute au cristal liquide nématique considéré jusque là, un faible pourcentage (3% à 10 %) d'un cholestérique, l'effet de diffusion dynamique, demeure, mais doué à présent de mémoire, en ce sens qu'il subsiste, une fois ramenée à zéro la tension nécessaire à son établissement. Le retour à l'état transparent est cependant possible. Il suffit de soumettre la cellule à une tension alternative de fréquence élevée ($f > 1 \text{ KHz}$) pour rétablir les molécules dans leur configuration initiale. Le temps d'écriture n'est pas affecté par la présence du cholestérique. Le temps d'effacement est par contre fonction du pourcentage en cholestérique et de la fréquence de la tension d'effacement. L'effet mémoire qui croît avec la concentration peut atteindre 1 000 H. L'intérêt de cette cellule à mémoire est double car elle permet :

- d'une part, de limiter l'adressage au temps nécessaire à l'écriture de l'information

- d'autre part, d'augmenter la durée de vie de la cellule car il n'y a plus de fatigue du nématique que durant la phase d'inscription, c'est à dire lors du renouvellement de l'information.

.../..



Nématique à mémoire

$F = 3 \text{ kHz}$, concentration
en cholestérique = 5 %

Influence de la tension d'effacement sur le temps d'effacement.

Récapitulons les caractéristiques propres à chacun des modes de visualisation par cristal liquide en un tableau :-

mode de fonctionnement	puissance de commande	durée de vie	temps d'inscription/pt.	tension de seuil	couleur
Diffusion dynamique BF	100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	médiocre 10000 H	10 ms	6 à 8 V	non
Diffusion dynamique HF	100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	bonne	100 ms	10 V	non
effet thermo-optique	1 W/cm ²	bonne	10 μs	—	non
Birefringence contrôlée	10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	excellente	50 μs	2 à 5 V	oui
Nématique en hélice	1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	excellente	500 ms	1 à 3 V	non

V-PRINCIPAUX PRODUITS UTILISES.=

Pour clore ce chapitre donnons un aperçu sur les produits utilisés :

Parmi les produits fonctionnant à la température ambiante, les premiers à être commercialisés ont été successivement (pour l'utilisation en phase nématique).

-le méthoxybenzilidène - n - butylaniline ou MBBA :
 $\text{CH}_3\text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{CH} = \text{N} - \text{C}_6\text{H}_4 - (\text{CH}_2)_3 - \text{CH}_3$

dont le domaine de mesomorphisme s'étend de 20 à 45°C

-l'éthoxybenzilidène - n - butylaniline ou EBBA
 $\text{C}_2\text{H}_5\text{O} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{CH} = \text{N} - \text{C}_6\text{H}_4 - (\text{CH}_2)_3 - \text{CH}_3$

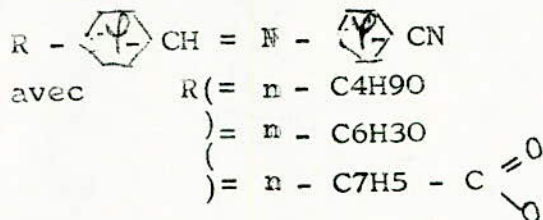
Son domaine de mesomorphisme s'étend de 32 à 68°C mais qui peut être de 0 à 60°C si l'on le mélange avec le MBBA.

.../...

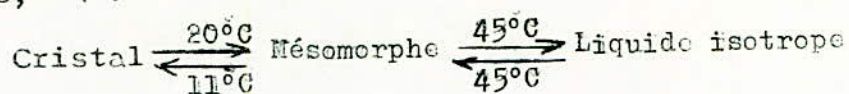
Pour la diffusion dynamique on utilise aussi :

- le bromure de tétraméthyl ammonium ou TMBA $(\text{CH}_3)_4 \text{NBR}$
- le bromure de tétrabutyl ammonium ou TBAB $(\text{C}_4\text{H}_9)\text{NBR}$

En biréfringence électriquement contrôlée on utilise des mélanges équimoléculaires de MBBA - EBBA ou d'autres mélanges.



Signalons enfin que certaines substances présentent un phénomène de surfusion qui permet de les utiliser jusqu'à 10 ou même 20°C en dessous de leur température de fusion. Pour le MBBA par exemple, :



En conclusion on dira que les cristaux liquides, avec les recherches incessantes sur l'amélioration des moyens d'affichage (montres, calculatrices, télévision, utilisation à grande échelle) sont loin d'être entièrement connus et il reste beaucoup à faire dans ce domaine.

I- ETUDE DE QUELQUES MATERIAUX ELECTROLUMINESCENTS.

- 1) Le Ga N.
 - 1.1-Etude physique.
 - 1.2-Caracteristiques du dispositif.
- 2) Le Ga As Al et Ga As P en structure intégrée x-y.
 - 2.1-Caractéristiques du dispositif
 - 2.1.1.- Caractéristiques électriques.
 - 2.1.2.- Caractéristiques optiques.
 - 2.2-Eléments de décodage.
- 3) Les Diodes émettrices de lumière (LED)

II- PANNEAUX A PLASMA.

Ecran plat "pavane" à mémoire interne.

- 1) Principe de fonctionnement.
 - 1.1- Structure de l'écran.
 - 1.2- Principe de la mémoire.
 - 1.3- Adressage de l'écran.
- 2) Caractéristiques de l'écran PAVANE.
 - 2.1- Dimensions.
 - 2.1- Caractéristiques photométriques.
 - 2.3- Caractéristiques électriques.
- 3) Applications.

III- MODULES A PLASMA

oOo

B I B L I O G R A P H I E

- I. BAJENESCO : Evolution et perspectives des moyens d'affichage - E.M.I n° 169.
- G. BROUSSAUD : OPTOELECTRONIQUE Ed. Masson et Cie.
- DELSOL : Circuits intégrés et techniques numériques - CEPADUES Ed.
- D. DIGUET - J. LEBAILLY : Dispositif d'affichage électroluminescent de structure x - y intégrée utilisant le Ga Al As et Ga As P L'onde Electrique (O.E.) volume 53 fascicule 6.
- J. PANKOVE : Le Ga N, un matériau pour les futurs dispositifs d'affichage alphanumérique - O.E. Vol. 53 Fasc. 6
- J.Ph. REBOUL : Ecrans Plans PAVANE à mémoire interne pour affichage électroluminescent en ambiance lumineuse élevée O.E Vol 53 Fasc. 6.-

B. DISPOSITIFS ELECTROLUMINESCENTS

Les matériaux électroluminescents qui se prêtent aisement à l'élaboration de structures matricielles x - y de faible dimensions et de bonne définition, constituent d'intéressants supports d'information pour les dispositifs d'affichage actuels.

I - Etude de quelques matériaux électroluminescents :

I.1 Le Ga N

La grande majorité des dispositifs d'affichage à l'état solide utilisent comme matériau: le $GaAs_{1-x}P_x$ ou le GaP pour lesquels les régions n et p présentent une conductivité élevée. Pour donner à la partie lumineuse la forme désirée il est donc nécessaire de segmenter le cristal en barres étroites ou en points et de les rassembler sur un substrat isolant.

Dans les dispositifs monolithiques, cette difficulté est remplacée par un processus de diffusion particulier. Avec le nitrure de gallium (GaN) la forme géométrique de la lumière émise ne dépend que de la forme de l'électrode.

Un autre phénomène parasite est l'absorption par le matériau même de la lumière émise. Pour pallier à cet inconvénient, on dispose la jonction n-p face à l'observateur ou on s'arrange pour que celui-ci ne perçoive que la lumière diffusée au voisinage de l'électrode, tandis que la lumière se trouve en partie occultée par l'électrode. Le cristal de nitrure de gallium étant transparent au rayonnement, on peut placer les électrodes derrière la surface d'observation.

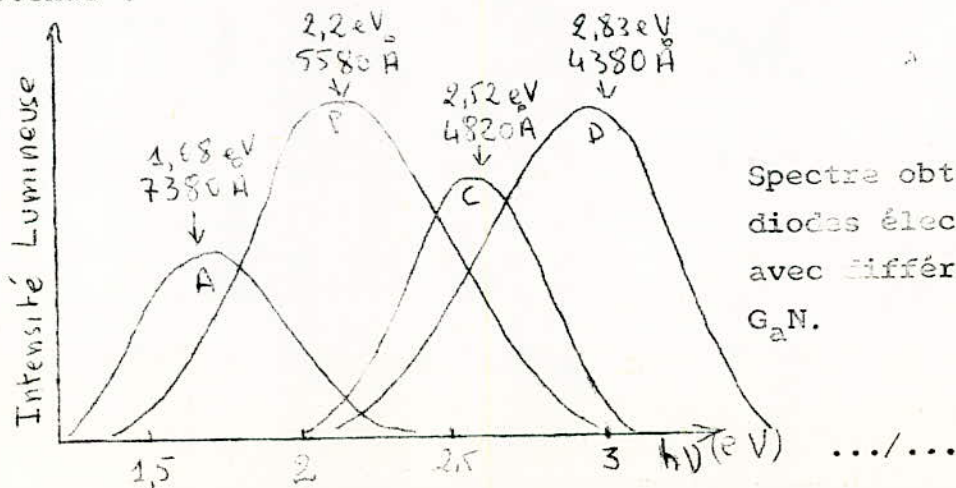
Les dispositifs d'affichage élaborés à partir des composés II - IV (classification Mendeleev) agglomérés demandent des tensions élevées de l'ordre de 300 Volts et sont l'objet d'une lente dégradation de leurs caractéristiques. Les dispositifs au GaN fonctionnent avec des tensions inférieures à 30 V. et ne manifestent pas de tendances à la dégradation de leurs performances.

11/4/...

I.1.1 - Etude Physique :

La structure du dispositif est essentiellement du type diode M-I-n (Métal-Isolant- type n). La lumière est émise dans l'isolant au voisinage de la cathode, c'est à dire dessous l'électrode métallique si cette dernière est polarisée négativement, ou à l'interface I-n si le métal est polarisé positivement. La lumière est émise au cours d'une transition d'électrons proches du bord de la bande de conduction vers un centre profond constitué par des complexes de Zinc de type accepteur.

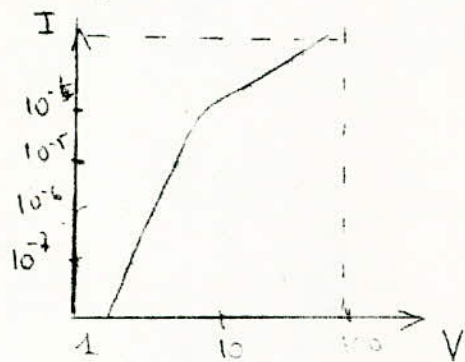
Le centre Zn qui est, en l'absence de polarisation, occupé par un électron, se trouve vidé par l'apparition d'un champ lorsqu'une tension est appliquée. Seuls, les centres proches de la cathode se vident en raison des champs intenses qui y règnent. Ainsi, c'est bien à la cathode que l'émission produite par des électrons piégés a lieu. Les électrons émis apparaissent dans la bande de conduction et sont dérivés vers l'anode. Certains électrons qui, par effet tunnel passent de la cathode à la bande de conduction dans la région de champ intense, font une transition lumineuse vers les centres vidés. Le rendement de ce processus doit être limité en principe par le rapport de temps de transit de l'électron dans la région de champ intense sur le temps de recombinaison. Cependant des rendements quantiques de 1 % ont été obtenus et montrent par là même que la section efficace de capture de ce centre Zinc est très importante. Le spectre d'électroluminescence dépend souvent de la polarisation. Ce comportement peut être attribué à la non uniformité du dopage le long de l'axe de croissance. Des pics d'électroluminescence allant du vert au rouge ont été obtenus :



Spectre obtenu à partir de diodes électroluminescentes avec différent dopages du GaN .

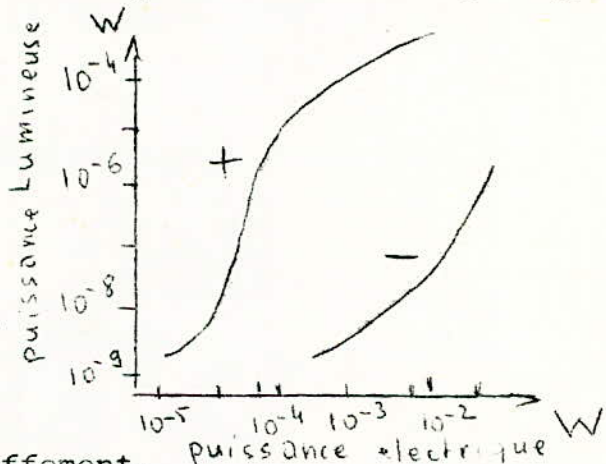
I.1.2 - Caractéristiques du Dispositif :

La caractéristique intensité lumineuse en fonction de la tension appliquée aux bornes d'une diode M-I-n ou GaN est donnée par la figure :



Le courant croît rapidement en fonction de la tension jusqu'à une valeur de celle-ci de 10 V, région où une variation légèrement quadratique est obtenue.

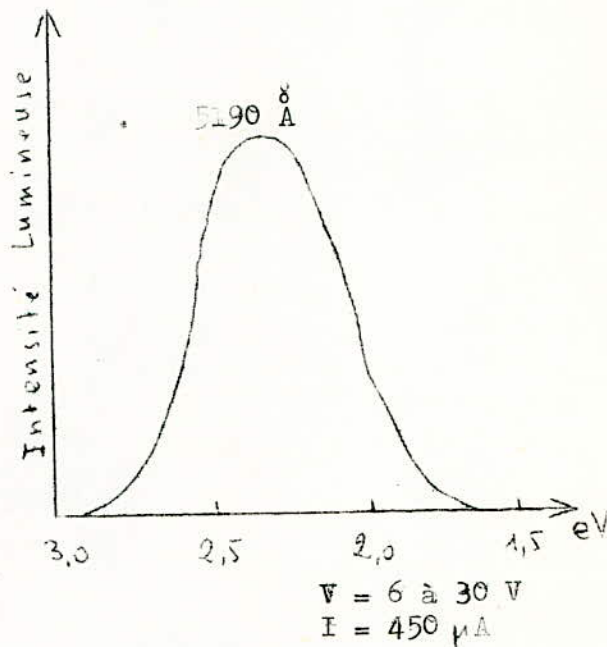
La puissance lumineuse croît d'abord rapidement puis devient pratiquement linéaire par rapport à la puissance électrique appliquée (tension x intensité) et ce, jusqu'à 0,1 W, puissance au delà de laquelle l'échauffement favorise des transitions non lumineuses (les signes - et + se réfèrent à la polarité de la tension appliquée sur l'électrode en métal). Si ce dispositif est utilisé en régime impulsif pour éviter l'échauffement, la linéarité de la puissance appliquée se trouve du côté des puissances croissantes.



On peut voir que le rendement est voisin de 10^3 puisque chaque électron qui émet un photon de 2,5 eV est sujet à un saut l'ordre de 20 V, le rendement quantique est dix fois supérieur au rendement en puissance.

Le spectre d'émission de la diode électroluminescente bleu vert en GaN est donné à la figure ci-contre, on a un maximum à 2,39 eV (5190 Å) avec une largeur à mi-hauteur de 0,41 eV en raison de la largeur du spectre, il est possible d'accroître la couleur bleue de l'émission en disposant un filtre en gélatine.

L'éclat ou la luminescence, bien que difficile à mesurer, l'a été sur une diode obtenue par contact circulaire de 400 µm de diamètre : elle produit une luminance de 10^3 cd/m² (300 FL) sous une tension de 50 V et un courant de 2 mA.



Plusieurs diodes provenant des premiers cristaux (bleue et verte) n'ont pas montré de modification de leurs caractéristiques durant une période de deux mois et demi avec une puissance appliquée de 32 mW.

1.2. Le Ga Al As et Ga AsP en structure X-Y intégrée :

L'utilisation d'éléments électroluminescents pour la réalisation de panneaux de visualisation nécessite une densité de Points de plus en plus élevée.

La visualisation de caractères complexes ou de signaux évolutifs impose une définition accrue de l'écran luminescent de façon à éviter toute erreur d'interprétation. Cette définition est considérée suffisante si la densité de points luminescents est de 3 par millimètre. L'intégration des éléments luminescents est une solution à ce problème. Une commande séquentielle par adressage croisé est possible et simplifié le décodage du panneau.

L'utilisation d'épithaxie localisée a permis de réaliser un adressage par électrodes croisées.

En raison de leur compétition, le $\text{GaAs}_{0,6}\text{P}_{0,4}$ et le $\text{Ga}_{0,65}\text{Al}_{0,35}\text{As}$ sont particulièrement adaptés à l'électroluminescence dans le spectre visible (6500 Å). Le GaAsAl a une meilleure efficacité d'électroluminescence que le GaAsP, la luminance pouvant atteindre 1500 nit à 1 A/cm², le double, environ de celle d'une diode au GaAsP.

La localisation de la lumière est rendue possible grâce à la grande absorption du matériau à son propre rayonnement, surtout dans le cas du GaAsP (1/10).

La structure X-Y est réalisée sur un même substrat à l'aide d'un masque pour la gravure. Pour les connections entre barres on a choisi l'aluminium en raison de son adhérence sur le diélectrique et le semi-conducteur.

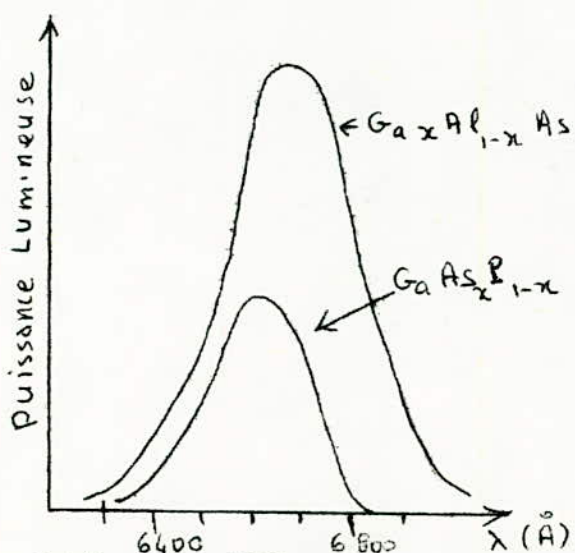
I.2.1. Caractéristiques du dispositif obtenu:

a) Caractéristiques électriques:

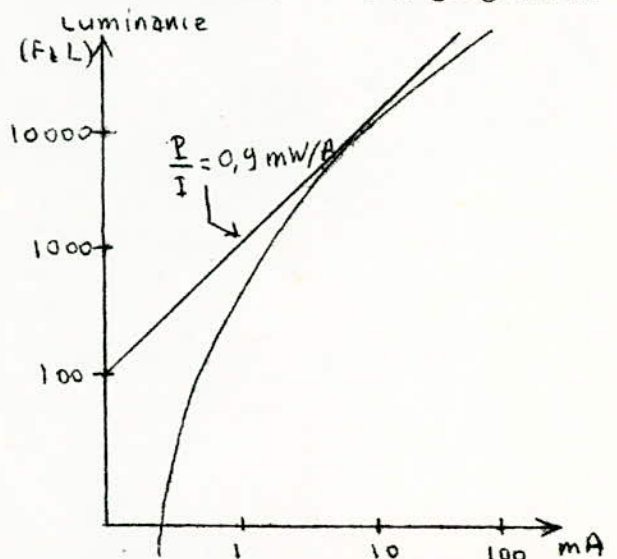
Malgré la structure coplanaire des deux contacts N et P défavorable à une bonne injection, la caractéristique courant-tension de la jonction électroluminescente utilisant le GaAsP est acceptable; la tension directe étant inférieure à 2 V à 10 mA (surface de jonction: $4 \cdot 10^{-4}$ cm²)

La résistance série est plus importante que dans une diode électroluminescente classique.

Par contre la chute de tension entre deux éléments voisins est négligeable.



1. Spectre d'électroluminescence



2. Courbe luminance en fonction du courant injecté.

b/ Caractéristiques optiques :

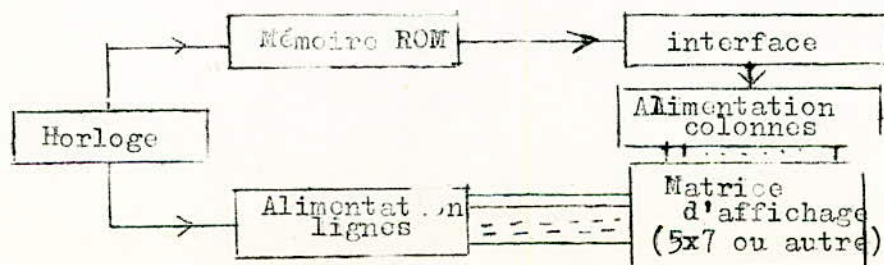
On a ci-dessus les courbes de caractéristiques optiques - la figure 2 montre la variation de la puissance lumineuse émise en fonction du courant injecté. La lisibilité des caractères reste très bonne à 3 m de distance. La luminance moyenne est de l'ordre de 150 nit à $1A/cm^2$.

I.2.2 - Eléments de Décodage :

Pour réaliser un caractère alphanumérique par adressage X-Y à 35 points il est nécessaire d'utiliser une commande séquentielle des différents éléments. L'information est adressée, en un point par l'intermédiaire d'une ligne (ou d'une colonne). L'opération est produite successivement avec toutes les lignes (ou toutes les colonnes). Le cycle de répétition est de l'ordre de 100 Hz, chaque diode restant allumée pendant un instant suffisamment long pour ne pas perdre le niveau de luminance par rapport à la composante continue mais suffisamment rapide pour que le caractère affiché ne papillote pas. L'électronique de commande permettant une alimentation séquentielle rapide des diodes par l'intermédiaire des lignes et des colonnes se décompose de la façon suivante :

- Une mémoire tampon qui stocke l'information digitale à l'entrée et à la sortie.
- Une horloge qui commande séquentiellement toute l'électronique d'adressage.
- Une mémoire ROM, génératrice de caractères qui reçoit une information codée binaire et fournit l'information électrique directement adressable à la matrice.

Le schéma synoptique d'un tel dispositif est le suivant :



Etant donné le facteur de cycle de l'impulsion alimentant chaque diode (10/1) il est nécessaire que la valeur maximale du courant soit environ dix fois supérieure à la valeur en continu.

Dans cette application elle est de 50 mA environ.

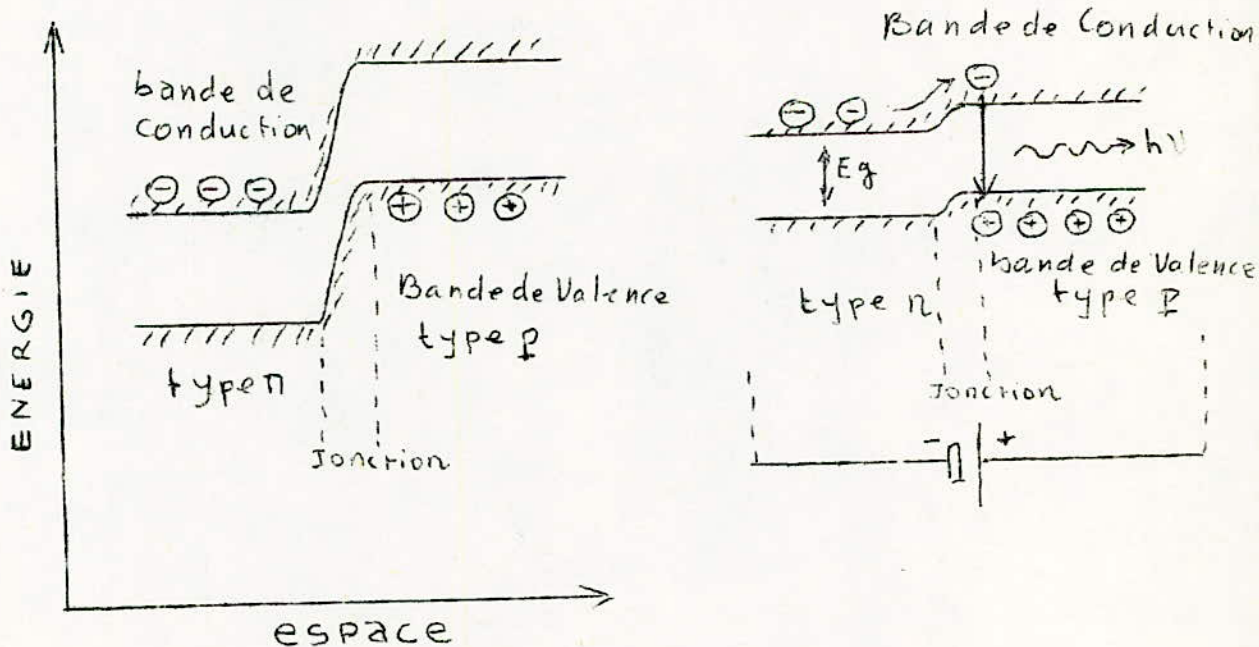
Autre: élément électroluminescent :

Un autre procédé est à base de sulfure de Zinc (ZnS) activé au cuivre et au plomb (fluorescence bleue et verte) ou au manganèse (couleur émise orange).

La luminance est malheureusement faible; elle est à la fois fonction de la tension appliquée et de la fréquence.

1.3. Les diodes émettrices de lumière:

Elles sont construites sur des jonctions P-N et fonctionnent selon le principe de recombinaison électron-trou en émettant des photons, conformément au schéma:-



Le problème est d'extraire au semi-conducteur les photons créés par cette recombinaison de paires électron - trou. Deux difficultés s'y opposent:

- Absorption des photons par le matériau dont le gap est adapté à leur énergie.

- La seconde difficulté vient du fait que, par suite du fort indice de réfraction du semi-conducteur, la réflexion totale apparaît pour des angles relativement faibles, 15° par exemple pour le GaAs.

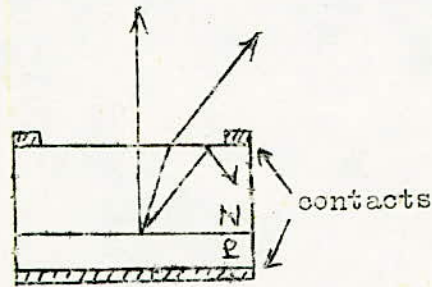
Les solutions adoptées sont les suivantes:

- Extraction des photons par la région N dont le gap peut être légèrement modifié par un dopage convenable.

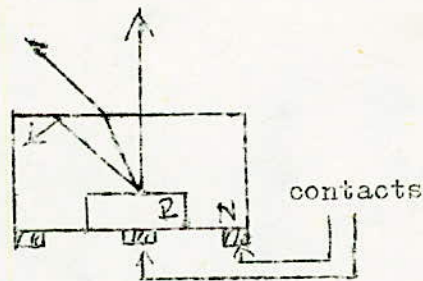
- Réduction du volume de la diode au strict minimum compatible avec son usage et sa fixation sur un support industriel.

- Adaptation optique par taille convenable de l'interface air-semi-conducteur.

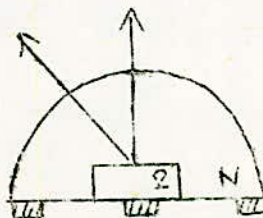
On arrive à divers types de diodes LED (en anglais: light emitting diode).



Plat (diffusé ou épitaxial)



Plat (planar diffusé)



Hémisphère du dôme (planar diffusé)

Les premiers diodes LED ont été construites sur l'arséniure de Gallium ($\lambda = 0,9 \mu$). En régime continu et à température ambiante, la puissance émise peut atteindre 200 mw avec un rendement de 20%, la largeur spectrale est voisine de 400 Å. L'utilisation d'alliages ternaires de types précités ($\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$) a permis de choisir à volonté la longueur d'onde émise entre $0,905 \mu$ ($x=0$) et $0,695 \mu$ ($x=1$).

Les meilleurs résultats ont été obtenus sur le $\text{Ga}_{1-x}\text{As}_x$ avec $0,660 \mu$ et pour 100 mW consommés une brillance de 200 f.l.

La propriété remarquable des diodes LED vient de la facilité avec laquelle on peut les moduler (en amplitude) jusqu'à des fréquences de 100 et même 300 MHz. Des études sont en cours en vue de réaliser des matrices intégrées de ces diodes avec comme objectif des densités de 10^4 éléments au cm^2 .

Donnons un tableau résumant les performances des différentes diodes :

TYPE (LED)	Couleur	Sensibilité optique relative	Lumen / Watt-électrique
GaP	Rouge	15 lumen/Watt-optique	0,15
GaP	Vert	590 "	0,05
GaAsP	Rouge	20 "	0,02
GaAsP	Rouge	40 "	0,012
GaAsP	Orange	330 "	0,003
GaAsP	Jaune	500 "	-

.../..

II- PANNEAUX A PLASMA.

Ce sont des écrans plats constitués par 2 plaques de verre entre lesquelles un gaz rare (néon) peut être ionisé localement par applications de tensions convenables. A cet effet des électrodes transparentes formant une matrice x - y d'adressage sont disposées sur les faces en regard des plaques de verre. Une troisième plaque, percée d'orifices situés aux points d'intersection du réseau X avec le réseau Y est insérée dans ce "sandwich" pour localiser avec plus de rigueur les volumes soumis à ionisation.

Nous en étudierons un exemple et cela sera suffisant pour avoir une idée assez précise sur ces panneaux.

I- ECRAN PLAT "PAVANE" A MEMOIRE INTERNE EN AMBIANCE LUMINEUSE ELEVÉE .-

II-1. Principe de fonctionnement.

1.1- Structure de l'écran.

La structure a été ébauchée plus haut, ajoutons quelques précisions : les électrodes conductrices sont isolées du gaz par un diélectrique en émail vitrifié d'une épaisseur de quelques dizaines de microns. Ces couches assurent un couplage capacitif entre les électrodes et le gaz ce qui confère à la cellule les propriétés de mémoires.



La décharge est confinée par des parois purement diélectriques aussi la détérioration de la cellule par la pulvérisation cathodique, phénomène commun aux tubes à gaz est réduite. Elle est même évitée par la protection des surfaces bombardées par un oxyde réfractaire très stable.

Enfin la matrice est recouverte d'une couche d'oxyde de chrome, qui assure un excellent contraste en rendant le fond de l'écran vert sombre sur lequel se détache la couleur rouge du gaz ionisé.

1.2- Principe de la mémoire.

Lorsqu'une tension suffisante V_a (tension d'amorçage) est appliquée aux bornes d'une cellule, le gaz s'ionise, mais l'ionisation ne persiste qu'un bref instant car les charges créées dans le gaz ne peuvent atteindre les électrodes extérieures aux parois isolantes de la cellule. Elles se déposent sur les parois qu'elles chargent superficiellement créant ainsi une tension de mémoire permanente. Cette tension s'oppose à l'excitation extérieure et l'ionisation s'arrête ainsi que l'émission de lumière qui ne dure que 200 ns.

Cette tension de mémoire peut être utilisée pour rallumer la cellule par une tension inférieure à V_a et de signe opposé; ce sera la tension d'entretien V_e . La limite inférieure de la tension d'entretien sera V_e et permettra d'éteindre la cellule et donc "d'effacer" la mémoire. Entre V_a et V_e la cellule a la propriété d'un bistable.

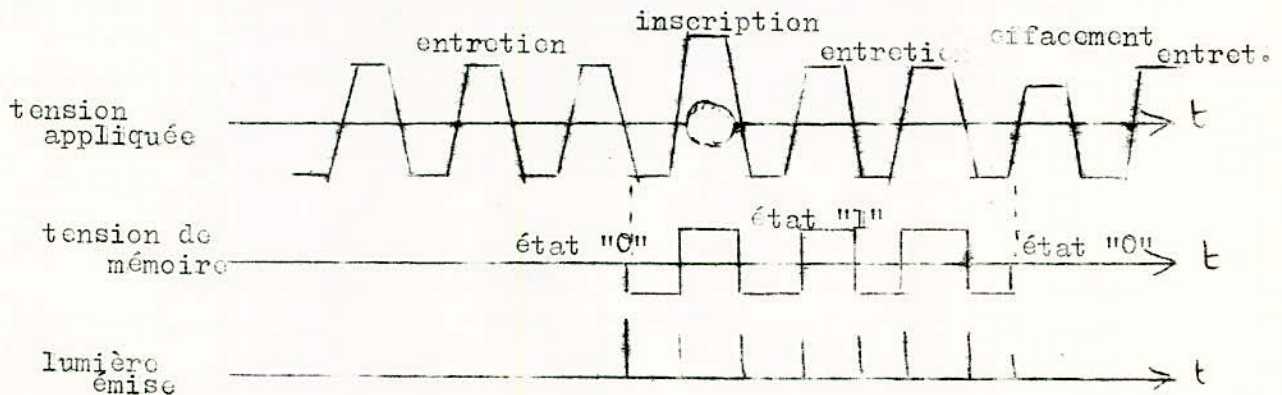
En pratique on utilise une tension alternative d'entretien de 100 KHz par exemple. Les cellules à l'état 1 s'allument 2 fois par période au voisinage des extrêmes quant aux cellules à l'état 0 elles ne s'allument pas. Pour permettre l'ionisation il faut qu'il y ait certaines charges dans le gaz pour être accélérées par le champ d'amorçage et provoquer l'avalanche. Ces charges sont créées par quelques points (pourtour de l'écran par exemple) qui sont constamment allumés, la lumière émise diffuse dans l'ensemble des cellules et vient générer des photoélectrons par photoémission sur les parois.

1.3. Adressage de l'écran.

Il peut se faire point par point ou ligne par ligne en interrompant la tension d'entretien et en appliquant aux électrodes des impulsions de tension de quelques microsecondes. L'inscription d'une cellule est l'application sélective

d'une tension supérieure à la tension d'amorçage. L'effacement se fait par une tension d'amplitude suffisante pour ioniser le gaz mais insuffisante pour engendrer une tension mémoire comme le fait la tension d'entretien.

On peut donner une idée sur ce fonctionnement :



Signaux caractéristiques d'une cellule

2.1. Caractéristiques de l'écran PAVANE.

Les dimensions (jusqu'en 1974) sont de 128 x 128 points ce qui permet d'afficher par exemple 252 caractères (12 lignes de 21 caractères) avec la définition normalisée de 35 points (7x5) par caractère. Le pas du réseau est de 1,27 mm ou la moitié (0,635 mm) la hauteur du caractère est 4,3 mm (ou 2,15 mm). Ces chiffres ne présentent qu'une étape dans le développement de ce composant. Des écrans de 1000 et 2000 caractères verront leur apparition sur le marché. Ce qui est intéressant dans ce type d'affichage c'est l'épaisseur assez réduite de l'écran qui est actuellement de 1 cm et qui pourrait diminuer avec les découvertes de nouveaux types de dalles de verre ou d'électrodes plus fines.

2.2- Caractéristiques photométriques.

L'ionisation du gaz se produit à chaque alternance du signal appliqué, la luminance L croît donc avec la fréquence d'entretien - on a établi la loi expérimentale $L = K F^{0,8}$

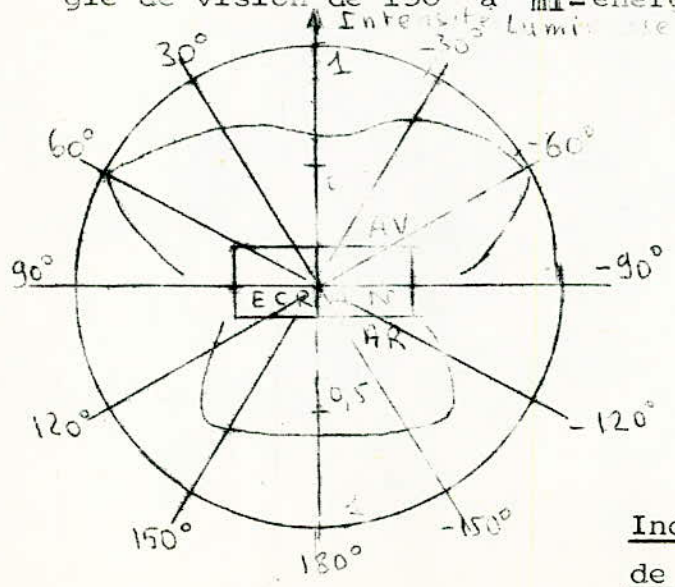
.../..

$L = 4000 \text{ cd/m}^2$ à $F = 2 \text{ MHz}$ mais à une fréquence aussi élevée, l'écran est difficile à adresser car les tensions V_a, V_{en}, V_e évoluent en fonction de la fréquence (surtout au-delà de 600 KHz). On travaillera donc à 400 KHz si l'on veut une forte luminance (1000 cd/m^2) et 40 KHz si l'on est en ambiance lumineuse normale.

La couleur est orangée, la raie d'émission principale est à 5850 \AA , longueur d'onde pour laquelle la sensibilité relative de l'oeil est de 0,8 (1 pour le blanc). Le contraste de l'écran (avec filtre polariseur circulaire) est supérieur à 2 pour un éclairage en ambiance lumineuse de l'écran jusqu'à 30.000 lux à 100 KHz et 100 000 lux à 400 KHz (signalons à titre comparatif que lorsque le soleil éclaire directement un tableau de bord d'une cabine de pilotage, l'éclairage maximal est de 70.000 lux). On voit tout l'intérêt présenté par cet écran comme organe d'affichage dans une ambiance lumineuse élevée.

Les valeurs de luminance et de contraste sont indépendantes de la dimension de l'écran car celui-ci possédant une mémoire, toutes les cellules sont excitées en parallèles et non par balayage.

L'indicatrice d'intensité lumineuse présente un léger minimum dans l'axe du panneau car les électrodes masquent une partie de la décharge. Cette indicatrice très ouverte permet un angle de vision de 150° à mi-énergie.



Indicatrice de l'intensité lumineuse de l'Ecran PAVANE.

2.3 - Caractéristiques électriques :

La tension d'amorçage dépend de la géométrie de la cellule, du mélange gazeux choisi et du matériau des parois, formant les cathodes. La technologie actuelle conduit à des tensions maximales de 150 V crête à crête pour l'amorçage et 120 V crête pour l'entretien.

La puissance consommée d'un point allumé croît avec la fréquence, à 400 KHz (1000 cd/m²) elle est environ de 7 mW par point pour des cellules de pas 1,27 mm et 4 mW pour celle de pas moitié.

La durée de la mémoire est pratiquement illimitée, tant qu'une tension d'entretien est appliquée à l'écran. En régime strati- que, cette durée est de quelques heures seulement.

Les temps d'inscription et d'effacement d'un point sont limités inférieurement à 1 μ s environ par la durée de décharge. En pratique, on peut adresser 1000 caractères par seconde, perfor- mance suffisante pour la plupart des applications. La durée de vie de l'écran en fonctionnement excède 5000 heures.

3. Applications.

L'écran PAVANE trouve son application aussi bien en affichage alphanumérique d'une console que pour des tableaux de bord d'avions par exemple, où l'ambiance lumineuse est élevée.

Les types d'écrans PAVANE actuellement développés sont :-

- Ecran PAVANE monochrome de couleur verte, ou trichrome chaque cellule ayant sa propre couleur.
- E.P. semi-transparent pour projection arrière et super- position d'images.
- E.P. permettant d'obtenir une reprographie rapide du texte affiché.

III - MODULES A PLASMA.

Ils sont connus sous le nom de tubes nixies. Commercialisés en 1954, ces tubes équipent une grande partie de multimètres à lecture numérique et compteurs divers, ainsi que des calculatrices de bureau.

Dans ce tube à gaz, on a rassemblé un certain nombre de cathodes épousant la forme du caractère à visualiser. Le gaz contenu dans le tube s'ionise lorsqu'une tension (200 V) est appliquée entre l'anode et la cathode. Cette ionisation enveloppe la cathode choisie, mise à un potentiel bas avec émission de lumière ce qui permet au caractère d'être visualisé.

I - Circuits de commande pour un système de visualisation

1. Affichage par sélection
2. Affichage par segments
3. Affichage par points

II Commande de plusieurs caractères

1. Méthode de balayage séquentiel
 - 1.1. Affichage par segments
 - 1.2. Affichage par points.
 - 1.3. Affichage des signaux évolutifs
2. Influence du milieu de formation de l'image
3. Conclusion.

III - Un dispositif de visualisation 16 à 256 caractères (EDS 40832.200)

1. Fonctionnement général du sous-système
 - Horloge
 - marqueur lumineux
 - adressage de la mémoire
 - séquence d'écriture
 - séquence de lecture
 - interface
 - mémoire de caractères
 - alimentation
 - contrôle de l'impression
2. Application.

BIBLIOGRAPHIE

- G. BATAILLER, J. DEFIARD, J.C. BRIDE : Techniques logiques de commande et d'animation de structures matérielles électroluminescentes
Revue de physique appliquée Tome 8 Mars 73.
- DELSOL : Circuits intégrés et techniques numériques CEPADUES - Editions.
- F. LE CAIN, G. VEBER : un dispositif économique de visualisation 16

C COMMANDE DES SYSTEMES D'AFFICHAGE

Un dispositif de visualisation est un traducteur électro-optique qui transforme une énergie électrique en énergie lumineuse, en information visible. L'affichage des caractères alphanumériques est très varié, car les qualités d'affichages sont tributaires de plusieurs paramètres :

- distance de l'observateur à l'écran d'affichage
- genre de caractères à afficher (lettres, chiffres, symboles)
- nombre de caractères
- densité du texte
- ambiance lumineuse
- temps de réponse de l'afficheur
- durée de vie de l'écran, fiabilité etc...

Si les signaux électriques véhiculant l'information sont exprimés sous forme numérique, il faut assurer une conversion numérique - analogique pour pouvoir la transmettre à un tube cathodique. Cependant ces signaux électrique doivent rester sous forme numérique jusqu'au dernier maillon de la chaîne pour éviter les distorsions. Ainsi, les visualis^{ca}teurs doivent être de constitution discrète, c'est à dire composés d'éléments individuels à 2 états (visible - non visible, blanc-noir, transparent non transparent..)

I - CIRCUITS DE COMMANDE POUR SYSTEME DE VISUALISATION

Pour visualiser une information sur un écran, et selon le type de l'écran que l'on utilise, il y a différents modes d'affichages dont nous verrons les plus importants :

I₁ - Affichage par selection

Cette technique est essentiellement celle qui permet de visualiser sur un écran une image complexe parmi n images (textes figés, signaux particuliers etc...). C'est le domaine favori des indicateurs (Nixies) et tubes à projection (dont il a été fait mention à la première partie concernant les tubes cathodiques).

41

Le circuit de commande est constitué par un décodeur n bits s'il y a 2^n images à sélectionner (ou entre 2^{n-1} et 2^n images) Dans certains cas, une mémoire tampon de n bits sera nécessaire pour figer l'information codée.

Le schéma synoptique de cette technique est le suivant:-

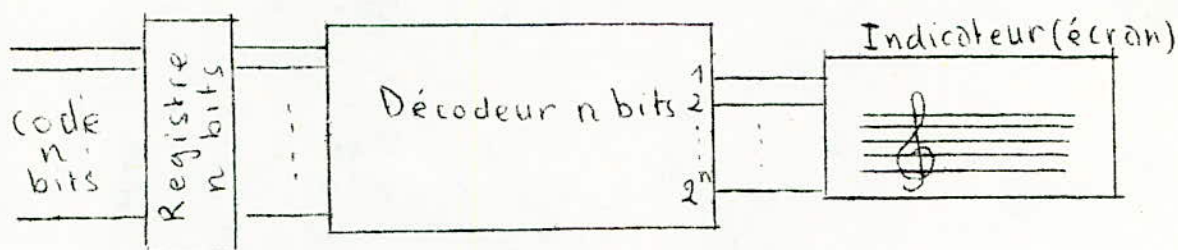


fig: Visualisation par sélection

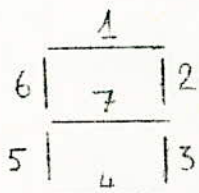
1.2- Affichage par segments.

La visualisation par 7 segments est pratiquement réservée aux chiffres décimaux (dans le cas d'un résultat négatif, le signe - sera visualisé au moyen du segment n°7 seul). Le circuit de commande est un décodeur BCD/7 segments qui peut être considéré comme une mémoire morte (ROM), de 10, ou 16 mots de 7 bits. Chaque sortie de ce transcodeur commande le segment de même rang (1 à 7) et suivant que celui-ci est au UN ou au Zéro logiques, le segment sera allumé ou éteint.

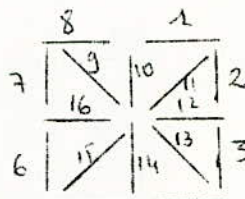
Une mémoire tampon de 4 bits sera nécessaire pour stocker le code BCD.

Exemple :

Au code BCD 0000 qui désigne le chiffre décimal zéro correspond en sortie de ROM le code de 7 bits 00000 01 (les 6 sorties 1 à 6 sont à 0 et la septième est à 1), les 6 segments allumés et le 7^e éteint.

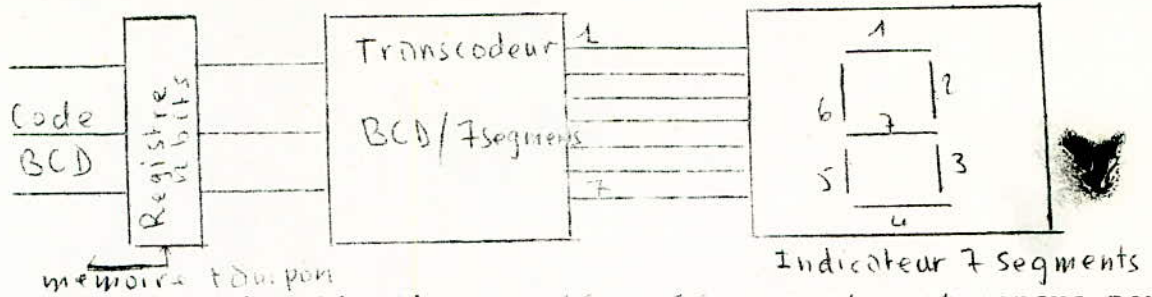


affichage 7 segments
(numériques)



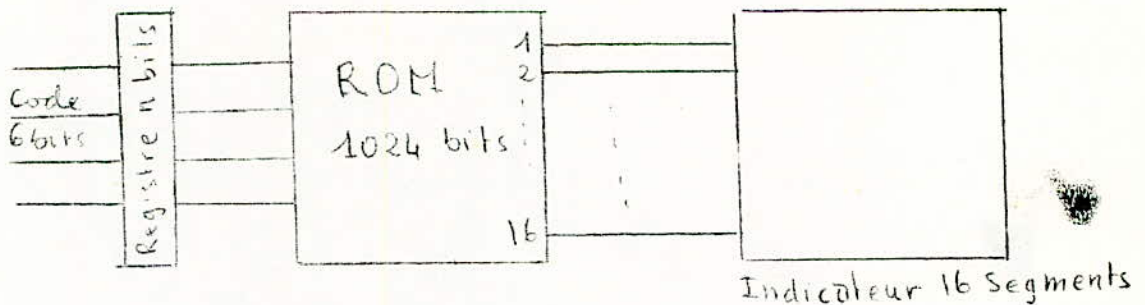
affichage 16 segments
(alphanumériques)

Le principe est le suivant :



La visualisation par 16 ou 14 segments est conçue pour l'affichage alphanumérique mais elle est concurrencée par l'affichage matriciel (LED ou écrans à plasma). Si le code ASC II 6 bits (dont on donne le détail en fin de cet exposé) est utilisé pour désigner 64 lettres, chiffres et symboles, le transcodeur doit être une mémoire morte (ROM) de 64 mots de 16 ou 14 bits soit pratiquement 1.024 bits. Elle pourra être réalisée au moyen de 2 mémoires mortes de 512 bits (64 mots de 8 bits).

Une mémoire tampon de 6 bits pourra être nécessaire pour stocker au préalable le code 6 bits. On aura ainsi :-

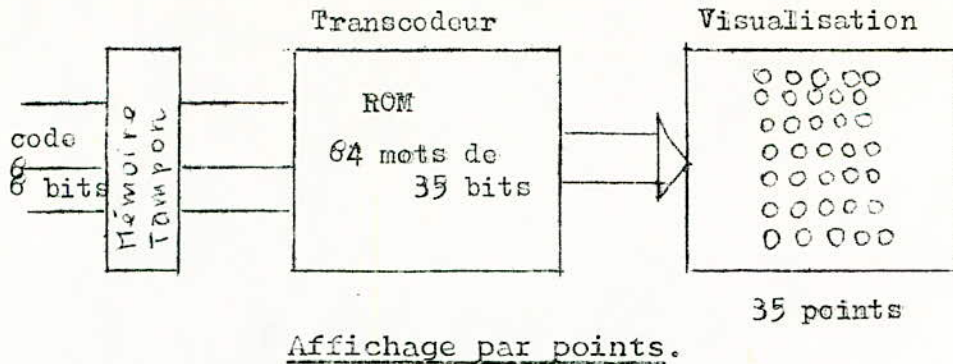


1.3- Affichage par point.

Ce mode d'affichage est nécessaire si l'on a un afficheur matriciel formé de diodes électroluminescentes ou de plasma.

Avec un code 6 bits, le transcodeur doit être une mémoire morte de 64 mots de 35 bits (7×5). Ceci conduit à un nombre élevé de sorties pour le transcodeur et d'accès au visualisateur et autant de fils de connexions. Pour un affichage miniature, on a plutôt recours au balayage séquentiel pour diminuer ce nombre d'accès et de fils de connexions.

.../...



II- COMMANDE DE PLUSIEURS CARACTERES.

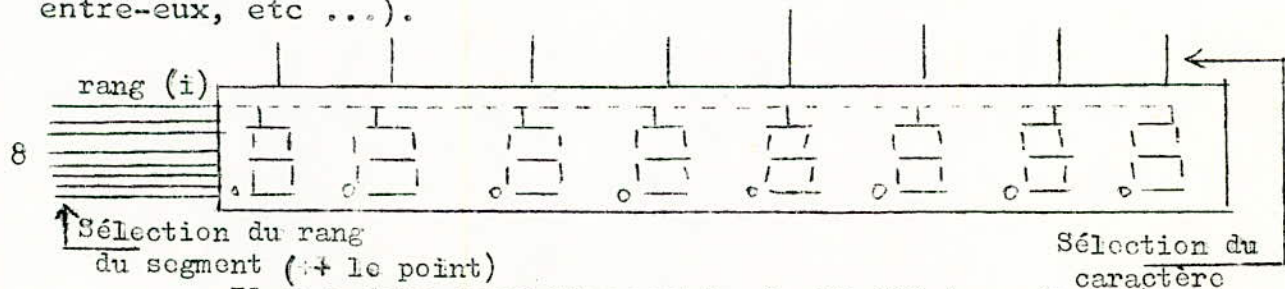
II-1- Méthode de balayage séquentiel.

Dès l'instant où le transcodeur électrooptique ne garde pas lui-même en mémoire l'ordre qui lui a été donné (de s'allumer ou non), il faut mettre cet ordre en mémoire.

Le principe du balayage séquentiel est d'adresser à des séquences précises tous les caractères à une fréquence suffisante pour que l'observation visuelle soit confortable (100 Hz par ex.) Dans ce cas, les registres de mémorisation doivent être remplacés par une mémoire séquentielle (gain de volume et d'inter-connexions) d'autre part, les segments ou les points de même position vont pouvoir être réalisés à l'intérieur du visualisateur multicaractères ce qui permet d'abaisser le prix du caractère.

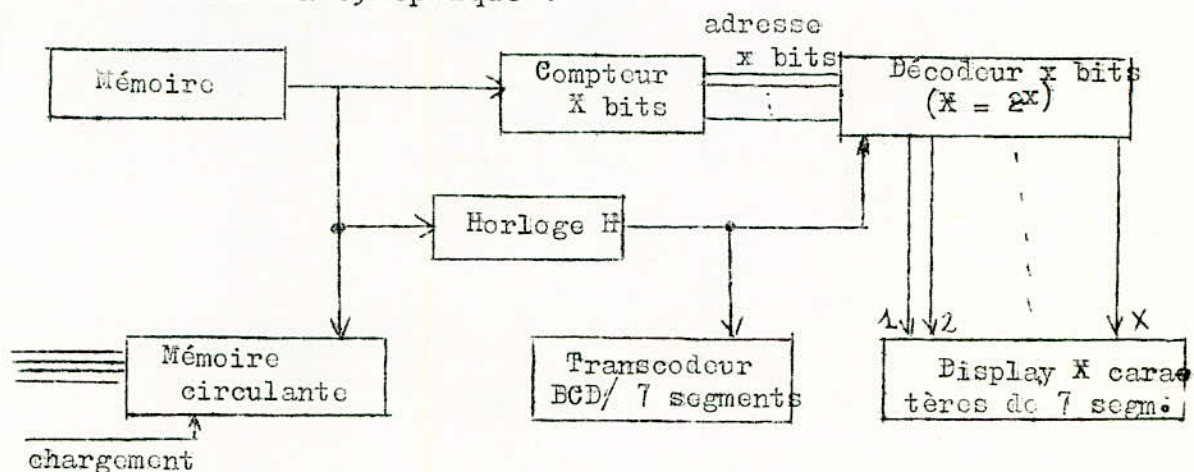
II-1.1- Affichage par segments.

Soit le cas d'un affichage de 8 chiffres. L'élément de visualisation comporte 8 positions de 7 segments et les segments de même rang sont reliés (tous les segments n°1 entre-eux, n°2 entre-eux, etc ...).



Il y a donc pour l'ensemble de l'affichage 7 accès pour les segments (+ 1 pour le point) et 8 entrées de validation qui permettent la sélection du caractère (adressage $x - y$).

Pour le cas des tubes néon, l'entrée est l'arode. On applique + 170V ou 0V à l'annode suivant que le caractère est adressé ou non. Parallèlement tous les segments de même rang (i) sont commandés par une porte qui est mise à l'état OFF ou ON suivant le cas de sélection du caractère. Ce sont ces 7 portes pour 7 segments qui reçoivent le code binaire 7 segments. On aura le schéma synoptique :-



Un compteur 3 bits est commandé par une horloge H et un décodeur 3 bits assurent le balayage séquentiel et la mémoire circulante M délivre sur sa sortie le code 4 bits BCD du chiffre adressé au rythme de la même horloge H. La période de balayage est de $8 \times t$. On peut aussi commander sans difficultés jusqu'à 32 caractères.

Cette technique pourrait s'appliquer aux lettres avec 16 segments mais pour cela on préfère utiliser l'affichage par points.

II.1.2- Affichage par points :

Une matrice (généralement 5×7 points) nécessite un grand nombre d'accès qui est limité par un adressage xy de chaque point, ce qui impose un balayage séquentiel. Si la matrice est un réseau de diodes LED interconnectées, et en se limitant pour l'instant à 1 seul caractère, on constate que le réseau doit recevoir 7 informations successives de 5 bits (écriture verticale) ou 5 informations successives de 7 bits (écriture horizontale).

La mémoire morte de transcodage (ASC II - matrice) doit donc être organisée en mots de 5 ou 7 bits, l'adresse complète du caractère dans cette mémoire s'écrit ASC II 6 bits / $A_2 A_1 A_0$ / ce qui représente pratiquement un ensemble de 5 à 7 adresses (8 maximum avec les 3 bits $A_2 A_1 A_0$).-

Donnons un exemple d'écriture verticale de la lettre R en code ASC II \rightarrow 35 points.

		<u>LIGNE N°</u>	<u>MOT PROGRAMME</u>	
0 1 0 0 1 0	0 0 0	0	● ● ● ● 0	1 1 1 1 0
0 1 0 0 1 0	0 0 1	1	● 0 0 0 ●	1 0 0 0 1
0 1 0 0 1 0	0 1 0	2	● 0 0 0 ●	1 0 0 0 1
0 1 0 0 1 0	0 1 1	3	● ● ● ● 0	1 1 1 1 0
0 1 0 0 1 0	1 0 0	4	● 0 ● 0 0	1 0 1 0 0
0 1 0 0 1 0	1 0 1	5	● 0 0 ● 0	1 0 0 1 0
0 1 0 0 1 0	1 1 0	6	● 0 0 0 ●	1 0 0 0 1
code ASCII de "R"	$A_2 A_1 A_0$		écriture verti- cale de "R":	

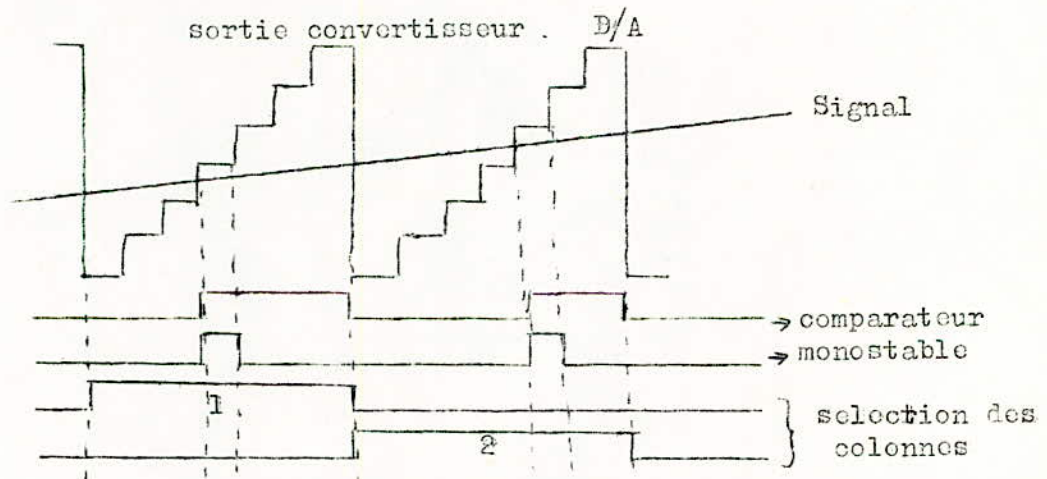
Pour afficher x caractères il faut donc x matrices et si l'écriture est horizontale, la mémoire circulante délivre après le décodage 5 x mots de 7 bits. Il y a donc 5 x séquences et le rapport cyclique temps d'allumage/temps d'extinction pour un point brillant est de $\frac{1}{5x}$ - Si le point ne mémorise pas lui-même l'état qu'il doit occuper, état qui est confirmé ou modifié à chaque rafraîchissement, l'énergie instantanée qu'il faut dissiper dans cet élément est 5 x fois celle qui lui est nécessaire en fonctionnement statique (pour une luminance donnée). C'est le cas pour les diodes LED où le nombre x de caractères est limité par la puissance crête (maximum) qui peut être dissipée dans la diode. Un compromis doit être réalisé pour améliorer ce rapport cyclique et ceci est possible en utilisant quelques mémoires tampon.

.../..

II. 1.3 - Affichage de signaux évolutifs :

Quelle que soit la technique utilisée, la position d'un point sur une colonne de l'écran représente l'amplitude du signal incident à un instant donné.

Si le balayage recte du type télévision colonne par colonne, l'adressage d'un point résulte d'une transformation amplitude temps - espace - En effet en comparant les amplitudes du signal d'entrée et d'une tension de référence en marches d'escalier synchrone avec le balayage, sortie d'un convertisseur digital-analogique, dont la largeur des marches est égale au pas de ce balayage, l'instant de leur égalité unique traduit une position sur une colonne de l'écran. L'illumination du point représentatif, résulte de l'application de la tension d'alimentation à partir de cet instant et pendant une durée au plus égale à un pas de balayage on aura le schéma :

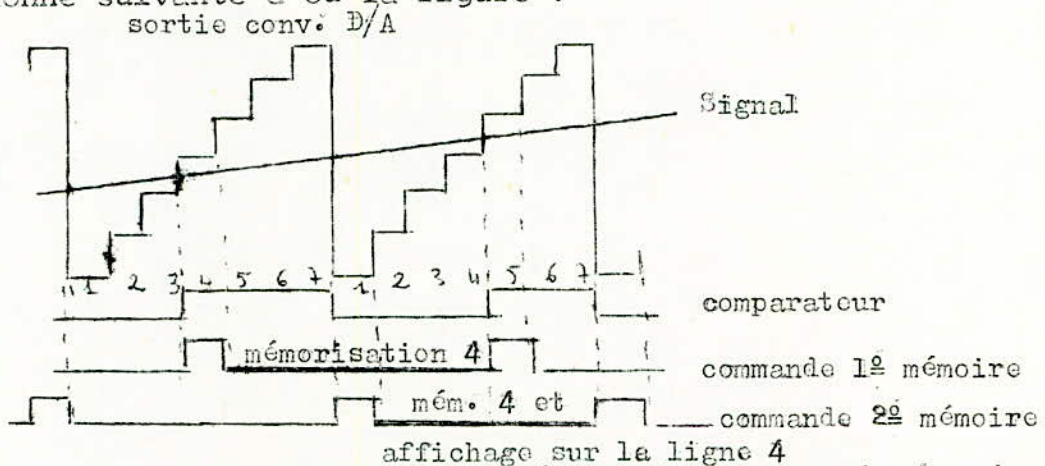


PRINCIPE DE L'AFFICHAGE DE SIGNAUX EVOLUTIFS

Ce principe conduit à une faible minosité de l'image représentée étant donnée la courte durée d'excitation du point (un pas de balayage) et le temps important séparant deux illuminations sur deux colonnes adjacentes (n pas de balayage si n'est l'ordre de la matrice). Pour pallier cet inconvénient, une codification de la valeur de l'amplitude du signal incident lors de l'égalité est nécessaire.

.../..

Cette conversion analogique-numérique (binaire) permet en effet une semi-mémorisation par l'intermédiaire de deux mémoires logiques, disposés en cascade; l'une étant commandée lors de l'égalité, l'autre à chaque début du cycle de conversion. La seconde mémoire attaquant directement l'interface, l'illumination du point représentant l'amplitude du signal incident à l'instant considéré, se produit pendant toute la durée du balayage de la colonne suivante d'où la figure :-



Affichage de signaux évolutifs par semi-mémorisation.

Ainsi tous les points représentatifs seront excités pendant un temps égal (valant n pas de balayage, si n est le nombre de lignes de la matrice) et à tout instant au moins un point est excité.

Dans ce second cas, un fonctionnement par commande xy peut être envisagé. Le compteur de scrutation par adjacence des colonnes est remplacé par un dispositif de traitement de l'information identique à celui des lignes et synchrone avec ce dernier. Les coordonnées x et y d'un point codifiées et mémorisées lors d'un cycle de conversion sont affichés lors du cycle suivant et définissent un point unique.

Un appareil réalisant cette fonction commandé par une horloge de fréquence 2 M Hz permet la transcription des signaux de fréquence pouvant avoisiner 8 KHz (fonctionnement en balayage ou $x y$).

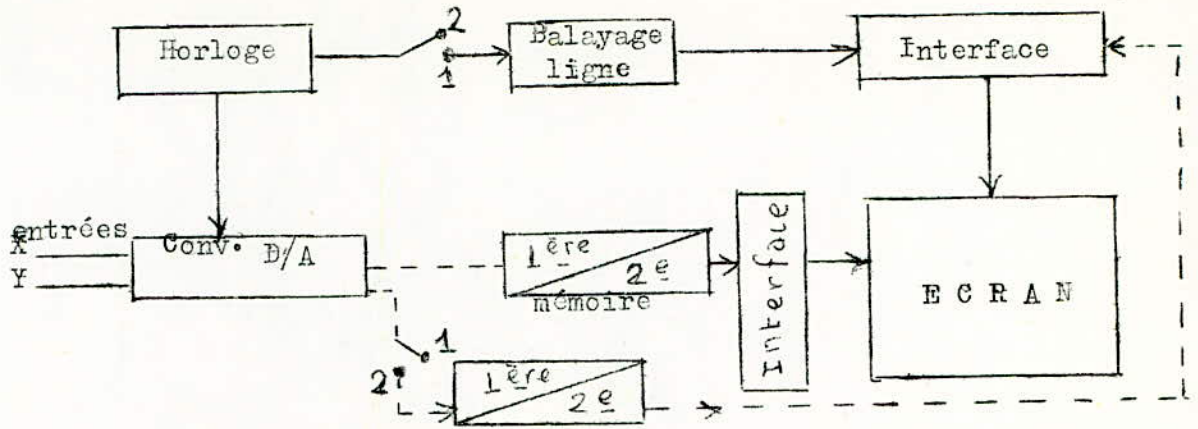


Schéma de principe d'un "oscilloscope matriciel" semi-mémorisation de signaux.

1. Mode balayage.
2. Mode x y.

II.2 - Influence du milieu de formation de l'image.

Notons enfin que l'excitation d'un élément d'une matrice au Z_{n-s} fait apparaître en plus de l'illumination partielle des éléments de la ligne et de la colonne excitées. Cette illumination est due à la présence de tensions parasites, avoisinant $V/2$ si l'ordre n de la matrice supposée carrée est assez grand qui proviennent de la distribution de la tension V excitatrice à travers cette structure de caractère passif.

A titre indicatif donnons un ordre de grandeur de ces tensions parasites. Lorsqu'il s'agit d'un balayage par faisceau (7 lignes balayées simultanément colonne par colonne) la tension parasite vaut :

-sur une colonne à chaque pas de balayage :-

$$V_{pc} = \frac{n'(n-1)}{n'(n-1)+n} V$$

où (n est l'ordre de la matrice
(n' est le nombre de lignes
(excitées simultanément.

-sur une ligne :-

$$V_{pl} = \frac{n - n'}{n'(n-1)+n} V$$

ce qui réduit le contraste de l'image.

Cet handicap n'existe pas dans le cas des diodes électroluminescentes en structure matricielle sur les écrans à effet destrian où le contraste est pratiquement infini et ceci grâce au caractère unidirectionnel de ces éléments, seule la diode sélectionnée est excitée, sur toutes les autres branches du réseau une diode polarisée en inverse ne laisse passer qu'un courant faible de fuite pour commander éventuellement d'autres diodes.

II-3. Conclusion.

Les écrans matriciels à diodes électroluminescentes semblent à priori plus intéressants que ceux à effet Destriaux pour l'affichage alphanumérique. En effet, la luminance élevée, la bonne rapidité de réponse, la simplicité de l'électronique de commande ainsi que l'excellent contraste obtenu semblent être de grands avantages en faveur des afficheurs à injection de porteurs.

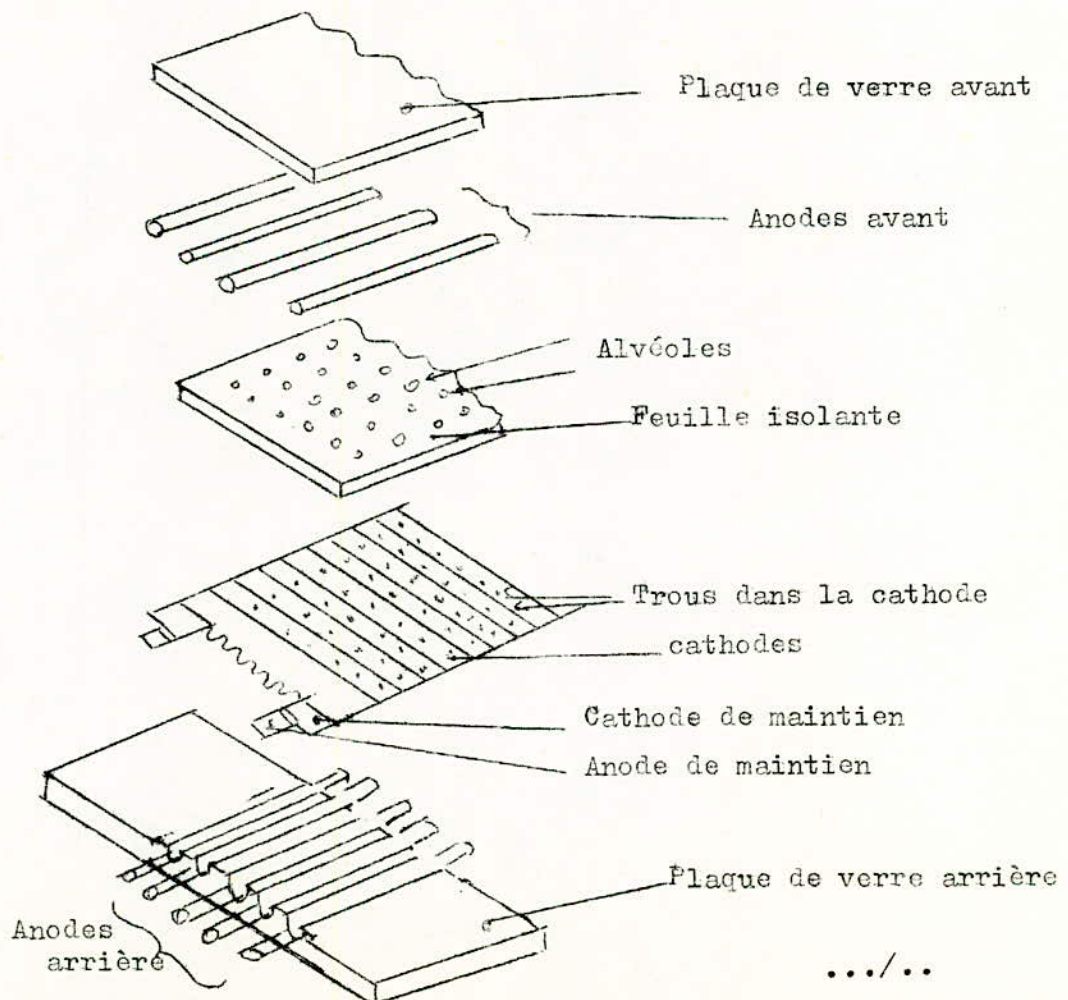
Cependant, la faible consommation, le coût peu élevé de l'écran, une définition d'images comparable font que les visualisateurs à l'électroluminescence intrinsèque ne doivent pas être totalement rejetés. De plus, le contraste peut être amélioré soit par l'application d'une tension en opposition sur les conducteurs non sélectionnés, soit par adjonction d'une couche à impédance variable. La durée de vie peut elle aussi être prolongée dans le cas des cellules métal-céramiques (3000 H sous 200 V à 400 Hz).

Les applications de tels dispositifs sont multiples et peuvent être destinées soit à la transcription visuelle plane d'informations de type quelconque (schémas, reconnaissance de forme ou informations alphanumériques dans les périphériques de calculateurs ou les appareils de mesure) soit à la visualisation d'informations vidéo (image télévision ou visualisation sur oscilloscope de signaux électriques). Illustrons cette étude par exemple d'application de ces panneaux en visualisation de caractères alphanumériques.

III - UN DISPOSITIF DE VISUALISATION 16 à 256 CARACTERES
(BDS 40832-200).

Le panneau de visualisation est un "self-scan" réalisé par Burroughs. Ce panneau est à plasma dont on a décrit le fonctionnement au II de la partie "Dispositifs Electroluminescents", mais celui-ci n'est pas à mémoire interne et diffère de par sa structure légèrement de l'écran "Pavane".

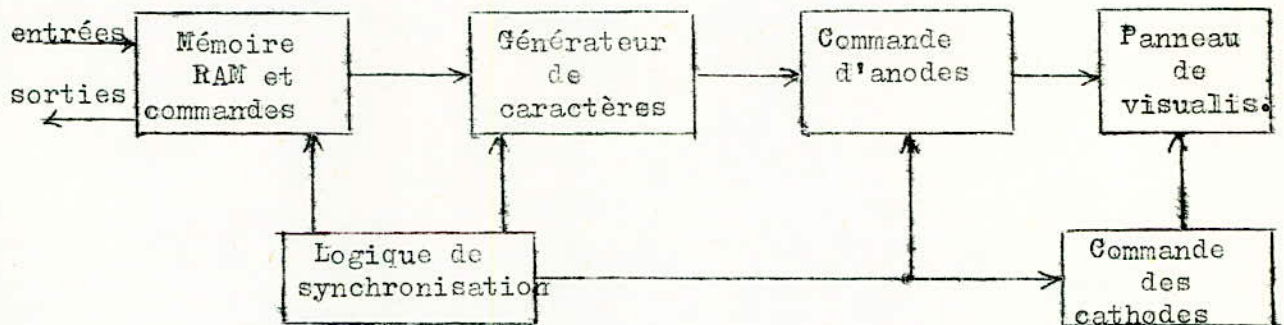
On remarque que dans le panneau "selfscan" on a deux séries d'anodes horizontales et une série de cathodes verticales. Une ionisation se déplaçant de la gauche vers la droite du panneau est assurée entre les cathodes et les anodes arrière, cette ionisation n'est pas visible de la face avant. Si l'on sélectionne un point de l'écran par application à l'anode avant qui correspond au point, l'ionisation devient visible par transfert de celle-ci de l'arrière vers l'avant. La structure est la suivante:



Le fonctionnement du sous-système de visualisation est synchrone. Mais l'interface informationnelle entre le sous-ensemble et la commande est asynchrone. Les informations extérieures seront présentées aux lignes d'entrées à un instant quelconque à une cadence de 571 K caractères par seconde au maximum. La même cadence peut être utilisée pour lire les informations de la mémoire interne.

Ce dispositif de visualisation est fait de 4 sous-ensembles :-

- a) Panneau de visualisation auquel sont associées les commandes d'anodes et cathodes,
- b) Un circuit comprenant la mémoire interne,
- c) Un circuit regroupant l'horloge et la logique de synchronisation,
- d) Un circuit générateur de caractères et sa logique associée.-



Sous-système de commande du panneau d'affichage.-

Le système d'horloges comporte un oscillateur 4 MHz qui pilote un compteur en anneau 6 bits fonctionnant comme un système horloge qui génère tout le chronométrage nécessaire au sous-système.

Le dispositif d'affichage possède une mémoire vive MOS (RAM) formée d'un réseau de 6 mémoires de 256 bits, cette mémoire stocke les informations venant d'une source quelconque générant

6 bits ASC II ainsi que les signaux de commande appropriés.

Le panneau de visualisation possède un magneur lumineux qui indique la position de lecture ou d'écriture; celui-ci est une matrice de 5 x 7 points normalement en fonctionnement mais pouvant être mise hors service, par une mise à la masse de la connexion correspondante.

Adressage de la mémoire :

Les informations sont toujours écrites dans la mémoire ou lues à partir de celle-ci à l'adresse correspondant à la position du marqueur, soit sous forme aléatoire, soit sous forme séquentielle à une vitesse maximum de 1,75 μ s par caractère. En entrée séquentielle, après chaque entrée de caractère, on incrémente de 1 l'adresse du marqueur, déplaçant celui-ci d'une position vers la droite. Si l'on choisit l'entrée aléatoire, huit lignes d'adresse-marqueur permettent de positionner celui-ci à n'importe quel endroit du panneau.

Notons que ce dispositif peut afficher un texte de huit lignes de 32 caractères chacune au maximum.

Les mêmes modes peuvent être utilisées pour la lecture des informations en mémoire.

La lecture d'une information est non destructive et l'information d'entrée est de même signe que celle de sortie. La position du marqueur peut être commandée extérieurement par déplacement d'une position dans l'horizontale et la verticale. La position aléatoire du marqueur peut s'effectuer en utilisant les huit lignes et une ligne de validation d'adresse marqueur. Ces informations doivent être présentes simultanément. Ce positionnement doit précéder une instruction de lecture ou d'écriture. Les adresses du marqueur pour chaque position du caractère sur le panneau sont données par le tableau :

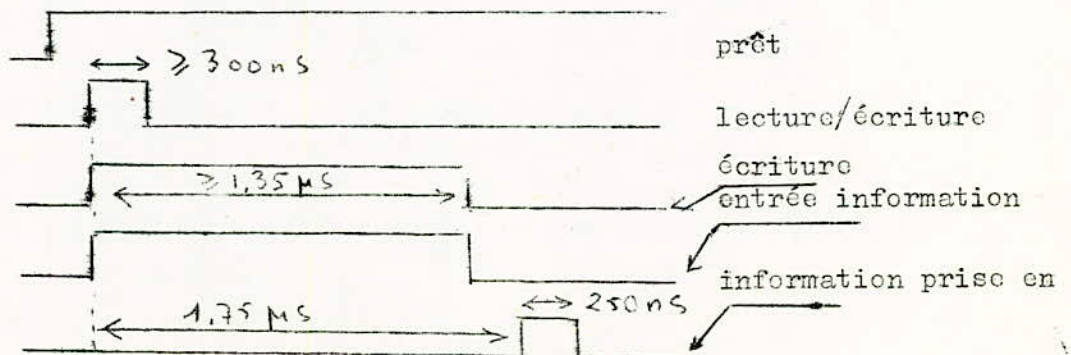
.../..

X			B3	0	0	0	...	1	1		
			B2	0	0	0	...	1	1		
			B1	0	0	0	...	1	1		
			Ligne	0	0	1	...	0	1		
			← colonnes →						...	31	32
0	0	0	1	1	2	3	4	...	...	32
0	0	1	0	33	34	...	...	...	...	64
0	1	1	0	...	...	...	...	...	...	...
1	0	0	1	...	...	...	...	...	...	...
1	0	1	0	...	...	...	...	...	...	...
1	1	1	1	225	...	...	...	...	...	256

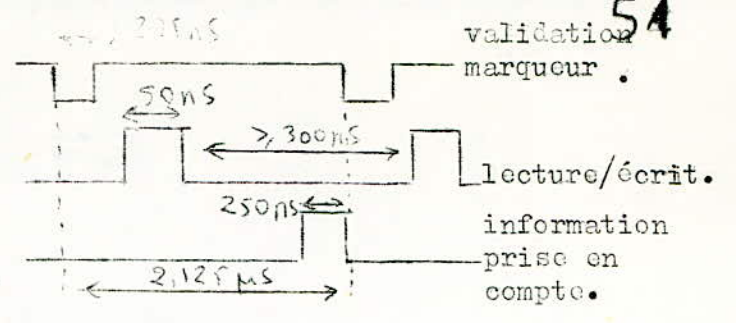
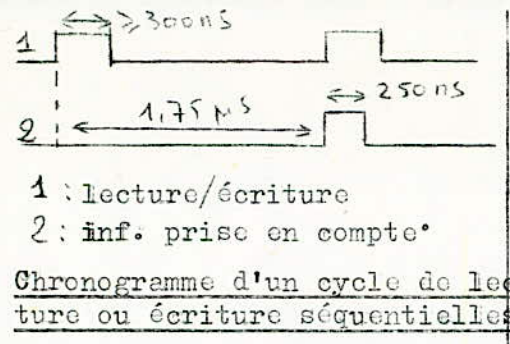
Séquences d'écriture :

Pour écrire et mettre en mémoire une information, il faut que l'entrée "lecture-écriture" soit mise au niveau 1; simultanément l'entrée écriture est aussi au niveau 1 et l'information est présentée sur les 6 entrées (code ASCII). La ligne "information mise en mémoire" est alors à 1 puis tombe à 0; ce front de descente sert à incrémenter l'adresse marqueur d'une unité. La cadence maximale est de 571.000 caractères/seconde en mode séquentiel.

En écriture aléatoire, un octet adresse-marqueur est présenté au compteur d'adresse avant le déclenchement de la séquence d'écriture. Quand l'adresse du marqueur est présente sur les lignes d'entrée, l'impulsion de validation d'adresse-marqueur positionne celle-ci dans le registre adresse-marqueur; cette adresse doit rester inchangée pendant la durée de cette impulsion. Après un temps de 50 ns, le fonctionnement devient celui vu précédemment. La cadence en mode aléatoire est de 470.000 caractères par seconde. Les chronogrammes sont les suivants :



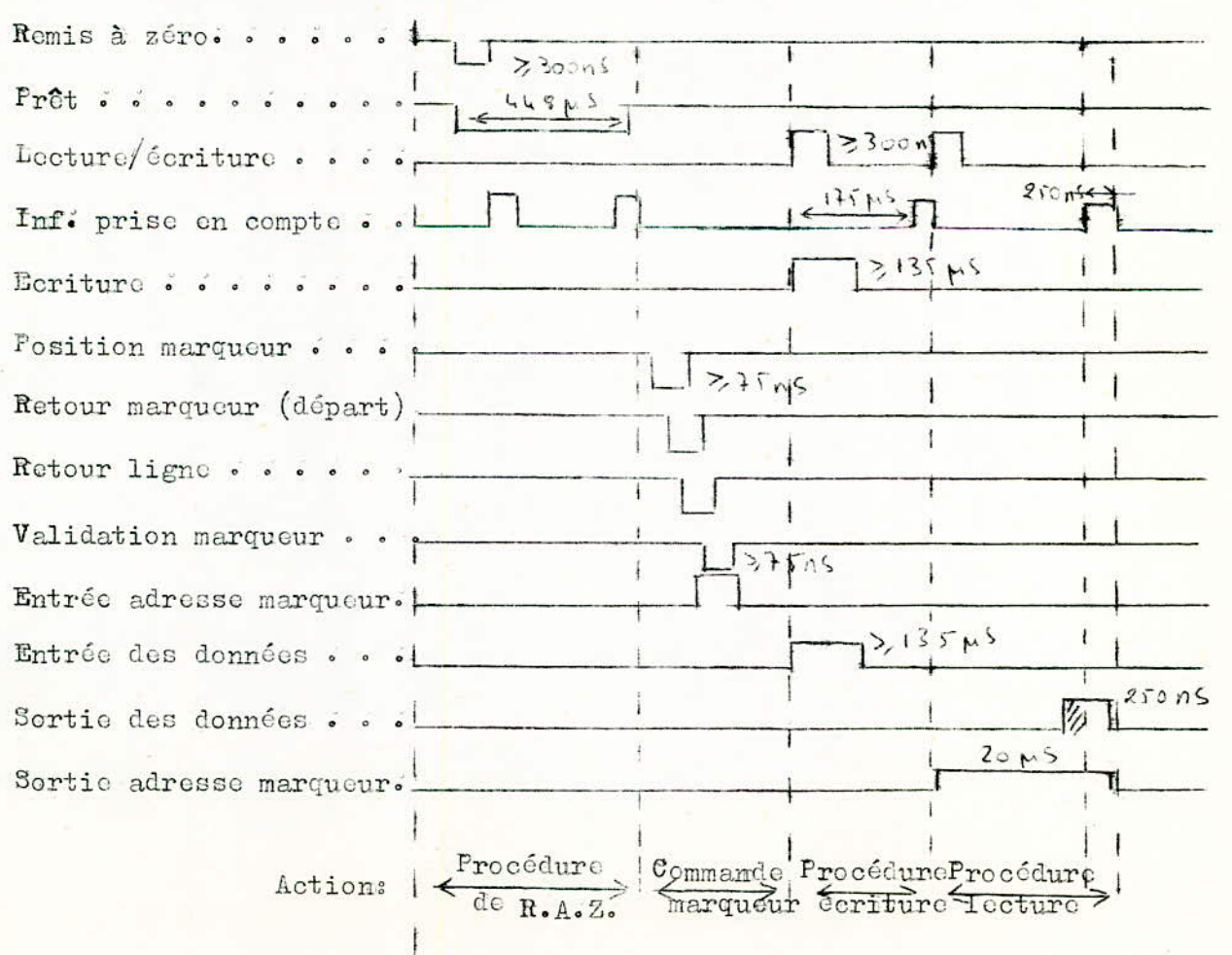
Chronogramme d'une séquence d'écriture



Séquence de lecture.

La lecture séquentielle des informations de la mémoire est effectuée de la même façon que l'écriture des informations sauf que la ligne écriture doit rester à 0. de même pour la lecture aléatoire, cependant, il faut positionner la marqueur avant d'effectuer la lecture.

Allure des signaux coordonnant le fonctionnement du panneau.



Interface.

Les branchements entrée-sortie sont compatibles DTL/TTL. L'entrance et la sortance sont pour chaque connexion d'une unité de charge. Les niveaux sont les suivants :

Entrée : logique "0" : 0,8 V max et 1,6 mA max à 0,4 V; logique "1" 2 V min avec 20 μ A max à 4 V.

Sortie : logique "0" 0,4Vmax à 1,6 mA ; logique "1" 2,4 V min.

Répertoire caractères :

Dans ce système on dispose du code ASC II de 64 caractères, répertoire suffisant pour la plupart des applications.

Alimentation :

Elle doit se faire de l'extérieur : il faut appliquer -12V et 0,5 A ; + 5 V et 0,5 A ; + 30 V et 0,1 A ; - 250 V et 1 A

Remise à zéro :

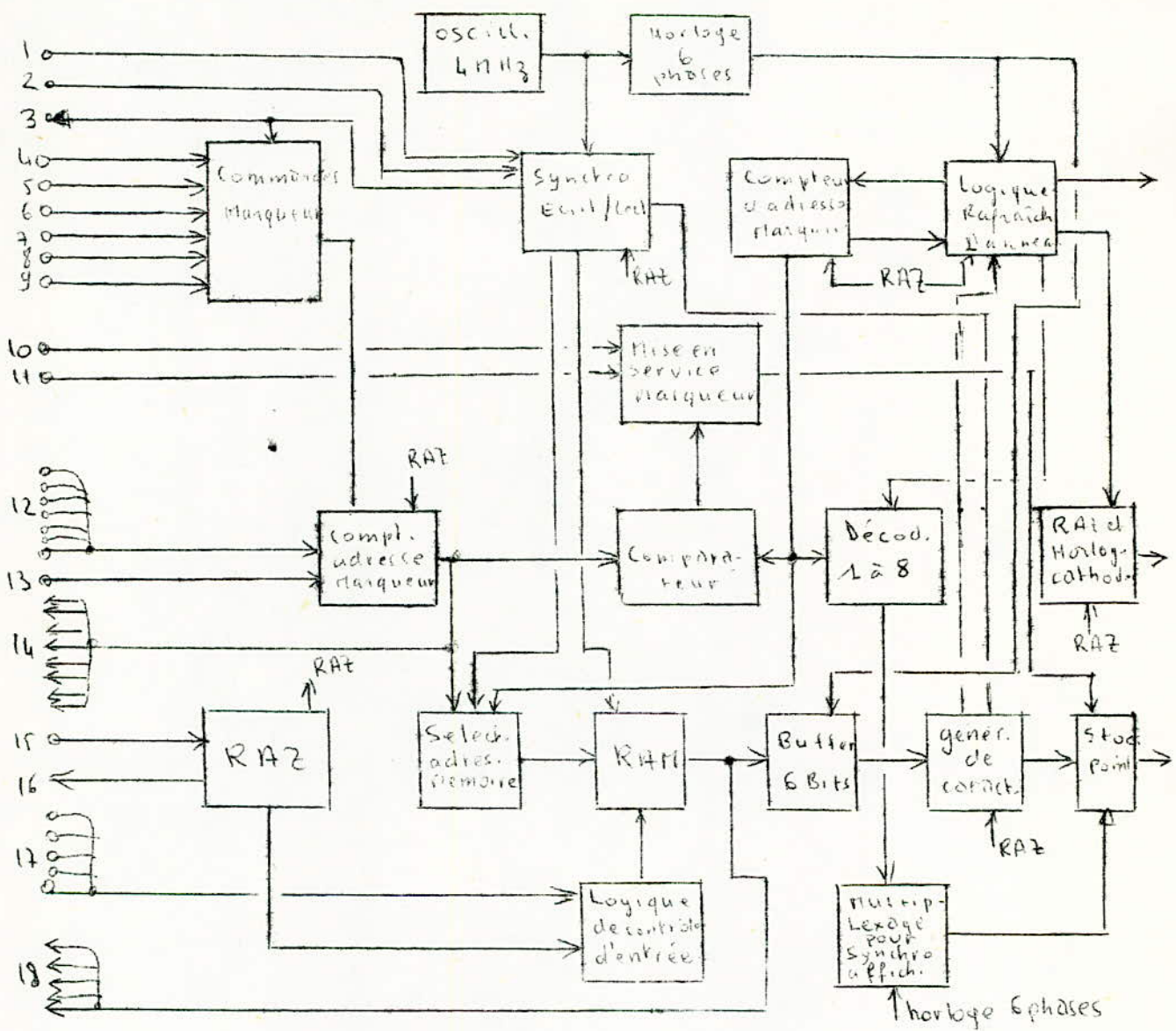
La remise à zéro du système à la mise sous tension est effectuée automatiquement si le -12 V et le + 5 V atteignent leur valeur en moins de 110 ns à la mise sous tension.

Durant cette séquence, le système remet à zéro les compteurs (sauf le compteur horloge 6 phases) et écrit dans chaque case mémoire des codes blancs (niveau zéro). Pendant ce temps 256 impulsions "informations prise en compte" sont générées et aucune information ne peut être prise en mémoire. Une remise à zéro extérieur, pendant le fonctionnement peut être effectuée, pour cela une ligne est disponible sur laquelle un niveau "0" doit être maintenu pendant au moins 300 ns. Le système effectuera alors une séquence identique à celle qui vient d'être décrite.

2. Applications.

Le dispositif qui vient d'être présenté permet de réaliser des petits terminaux à partir d'une combinaison de modules. On peut adjoindre un clavier pour la réalisation d'un terminal; on peut aussi relier deux panneaux d'affichage pour échange d'informations.

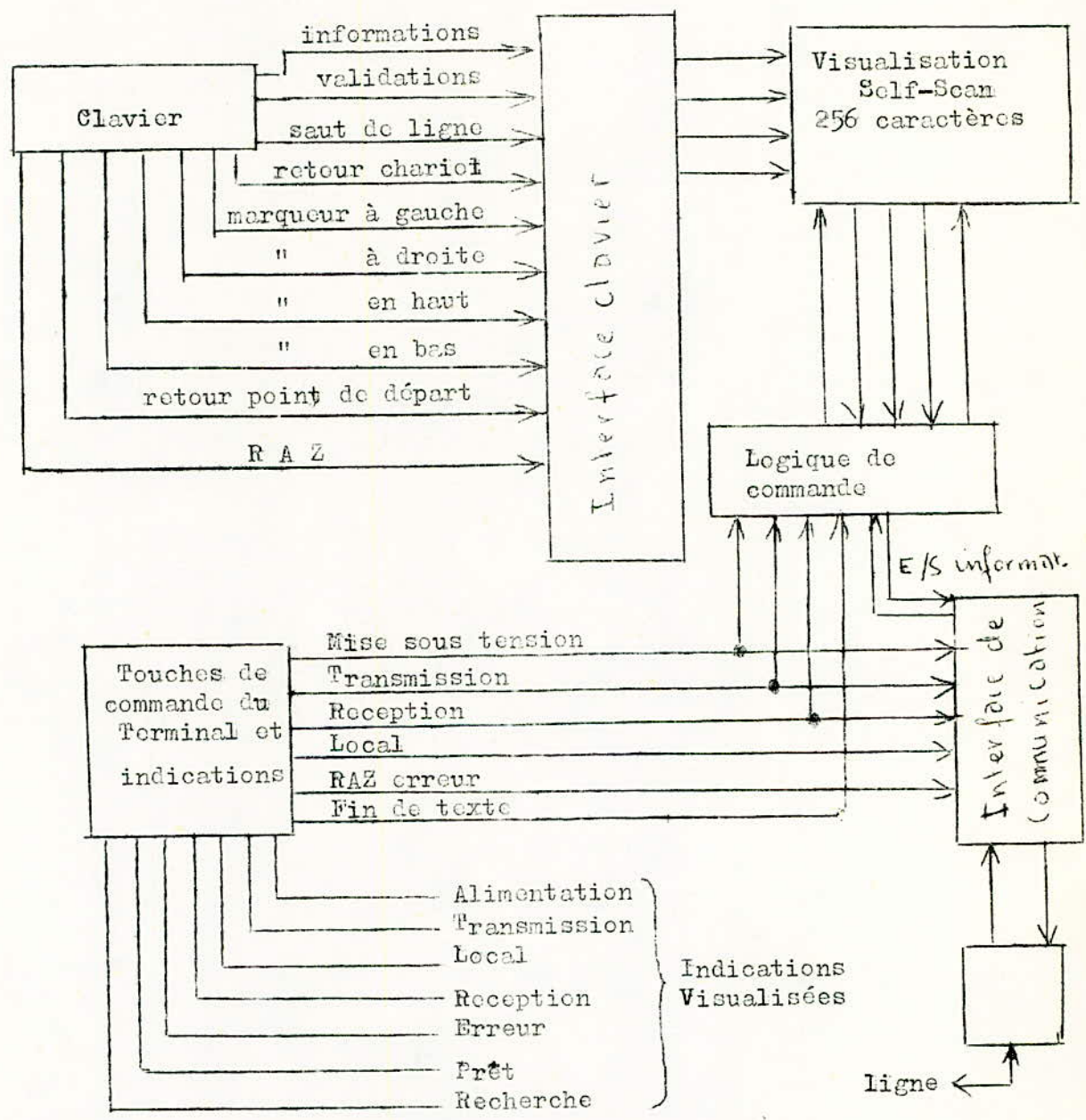
Schéma synoptique du fonctionnement du "self-scan" et d'un terminal à panneau de visualisation.-



- 1 : Ecriture, -
- 2 : Lecture .
- 3 : Ecriture prise en compte.
- 4 : Retour point de départ.
- 5 : Marqueur à gauche.
- 6 : " à droite.
- 7 : " en haut.
- 8 : " en bas.
- 9 : Retour ligne.
- 10: Commande marqueur ON/OFF.
- 11: Clignotant.
- 12: Entrées adresses marqueur.
- 13: Prise en compte marqueur.
- 14: Sorties adresses marqueur.
- 15: R A Z
- 16: Prêt.
- 17: Entrées des informations.
- 18: Sorties des informations.

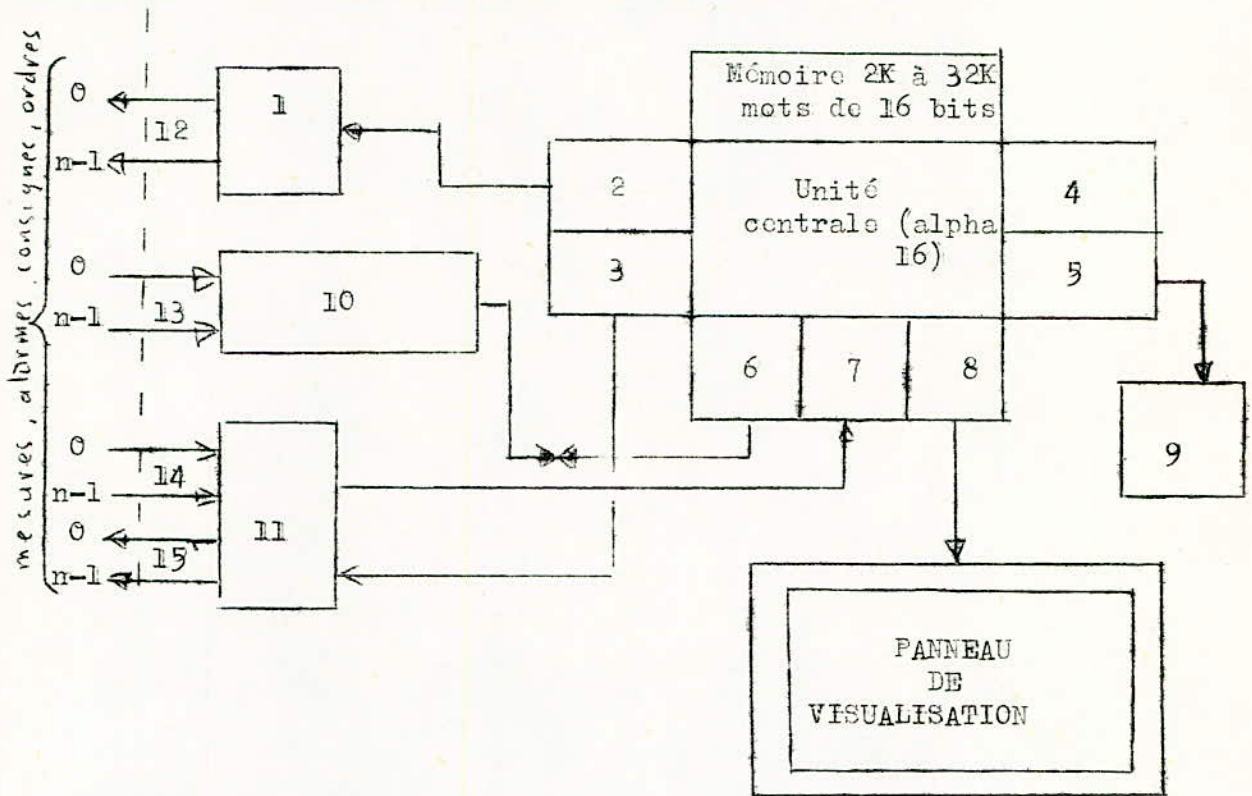
Les sorties complètement à droite vont vers le Panneau de Visualisation.

Synoptique sommaire de terminal à panneau de visualisation:



.../...

Autre exemple d'application du panneau de visualisation pour la surveillance de processus à l'aide d'un ordinateur :



- 1 : Tiroir sortie analogique.
- 2 : Interface sortie analogique.
- 3 : Sortie numérique.
- 4 : Protection secteur.
- 5 : Interface télétype.
- 6 : Interface acquisition analogique.
- 7 : Entrées numériques.
- 8 : Interface self-scan.
- 9 : Télétype ASR - 33 de dialogue.
- 10 : Tiroir chaîne d'acquisition analogique.
- 11 : Tiroir entrées/sorties numériques.
- 12 : n-voies analogiques.
- 13 : n-voies raccordées.
- 14 : n-entrées numériques.
- 15 : n-sorties numériques.

ANNEXES

Systèmes d'affichage de l'état solide à excitation électrique

Phénomène mis en jeu	Matériau	Effaçage	RESOLUTION	CONTRASTE	t _a (s)	t _e (s)	W _a W/cm ²	V (v)	B (FL)
Centres colorés	CaF	thermique	10 ³	20/1	10 ⁻⁵	10 ⁻¹	10 ⁻²	100	
		optique	10 ³	15/1	10 ⁻⁵	10 ⁻³	10 ⁻²	100	
Cristaux liquides	B-anoxyanisot	Suppression	5.10 ²	15/1	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻³	45	
Electrochromes	Sydnones	optique	10 ³	20/1	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻³	500	
Electrolyse	Ni	Electrique	10 ²	80/1	1	1	10 ⁻¹	20	
Electroluminescence	ZnS	Suppression	10 ²	60/1	10 ⁻³	-	10 ⁻²	500	30
"	SiC	Supp.	50	20/1	10 ⁻⁶	-	5.10 ⁻²	2	10
Electrochrom. Mémoire	ZnS; Cu; ZnO	Supp.	50	100/1	10 ⁻²	10 ⁻²	5.10 ⁻²	800	20
Extinction electrolum.	ZnS: Mn	Supp	50	60/1	10 ⁻¹	-	10 ⁻²	500	20
Reduction 1	TiO ₂ (Cu)	Thermique	10 ²	100/1	10 ⁻⁶	1	10 ⁻⁴	5	
Reduction 2	TiO ₂ : Cu/ZnO	optique	10 ²	100/1	10 ⁻⁴	10 ⁻¹	10 ⁻¹	5	
Electroplastique	Pliolite	Electrique	50	56/1	8.10 ⁻²	2.10 ⁻³	10 ⁻³	1500	100

t_e: temps d'effaçage

t_a: temps d'affichage

W_a: énergie d'affichage

V: tension d'affichage

B: Brillance (F_L Lambert)

CODE ASCII

Elements	bits				co. usg	co. usg							
	b ₇	b ₆	b ₅	b ₄		0	1	2	3	4	5	6	7
poids Fort	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
	0	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1
	0	0	1	1	3	ETX	DC ₃	#	3	C	S	c	s
	0	1	0	0	4	EOT	DC ₄	\$	4	D	T	d	t
	0	1	0	1	5	ENQ	NAK	%	5	E	V	e	v
	0	1	1	0	6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
	0	1	1	1	7	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w
	1	0	0	0	8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
	1	0	0	1	9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
	1	0	1	0	10	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
	1	0	1	1	11	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
	1	1	0	0	12	FF	FS	,	<	L	\	l	|
	1	1	0	1	13	CR	GS	-	=	M	]	m	}
	1	1	1	0	14	SO	RS	.	>	N	^	n	~
	1	1	1	1	15	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

Les différentes abréviations sont explicitées dans la page qui suit:

Cede ASCII suite

NUL	Nul ou tout à zéro	DC1	Commande appareil	1
SOH	Début d'entête	DC2	"	2
STX	Début de texte	DC3	"	3
ETX	Fin de texte	DC4	"	4
EOT	Fin de communication	NAK	Accusé de R négatif	
ENQ	Demande	SYN	Synchronisation	
ACK	Accusé de reception	ETB	Fin de bloc de transmission	
BEL	sonnerie	CAN	Annulation	
BS	Retour en arrière	EM	Fin de support	
HT	Tabulation horizontale	SUB	Substitution	
LF	Interligne	ESC	Echappement	
VT	Tabulation verticale	FS	Séparateur de fichier	
FF	Présentation de formules	GS	Séparateur de groupe	
CR	Retour de chariot	RS	Séparateur d'article	
SO	Hors code	US	Séparateur de sous-article	
SI	En code	SP	Espace	
DLE	Echappement transmission	DEL	Oblitération.	

CODE EBCDIC

Equivalents des quatre éléments binaires de Forts poids																	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Equivalent des quatre éléments binaires de Faibles poids	0	Null	BS		SP	8	-									0	
	1		SOS				/	a	j				A	J		1	
	2		FS					b	k	s			B	K	S	2	
	3							c	i	t			C	L	T	3	
	4	PF	RES	BYP	PN			d	m	u			D	M	U	4	
	5	HT	NL	LF	RS			e	n	v			E	N	V	5	
	6	LC	BS	EOB	UC			f	o	w			F	O	W	6	
	7	DEL	IDL	PRE	EOT			g	p	x			G	P	X	7	
	8							h	q	y			H	Q	Y	8	
	9							i	r	z			I	R	Z	9	
	10			SM		5	!	:									
	11					.	\$;	#								
	12					<	*	%	@								
	13					()	-	'								
	14					+	;	>	=								
	15					|	7	?	"								

- | | | | |
|------|---|-----|--|
| NULL | Pas de transmission | BYP | Arrêt impression jusqu'au RES suivant |
| PF | Arrêt perforation jusqu'au PN suivant | LF | Alimentation de voie |
| HT | Tabulation horizontale | EOB | Fin de bloc |
| LC | Minuscule | PRE | Préfixe (analogue à l'échappement au code ISO) |
| DEL | Effacement | PN | Début de perforation jusqu'au PF suivant |
| RES | Début d'impression jusqu'au BYP suivant | RS | Arrêt du lecteur |
| NL | Nouvelle ligne | UC | Majuscule |
| BS | Retour arrière | EOT | Fin de transmission. |
| IDL | Inoccupé | | |