



TH X538-TH X540

ESICON and SUPER-ESICON

Image pick-up tubes for low light level T.V.

These notes describe the main characteristics of the Esicon and Super-Esicon camera tubes which are well suited to low light level television. The Super-Esicon is derived from the Esicon by adding an image intensifying section. The standard model has a photocathode whose response is matched to the residual illumination of the sky at night. Other models may exhibit a different spectral response making them fitter for special functions such as ultraviolet or near infrared detection (anti-camouflage).

At very low light levels, as the image resolution is limited by too few photons being received for each picture element, the quality of the signal may be increased (reduction of quantum fluctuation) through integration of several successive frames, by reducing the picture frequency. This possibility is offered by the Esicon which has the advantage of very low persistence at low levels. This latter property is essential for examining motion scenes such as encountered in aerial reconnaissance. A major property of the Esicon is its satisfactory performance in the presence of local or general sources of very high level light, only requiring simple camera electronics while allowing a dynamic characteristic of 10,000/1 for the tube alone.

These notes are divided into 5 paragraphs relating to the Esicon and the Super-Esicon :

1. Introduction
2. Esicon and Super-Esicon camera tube definition
3. Principle of operation
4. Main characteristics of the Esicon
5. Main characteristics of the Super-Esicon

General information on the problems encountered in low light level vision or television will be found in the appendix.

- A1. General characteristics of night vision
- A2. Photoelectric detector devices
- A3. Brief description of the various low light level camera tubes
- A4. Main design problems for a low light level image detection system.



1 - INTRODUCTION

Low light level television has long been limited to the transmission of dark outdoor day scenes in winter. The necessity for extending this limit and televising night scenes, particularly for surveillance purposes, has become an essential consideration in the design of various systems.

Although progress has been made of late years in the design of video amplifiers (increase in gain for the same noise level), such applications may not be contemplated for the vidicon and image orthicon tubes.

Pickup equipment for the detection and recognition of night scene elements must satisfy a number of criteria to be truly operational :

- High overall sensitivity in the visible range and the near infrared.
- Good signal-to-noise ratio and resolution.
- Very wide dynamic characteristic without image destabilisation, even partial.
- Fast response for picking up objects in motion.
- Simple, reliable operation.
- Low power consumption and small size.

The Esicon, a television camera tube of recent design, permits the implementation of equipment satisfying every such requirement and is therefore the ideal for such applications.

2 - ESICON TH X538 AND SUPER-ESICON TH X540 CAMERA TUBE DEFINITION

2.1. ESICON (Fig. 5)

The TH X538 tube is a television camera tube with a high sensitivity photocathode 25 mm in useful diameter, a high gain secondary emission target and a vidicon type scanning gun.

It features a high sensitivity, a good resolving power, a low remanence or image persistence, and is very easy to use.

An outstanding feature of this tube is that it employs a high secondary emission photoelectron multiplier target which makes it excellent at storing and integrating the charges, and permits the transformation of these charges into a video signal by a single scanning of each element by the scanning beam. The secondary emission effect is virtually linear and inertialess.

These properties permit the tube to be operated in a wide range of illumination levels and make it particularly fit for the detection and recognition of moving or stationary elements. The presence of scene areas with enough luminance to cause signal saturation does not produce halation and does not prevent the rest of the scene from being viewed.



This tube requires only low scanning power and the conventional accessories of the vidicon can be used with it. A high voltage of 12 kV max.; with very low current, is used to accelerate the electrons of the photocathode, and the slaving of this voltage to the video signal permits the tube sensitivity to be reduced and thereby the dynamic characteristic to be increased.

This tube is designed for low light level television applications. A television camera employing it will provide high quality image at scene illumination levels of 10^{-3} to 1 lux.

2.2. SUPER-ESICON (fig. 7)

In applications where very high sensitivity is essential, an additional intensifier stage may be used in the form of a TH 9473 image intensifier. Simple physical juxtaposition is all that is necessary to couple the camera tube and the image intensifier: the intensifier has a fibre-optic output window and the Esicon has a fibre-optic input window. The camera tube thus obtained is called Super-Esicon TH X540.

The Super-Esicon has all the qualities of the Esicon and a sensitivity fifty times greater for the same input field, i.e. 25 mm. This tube permits the implementation of a camera well suited to night television under almost all conditions encountered in this type of application: values of illumination between $5 \cdot 10^{-5}$ and 10^{-2} lux. The same camera as used for the standard Esicon may be used for the Super-Esicon by simply adding a modular power supply unit for the image intensifier. The use of the slaving features permits a total dynamic characteristic of 10,000/1 without any touching up a setting.

3 - PRINCIPLE OF OPERATION

A functional diagram of the Esicon tube is shown in figure 1: the optical image is focused on the optically flat fibre-optic faceplate of the tube and transmitted to the inside photocathode deposited on a concave surface. The photoelectrons emitted by the photocathode in proportion to the light received are accelerated and focused on the target by the electrostatic lens consisting of the photocathode and a conical anode.

The target consisting of a dielectric with high secondary emission ratio is deposited on a thin metal electrode used as signal electrode. The photoelectrons accelerated under about 10 kV yield their energy by producing secondary emission of electrons from the target material, these electrons being collected by a collector electrode. The free area of the target, facing the electron gun, thus charges proportionally to the flux of photoelectrons received, the potential being all the more positive as the input photocathode is more illuminated.



The very high transverse and in depth resistivity of the target due to the nature of the material permits the charge configuration to be preserved for a long time. It also results in virtually zero signal current in darkness and therefore in a stable and uniform black level, which facilitates the observation of very low contrasts in the televised scenes.

A suppressor grid is provided opposite the target on the gun side. It is used to limit the potential reached by the target to the one which is applied to it : this potential is adjusted to a value slightly lower than the cross-over potential of the material, which prevents any destabilisation owing to excessive local or general illumination of the input photocathode.

The periodic passage of the scanning beam produced by the electron gun opposite permits the target to be restabilised at the potential of the cathode by neutralising the charges with electrons. The resulting current pulse constitutes the video signal which appears capacitively in the circuit of the signal electrode.

4 - MAIN CHARACTERISTICS OF THE ESICON

4.1. SPECTRAL RESPONSE AND SENSITIVITY

Depending on the particular application, various types of photocathodes may be used. The most commonly used photocathode is the S20 whose typical spectral response curve is shown in figure 2.

The maximum quantum efficiency is 15 to 20% and the corresponding wavelength is between 420 and 460 nm. The high quantum efficiency of the S20 photocathode, combined with the high gain of the target, permits a sensitivity in the order of 15,000 $\mu\text{A/lumen}$ (i.e. about 5 $\mu\text{A/lux}$) to be obtained (illuminated area = 3 sq cm). For some applications, the near infrared sensitive S1 cathode may be preferred (camouflage detection).

4.2. SIGNAL-ILLUMINATION CHARACTERISTIC

The signal-illumination characteristic is plotted in figure 3 (a). The gamma of the tube is 1 for light levels less than 10^{-2} lux and decreases to about 0.6 above 10^{-1} lux. When the value of illumination increases, there exists a saturation of the signal determined by the potential of the grid g5. Excessive illumination may cause a momentary gain loss, and even a target burn, and it is advisable, in normal operation, not to exceed the values of illumination indicated on the curve in figure 4. Slaving the photocathode voltage to the signal current may help to reduce this burning effect.



4.3. RESOLUTION AND MODULATION TRANSFER

The modulation transfer curve for a square signal pattern with 100% contrast is shown in figure 3 (b). The values of contrast are in the order of 60% for 200 TV lines and 20% for 400 TV lines. The limit resolution of the tube is about 20 line pairs/mm, which corresponds to 600 lines (800 points per line).

The resolution varies little with the target voltage and the photocathode voltage if those do not become less than 5 V and 4 kV respectively, which permits the use of AGC without reducing the resolution.

Figure 4 (a) shows the limit resolution versus photocathode illumination. The resolution varies from 550 TV lines for 0.1 lux to 100 TV lines for $2 \cdot 10^{-4}$ lux.

4.4. IMAGE PERSISTENCE

The image persistence of the Esicon is very low compared to that of most of the other camera tubes. The residual signal after the passage of the scanning beam is generally less than 10% of the value scanned. However, remanence increases a little at very low levels of light due to the incomplete absorption of the scanning beam by the layer (figure 3 (d)).

4.5. INTEGRATION AND STORAGE

The very high resistance of the Esicon target permits the integration of a signal for several minutes without the image being degraded by leakage currents. The exposure-light reciprocity is well verified and on some tubes it is possible to integrate a signal for 20 minutes. An integration of 60 seconds increases the detection sensitivity by a factor of 1500.

This integration can be achieved automatically by means of a simple electronic device. For examining slow moving objects, a rate of 1 to 4 pictures per second may be sufficient, which gives a gain in sensitivity (or in signal-to-noise ratio) of 25 to 6. To avoid flicker, the picture is displayed on a receiver equipped with a persistent cathode ray tube or an image retaining tube (DVST) or with the help of an electrical recording storage tube associated to a standard TV monitor.



4.6. MAXIMUM LIGHT LEVEL

The curve in figure 4 (b) shows the limiting values of illumination versus exposure time. These limits depend also on the photocathode voltage : when the voltage decreases, the curve moves upwards.

If the energy dissipated in the target is too high, several phenomena result : apparition of a negative image, momentary gain loss, and even permanent layer burn. It is therefore recommended not to exceed the maximum values of illumination, although, in most cases, with values slightly in excess of those indicated, the tube will still recover its properties.

4.7. ENVIRONMENTAL LIMITATIONS AND LIFE

The tube can be operated between -30°C and $+50^{\circ}\text{C}$ without any appreciable effect upon its performance. The tube structure has been specially designed to offer good resistance to shock and vibration. However, precautions are necessary in designing the camera head to minimise spurious signals caused by internal vibration. Figure 5 shows the dimensional characteristics of the tube.

Under normal operating conditions, a life of several thousand hours may be expected without significant alteration of the characteristics.

5 - MAIN CHARACTERISTICS OF THE SUPER-ESICON

The result of coupling a TH 9473 image intensifier with a TH X538 Esicon tube of 25 mm input field is a camera tube 20 to 50 times more sensitive than the Esicon alone, with all the characteristics of the Esicon retained. Figure 7 shows the Super-Esicon. Optical coupling is accomplished through the fibre optics of the intensifier and of the Esicon. Physical coupling is obtained by means of a simple mechanical device which provides good rigidity.

The operating voltage is 25 kV distributed between the intensifier (15 kV) and the Esicon (10 kV). The EHT generator may take the form of modular elements with very small overall dimensions because very low power is involved. Another method of coupling employing an additional fibre-optic plate permits the total power supply voltage to be 15 kV only.

5.1. SPECTRAL RESPONSE

The input photocathode, which is that of the image intensifier, is in general of the S20 type, or still better of the S25 type, with a spectral response extended to the near infrared (see figure 2). Such a photocathode has a white-light sensitivity (2870°K) greater than $175 \mu\text{A/lumen}$.



5.2. SIGNAL-ILLUMINATION CHARACTERISTIC

The curve in figure 6(a) shows target current versus photocathode illumination. The gamma of the tube ranges from 1 for the lowest levels of light to 0.6 between 10^{-4} and 10^{-3} lux. It is possible, by combining target voltage, photocathode voltage and beam current slaving to cover a dynamic illumination range in the order of 10,000.

5.3. RESOLUTION AND MODULATION TRANSFER

The resolution for the same signal current is slightly less than that of the Esicon because of unavoidable losses due to the coupling of the image intensifier and the Esicon. On the other hand, the resolution of the Super-Esicon is higher at low light levels. Typical values of resolution are 500 TV lines at 10^{-3} lux and 100 TV lines at $3 \cdot 10^{-6}$ lux. The curve in figure 6(b) shows the resolution versus the number of TV lines for a highly contrasted square signal pattern.

5.4. IMAGE PERSISTENCE

The image persistence of the Super Esicon is the same as that of the Esicon (see fig. 3 (d)). The low remanence contributes to the high resolution qualities of the Esicon and Super-Esicon for objects in motion.

5.5. INTEGRATION AND STORAGE

As in the Esicon, it is possible to integrate a light signal for several minutes and to read it a few hours after removing the high voltage. Limitations are imposed on the integration by the dark current of the intensifier and the transfer section of the Esicon and low illuminations due to the electron gun cathode. With excessive photon noise, it may be found advantageous to reduce the gain of the tube by reducing the high voltage and to operate the tube with longer integration times.

5.6. MAXIMUM LIGHT LEVELS

The curve (d) in figure 6 shows, versus the exposure, the maximum value of illumination which the tube can withstand in normal operation. Values slightly in excess of those indicated will result in a gain loss, but the tube will generally recover its properties after a few minutes.

5.7. ENVIRONMENTAL LIMITATIONS AND LIFE

The Super-Esicon tube will operate satisfactorily between -30°C and $+50^{\circ}\text{C}$. It is rugged and offers good resistance to shock and vibration. However, camera heads should be constructed in such a way as to minimise vibration liable to cause microphonics.



APPENDIX

LOW LIGHT LEVEL TELEVISION

A1 - GENERAL CHARACTERISTICS OF NIGHT VISION

The human eye can distinguish highly contrasted objects at a level of light of about 10^{-4} lux. When the level of illumination is $2 \cdot 10^{-1}$ lux, which is that provided by the full moon, vision is improved and it becomes possible to read say the headlines of a newspaper, but the colour detection threshold is not reached yet. At about 100 lux, which corresponds probably to the level of illumination of this sheet of paper, visual acuity becomes optimum.

In short, it may be considered that below 1 lux the human eye loses much of its resolving power and can no longer distinguish colours.

There are other limitations associated with the wavelength of radiation : the eye is sensitive to only a very narrow band of wavelengths (0.4μ to 0.8μ) in the electromagnetic spectrum. This consideration is important : the radiation emitted by the night sky is mainly in the red and infrared portions of the electromagnetic spectrum (figure 8). Furthermore, the shift to the infrared is accentuated by the variation of the reflection coefficient with the wavelength of many objects (figure 9).

It follows from the above that the use of detection devices exhibiting higher sensitivity and wider spectral coverage than the human eye is very advantageous and permits contrasts to be observed by enhancing the luminance of the image at levels where the eye exhibits good resolving power and therefore good ability to detect picture elements. The eye responds to a minimum of 50 photons. This corresponds to a quantum efficiency of 0.02. Since the quantum efficiency of a good photocathode is about 0.1, a gain in the order of 5 is achieved. On the other hand, the photoelectrons emitted can be multiplied through secondary emission.

TABLE 1 : SCENE ILLUMINATION ACCORDING TO AMBIENT CONDITIONS

<u>Ambient conditions</u>	<u>Scene illumination (lux)</u>
Full moon - clear sky	$2 \cdot 10^{-1}$
Half moon - clear sky	10^{-1}
Full moon - moderately covered sky	$4 \cdot 10^{-2}$
Quarter - clear sky	10^{-2}
No moon - clear sky	10^{-3}
No moon - moderately covered sky	$5 \cdot 10^{-4}$
No moon - heavy clouds	$2 \cdot 10^{-4}$



A2. PHOTOELECTRIC DETECTOR DEVICES

The low light level electronic detector devices may be classified into two groups :

1. The image intensifiers.
2. The camera tubes.

According to the applications, one of these devices will be more or less appropriate. However, notwithstanding weight, bulk and handling considerations, it is obvious that the secondary category, which makes it possible to use all the techniques of television, offers a considerable advantage (remote display, multiple screen display, etc...).

Among the main pickup devices worth considering, let us mention : the image Orthicon, the Isocon and the Esicon. From a sensitivity standpoint, the performance of these three tubes may be improved by the addition of intensifier tubes.

A3. BRIEF DESCRIPTION OF THE VARIOUS LOW LIGHT LEVEL CAMERA TUBES

All these tubes are based on the same principle.

A flux of photons is detected by means of a photocathode well suited (quantum efficiency, spectral response) to night vision. This photocathode is generally a S20 or a S25 (figure 2).

The emitted photoelectrons are transferred to a target with an increase in energy permitting the emission of secondary electrons. Thus, at the level of the target, there is a multiplication of the number of charges corresponding to N incident photons; this multiplication is a function of the secondary emission coefficient.

In the image orthicon and the isocon, the secondary electrons leave the target and are collected by a grid. In the esicon, the secondary electrons are transferred through the pores of a target made of a material with a high secondary emission coefficient.

In the Image Orthicon, the reading of the charge configuration on the target is accomplished by means of an electron beam reflected by this target, and the current is inversely proportional to the level of illumination. The noise due to the Schottky effect is therefore high under these conditions. Despite improvements such as automatic beam control (A.B.C.) (set at the assumed electric charge to be read through complicated electronic devices), this problem has not been solved satisfactorily yet.

In the Isicon tube, this difficulty is obviated by using to generate the video signal only that portion of the beam which has been scattered (and not reflected) by the target. From the standpoint of noise, the performance are thus greatly improved, but adjustment of the tube is extremely critical and leads to an equipment little operational.



In the Esicon tube, the reading process is quite different. Reading is accomplished by recharging the capacitance formed by the target in a much similar way as in a conventional Vidicon, and the video current is constituted by the electrons moving directly in the target.

A4. MAIN DESIGN PROBLEMS FOR A LOW LIGHT LEVEL IMAGE DETECTION SYSTEM

Two kinds of problems are generally encountered :

1. Noise problems
2. Optical problems

The noise problem

The perception of scene elements is limited by noise. The Esicon has very low intrinsic noise and this noise is negligible compared to the noise of the associated video amplifier. With a preamplifier having a bandwidth of 7 MHz and 2 nA RMS noise referred to the input, a signal-to-noise ratio of 50 max. can be achieved in the case of the Esicon tube, which corresponds to a visual signal-to-noise ratio of 150, i.e. about 43 dB.

With high sensitivities, particularly when image intensifiers are used, photon fluctuation may intervene and limit the detection of scene elements.

The optical problem

To obtain maximum efficiency from a night pickup tube, it is necessary to collect a maximum number of photons, and most often the practical solution to this problem is reduced to price and size considerations.

With E_s being the illumination level of a scene, the illumination of the tube photocathode is given by the following formula :

$$E_{pc} = \frac{B_s T}{4 f^2 (1 + m)^2}$$

Where $B_s = RE_s$, R being the reflection coefficient of the scene
 T = transmission coefficient of the optical system
 f = lens aperture
 m = magnification

Typical results may be $E_{pc} = 0.2 B_s$ and if $R = 0.05$ (sea-water reflection), $E_{pc} = 10^{-2} E_s$. The advantage of having an image intensifier in front of the pickup tube appears now clearly, for with a gain of 100, the losses due to the low reflection coefficient of the scene and to the optical system will be compensated. Figure 10 shows the relations between the illumination of the photocathode and the illumination of the scene for various apertures and indicates the operating regions of the Esicon and Super-Esicon.



FUNCTIONAL DIAGRAM OF THE ESICON

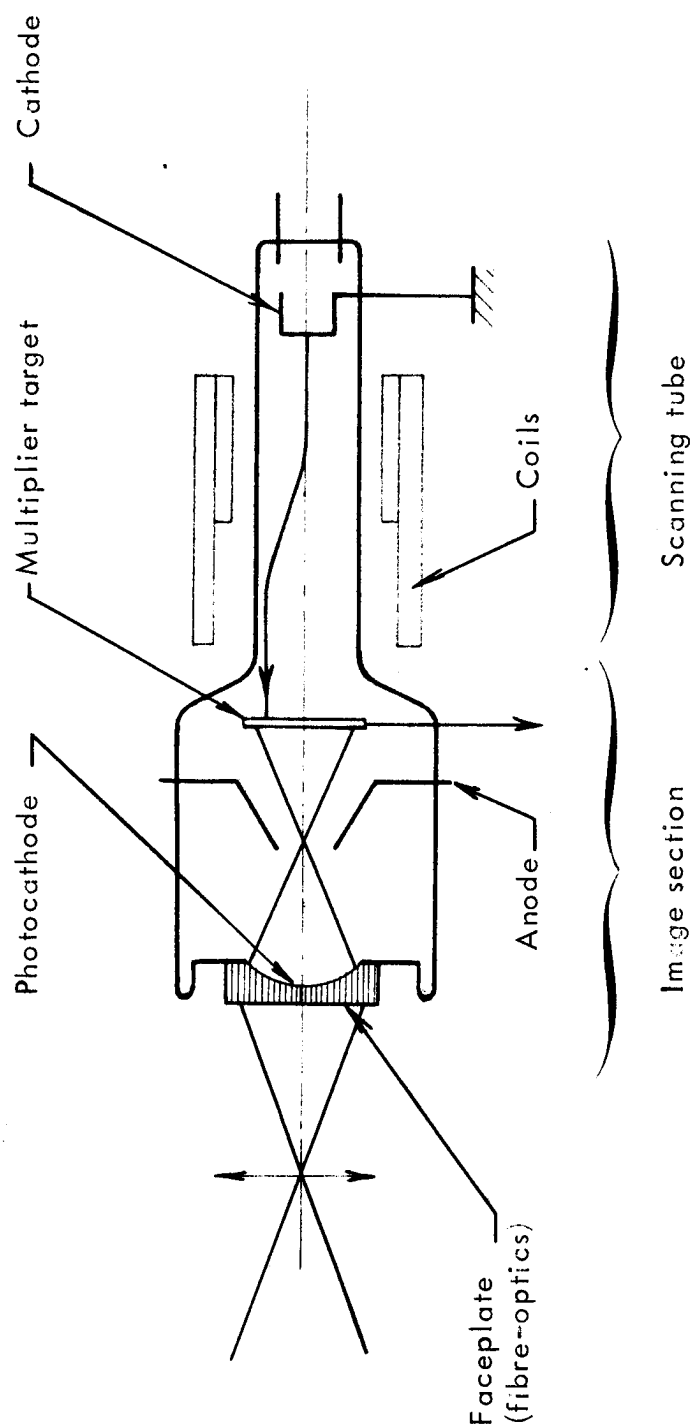


FIG. 1



TYPICAL PHOTOCATHODE SPECTRAL RESPONSES

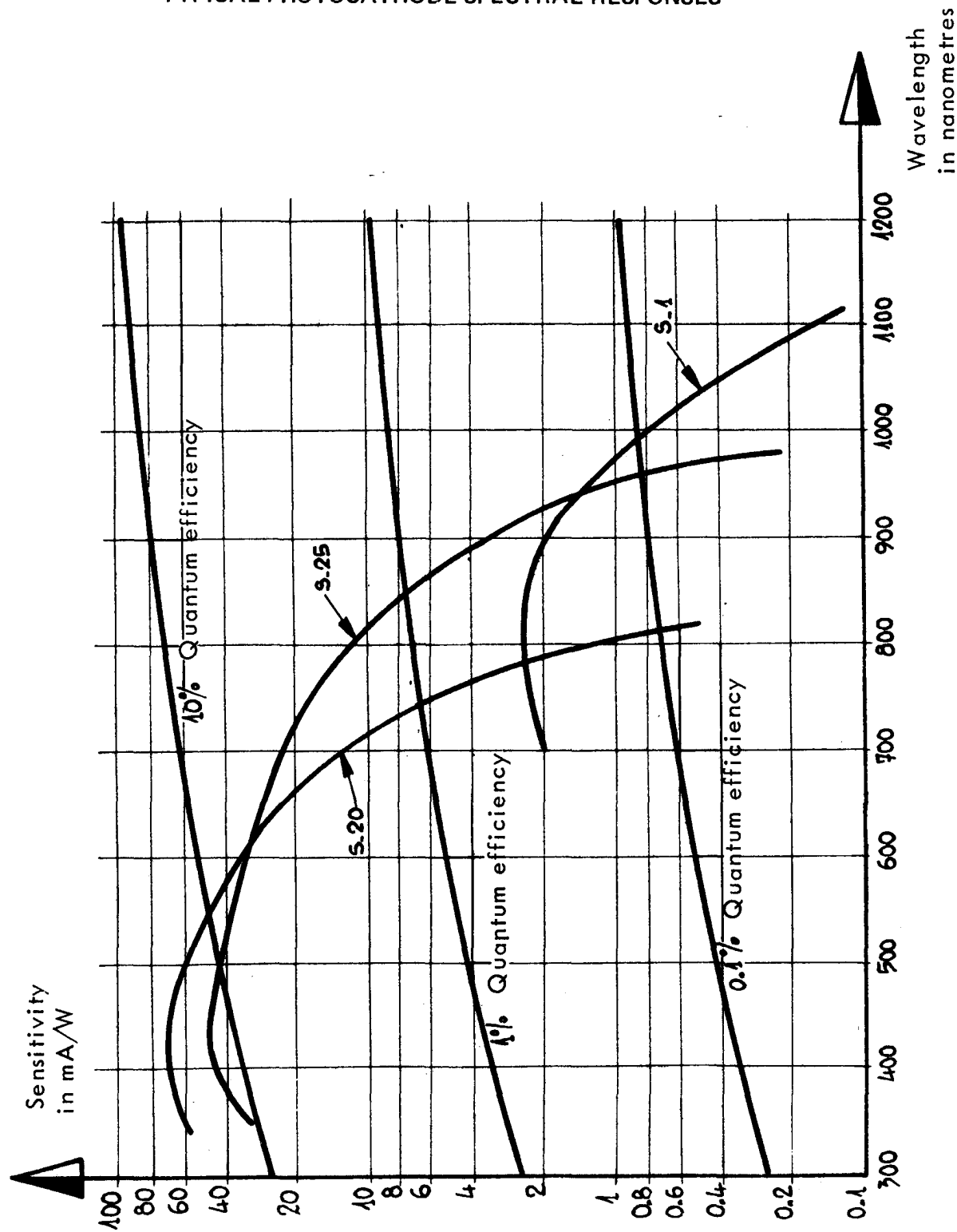


FIG.2



MAIN CHARACTERISTICS OF THE THX 538 - ESICON TUBE

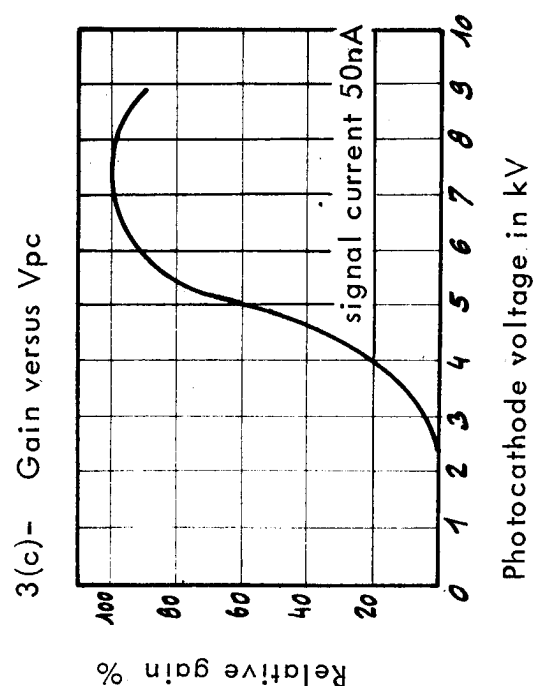
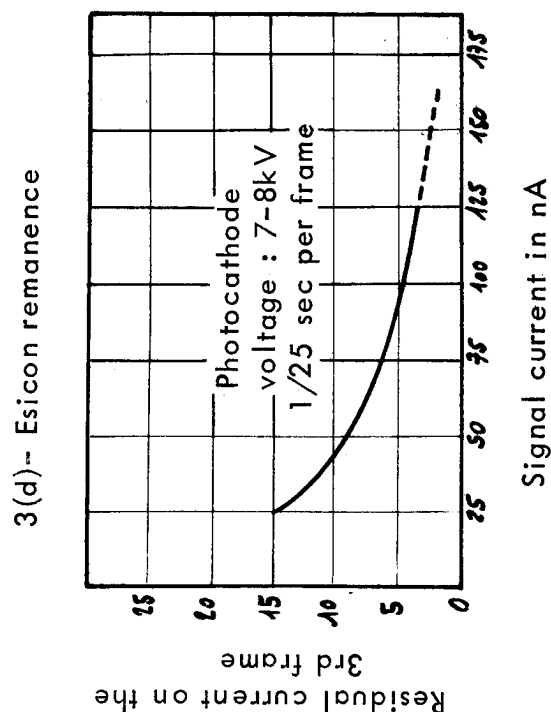
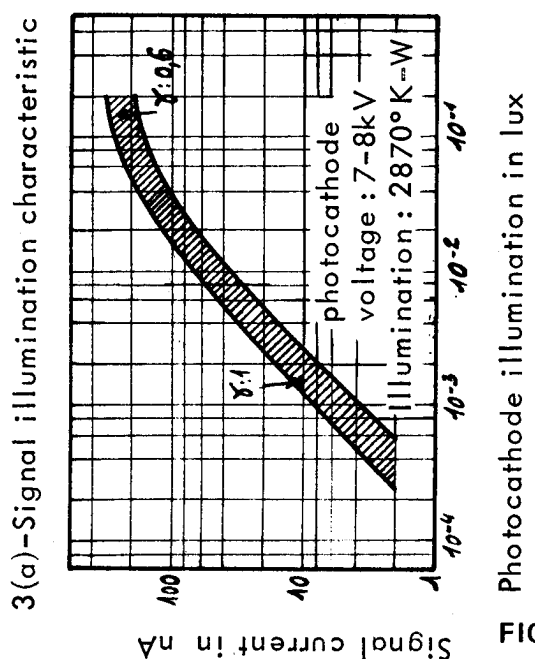
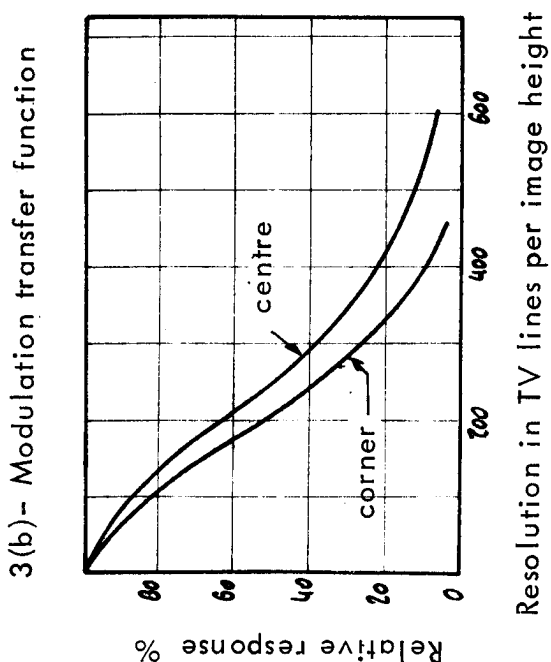


FIG. 3





CHARACTERISTICS OF THE X 538- ESICON

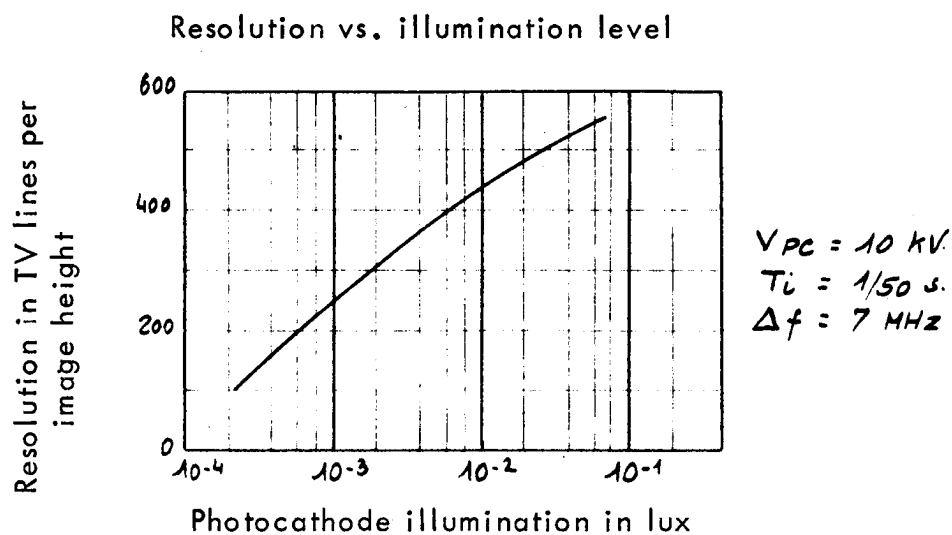
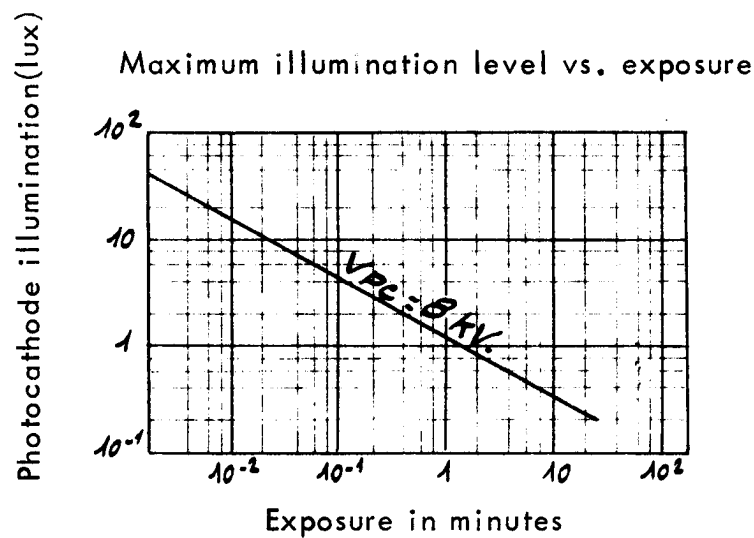


FIG. 4



THX 538 - DIMENSIONS

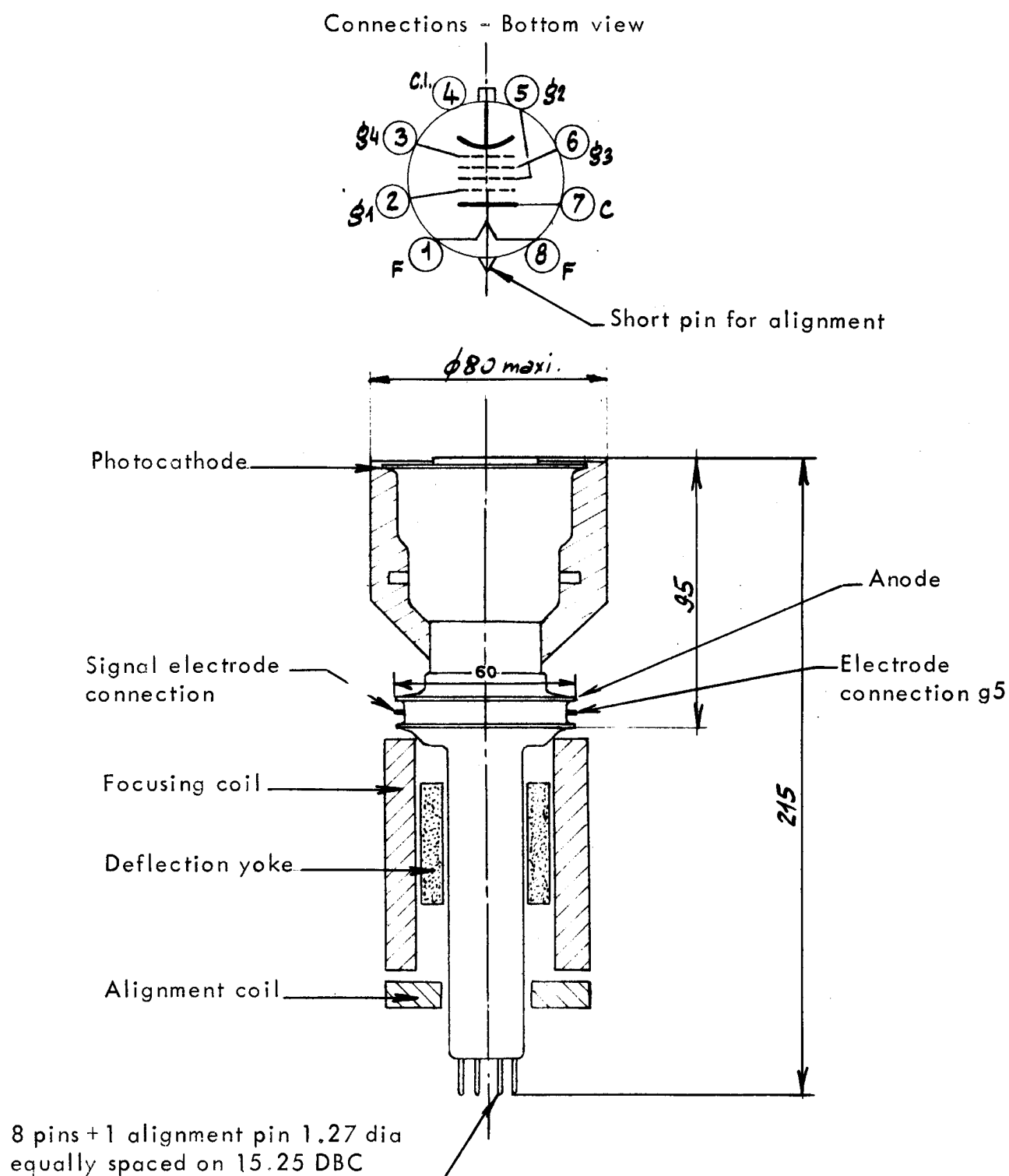


FIG. 5



MAIN CHARACTERISTICS OF THE THX 540- SUPER ESICON TUBE

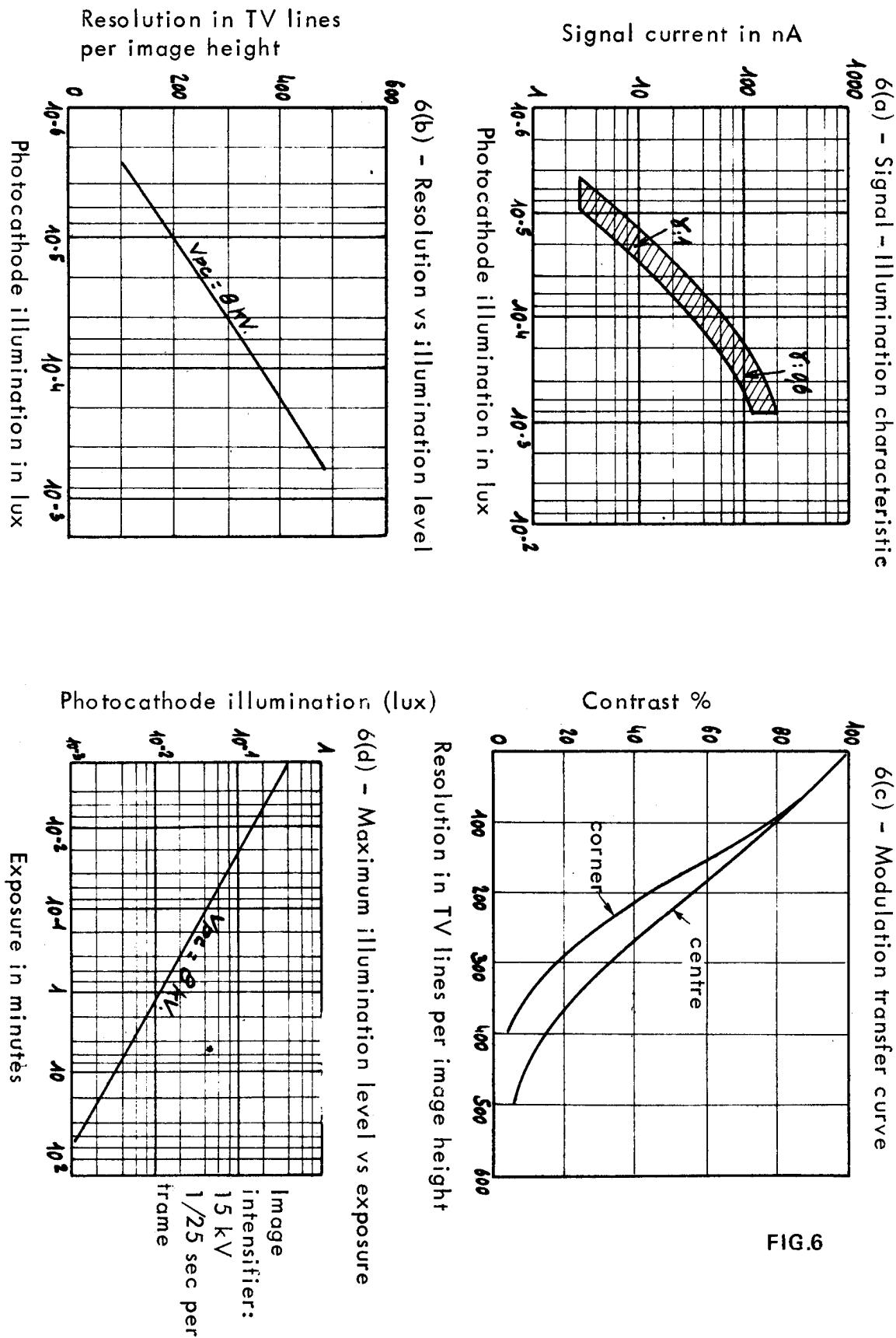


FIG.6



THOMSON-CSF
GROUPEMENT TUBES ELECTRONIQUES

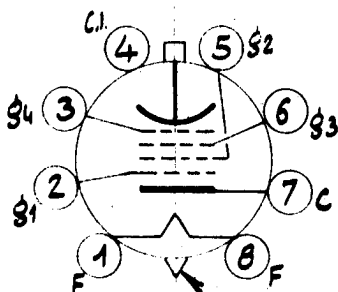
TECHNICAL INFORMATION

TEV 6001

April 1970 - Page 17/20

THX 540 DIMENSIONS
(TUBES ENCAPSULATED)

Connections - Bottom view



Short pin for alignment

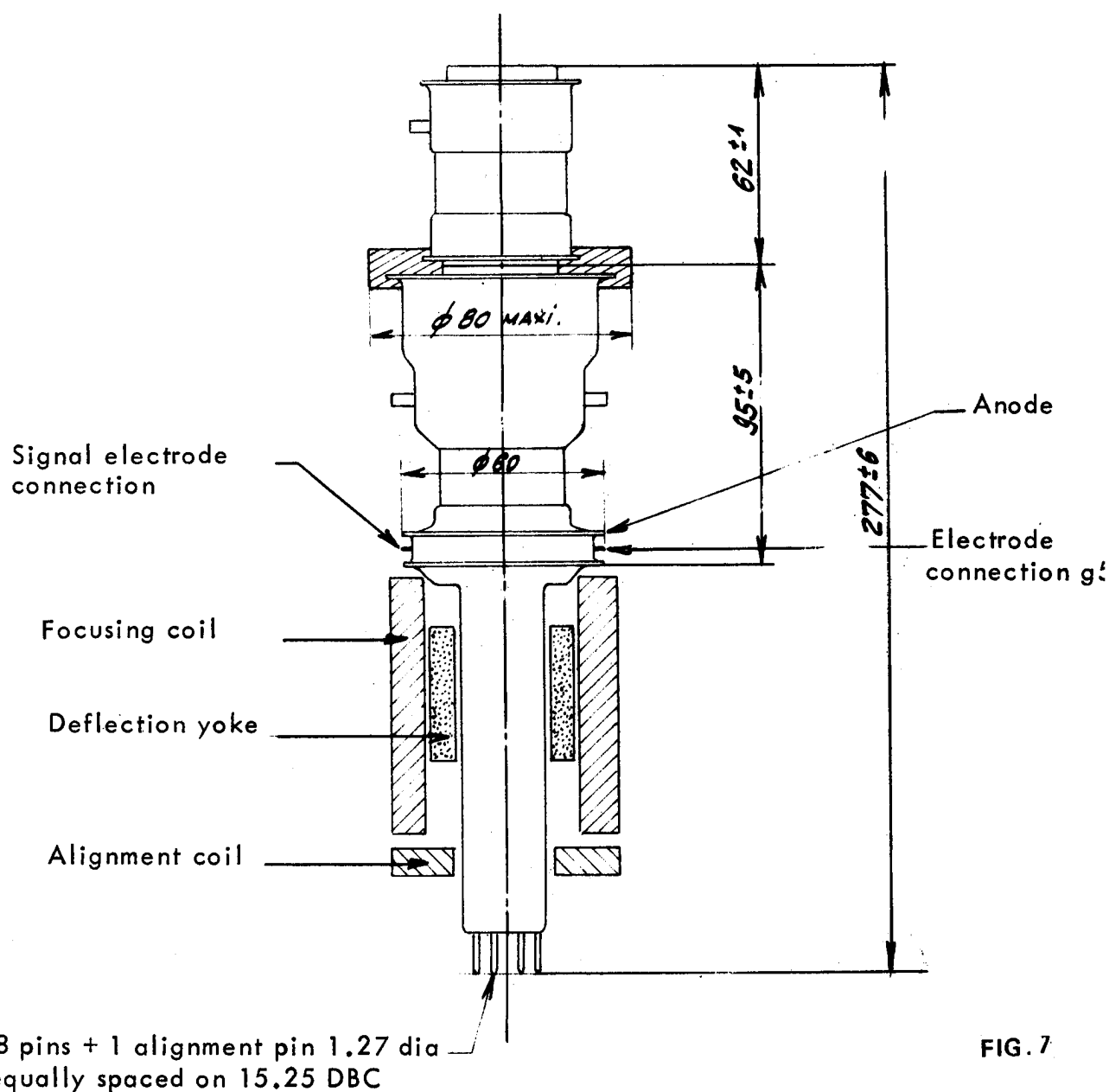


FIG. 7



SPECTRAL DISTRIBUTION OF NIGHT SKY LIGHT (AVERAGE OF 8 MEASUREMENTS)

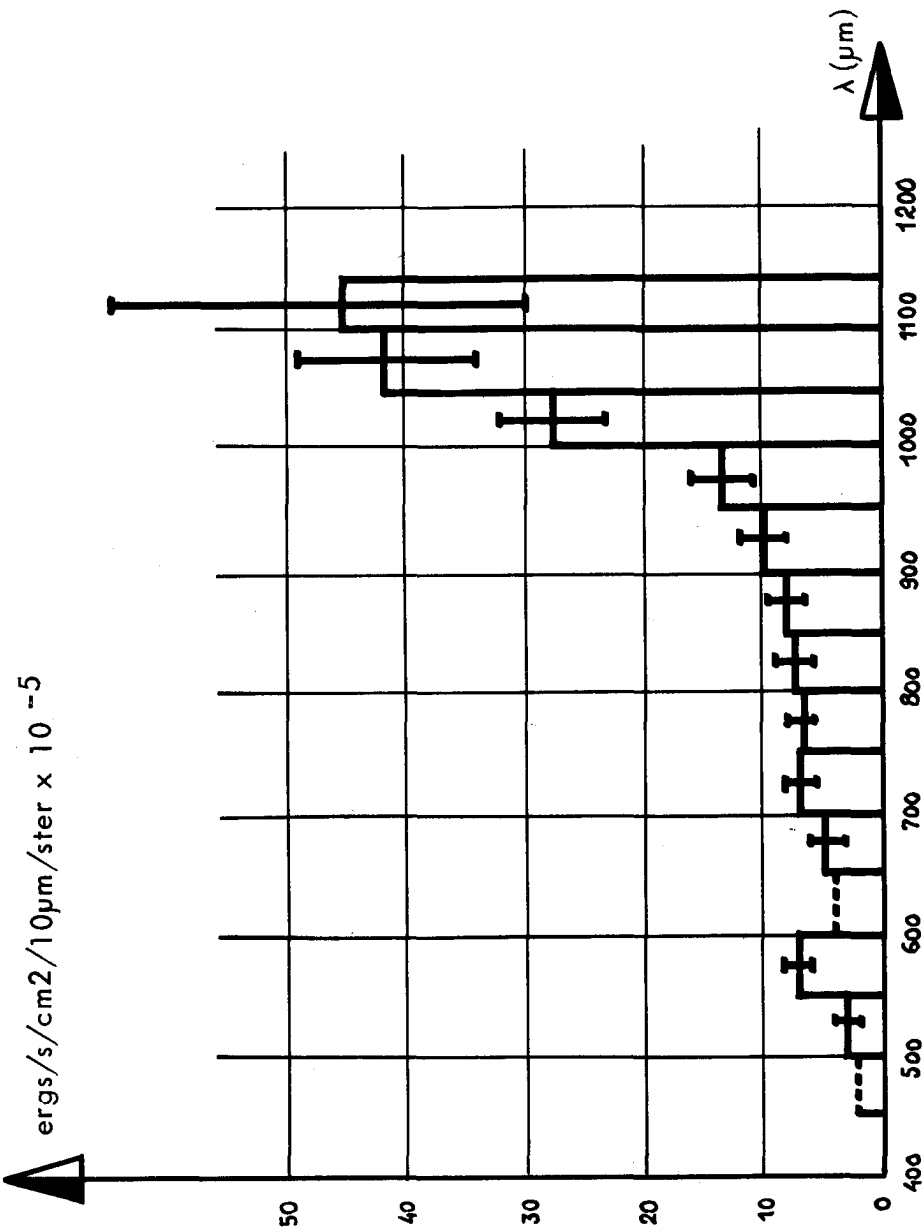


FIG.8



REFLECTANCE VS. WAVELENGTH

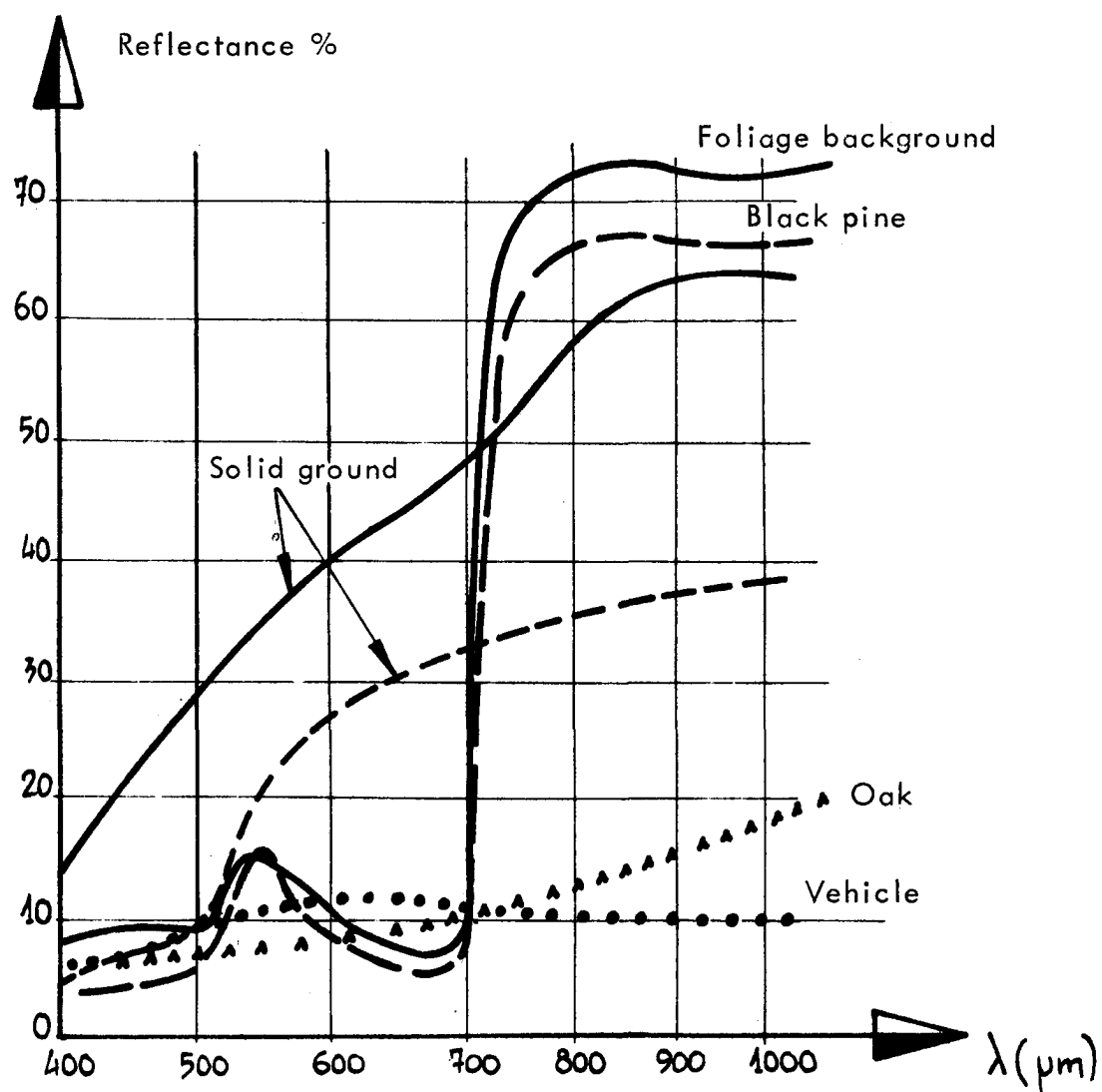
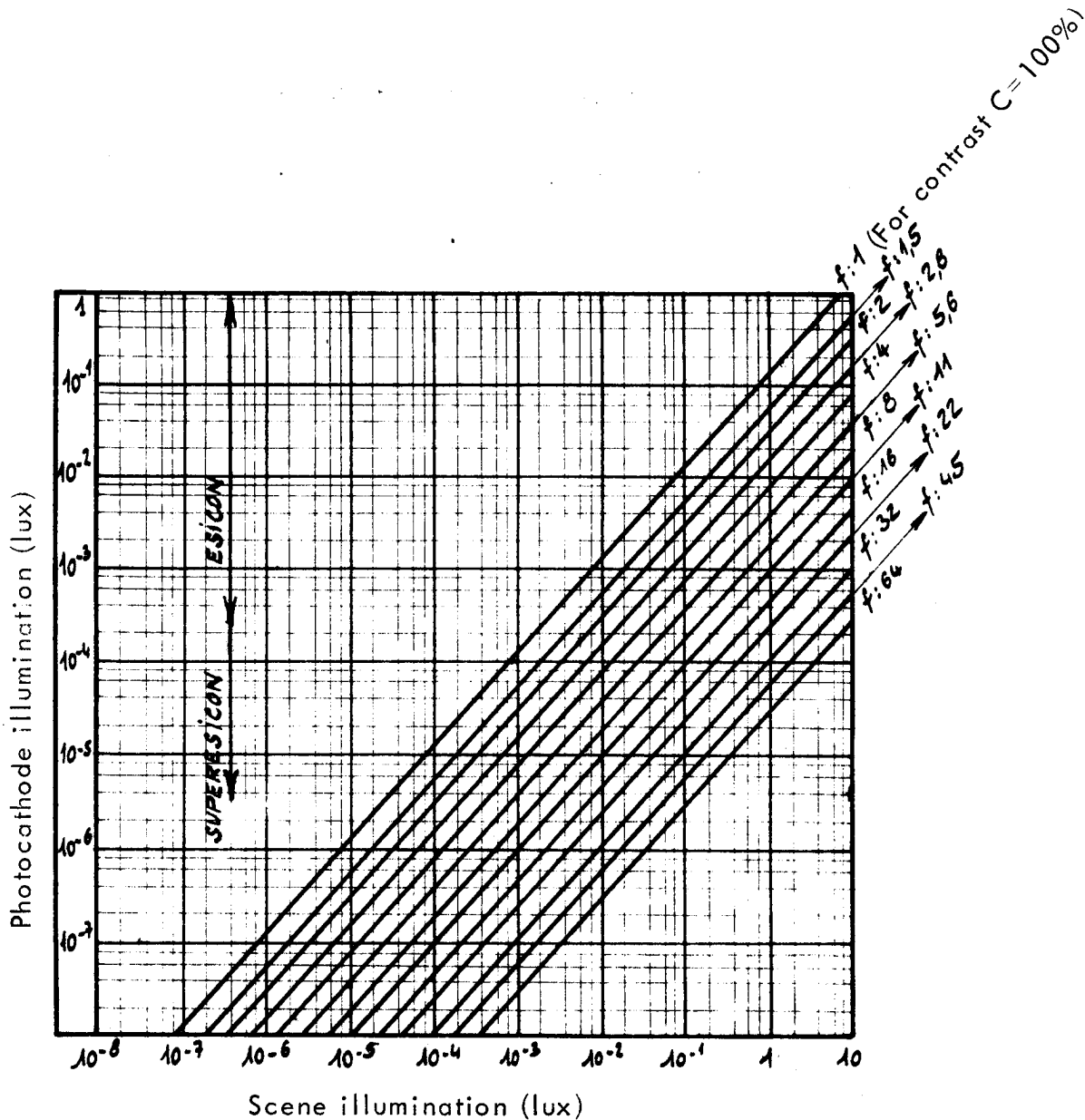


FIG. 9



CHART FOR LOW LIGHT LEVEL TELEVISION



Note : This chart assumes a transmission coefficient of the optical system of 80% and a scene reflection coefficient of 60% (m is neglected)

FIG. 10



THOMSON-CSF

GROUPEMENT TUBES ELECTRONIQUES

NOTE TECHNIQUE

TEV 6003

Mai 1970 - Page 1/21

TH X538 - TH X540 ESICON et SUPER-ESICON Tubes de cameras pour télévision à bas niveau de lumière

Cette présente note expose les caractéristiques principales des tubes de caméras Esicon et Super-Esicon, tubes particulièrement adaptés à la Télévision à faible niveau de lumière. Le Super-Esicon est dérivé de l'Esicon par adjonction d'une section intensificatrice d'image. Le modèle standard possède une photocathode dont la réponse est adaptée à l'éclairement résiduel du ciel nocturne. D'autres modèles peuvent présenter une réponse spectrale différente, les rendant plus aptes à des fonctions particulières telles la détection de l'UV ou du proche infra-rouge (anti-camouflage).

Aux très faibles niveaux lumineux, la résolution d'image étant limitée par l'insuffisance de photons reçus pour chaque élément d'image, il est possible d'accroître la qualité du signal (réduction de la fluctuation quantique) par intégration de plusieurs trames successives, en réduisant la cadence image d'examen. Cette possibilité est offerte par l'Esicon qui présente cependant l'intérêt d'une très faible persistance aux bas niveaux. Cette dernière propriété est fondamentale pour l'examen de scènes mobiles telles que rencontrées en reconnaissance aérienne. Une propriété majeure de l'Esicon est son comportement satisfaisant en présence de sources locales ou générales très lumineuses, comportement ne nécessitant qu'une électronique de caméra simple, tout en autorisant, pour le tube seul, une dynamique de 10 000/1.

Cette note est divisée en 5 paragraphes traitant de l'Esicon et du Super-Esicon :

1. Introduction
2. Définition des tubes Esicon et Super-Esicon
3. Principe de fonctionnement
4. Caractéristiques générales de l'Esicon
5. Caractéristiques générales du Super-Esicon.

L'annexe jointe fournit quelques informations générales sur les problèmes rencontrés pour la vision ou télévision à faible niveau de lumière.

- A1. Caractéristiques générales de la vision nocturne
- A2. Dispositifs de détection photoélectriques
- A3. Description sommaire des divers tubes de prises de vues à bas niveau
- A4. Principaux problèmes de conception d'un système de détection d'image à bas niveau lumineux.



1 - INTRODUCTION

Pendant longtemps, la prise de vues de télévision à bas niveau de lumière a été limitée à la retransmission de scènes extérieures par temps sombre de journée d'hiver. La nécessité de reculer cette limite et d'effectuer des prises de vues nocturnes aux fins, notamment, de surveillance, s'impose de plus en plus pour la réalisation de systèmes divers.

Si des progrès ont pu être réalisés ces dernières années dans la conception des amplificateurs à vidéo-fréquence (augmentation du gain pour un même niveau de bruit), ils ne permettent pas, malgré tout, d'envisager systématiquement une telle application avec les tubes Vidicon et Image-Orthicon.

Un équipement de prise de vues pour la détection et la reconnaissance d'éléments de scènes nocturnes doit satisfaire un certain nombre de critères pour être réellement opérationnel :

- Sensibilité globale élevée dans le domaine visible et le proche infra-rouge.
- Bon rapport signal/bruit et bonne résolution.
- Dynamique très large de bon fonctionnement, sans destabilisation, même partielle, de l'image.
- Réponse rapide pour l'observation des éléments mobiles.
- Fonctionnement simple et fiable.
- Encombrement et consommation électrique faibles.

L'Esicon, un tube de prise de vues de conception récente, permet de réaliser des équipements satisfaisant à chacun de ces critères et constitue donc une solution de choix pour une telle application.

2 - DEFINITION DES TUBES ESICON TH X538 ET SUPER-ESICON TH X540

2.1. ESICON (Fig. 5)

Le tube TH X538 est un tube de prise de vues possédant une photocathode de grande sensibilité de 25 mm de diamètre utile, une cible à émission secondaire à grand gain et un canon d'analyse du type Vidicon.

Il se caractérise par une grande sensibilité, un bon pouvoir de résolution, une faible rémanence ou persistance d'image et une grande simplicité d'utilisation.

Son trait dominant est l'utilisation d'une cible multiplicatrice des photo-électrons à émission secondaire élevée qui lui confère d'excellentes propriétés d'accumulation et d'intégration des charges, et permet la transformation de ces charges en signal vidéo en un seul balayage de chaque élément par le faisceau d'analyse. Le phénomène d'émission secondaire est par ailleurs, pratiquement linéaire et sans inertie.



Ces propriétés permettent de faire fonctionner le tube dans une large gamme d'éclairements et contribuent à un excellent pouvoir de détection et de reconnaissance d'éléments mobiles ou fixes. La présence de régions de scène de luminance suffisante pour causer une saturation du signal ne produit pas, par ailleurs, de halo et n'empêche pas l'observation du reste de la scène.

Son fonctionnement ne nécessite qu'une faible puissance de balayage et permet d'utiliser les accessoires classiques de Vidicon. Une haute tension de 12 kV max., de débit très faible, est utilisée pour accélérer les électrons de la photocathode et un asservissement de cette tension au signal vidéo permet de réduire la sensibilité du tube et d'augmenter ainsi la dynamique d'utilisation.

Ce tube a été conçu pour les applications de la télévision à bas niveau de lumière et permet la réalisation d'une caméra fournissant une image de bonne qualité pour des niveaux d'éclairement de scène de 10^{-3} à 1 lux.

2.2. SUPER-ESICON (Fig. 7)

Pour les applications nécessitant une très grande sensibilité, il est possible d'utiliser un étage d'intensification supplémentaire sous la forme d'un intensificateur d'images TH 9473. Le couplage est alors réalisé simplement par juxtaposition mécanique : cet intensificateur comporte, en effet, une glace de sortie à fibres optiques, et l'Esicon une glace à fibres optiques d'entrée. Le tube de prise de vues ainsi réalisé est dénommé Super-Esicon TH X540.

Il possède toutes les qualités du tube Esicon et une sensibilité environ 50 fois plus élevée pour un champ d'entrée identique, 25 mm. Ce tube permet de réaliser une caméra adaptée aux prises de vues nocturnes, dans presque toutes les conditions rencontrées dans ce type d'application : éclairage de $5 \cdot 10^{-5}$ à 10^{-2} lux. La caméra peut être celle utilisée pour l'Esicon standard à laquelle un élément modulaire supplémentaire est adjoint pour l'alimentation de l'intensificateur. L'utilisation des asservissements permet enfin une dynamique totale d'utilisation de 10 000/1 sans retoucher aucun réglage.

3 – PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe du tube Esicon est schématisé sur la figure 1 : l'image fournie par l'objectif est focalisée sur la face plane à fibres optiques d'entrée du tube et transmise sur la photocathode intérieure déposée sur une face concave. Les photoélectrons émis par la photocathode, proportionnellement à la lumière reçue, sont accélérés et focalisés sur la cible par la lentille électrostatique constituée par la photocathode et une anode conique.



La cible, constituée par un diélectrique à coefficient d'émission secondaire élevé est déposée sur une électrode métallique mince servant d'électrode de signal. Les photoélectrons accélérés sous environ 10 kV cèdent leur énergie en arrachant les électrons du matériau de cible, ces électrons étant captés par l'électrode de signal. La partie libre de la cible, vue par le canon à électrons, se charge ainsi proportionnellement aux flux de photo-électrons reçus, le potentiel étant d'autant plus positif que la photocathode d'entrée est éclairée.

Le passage périodique du faisceau d'électrons d'analyse créé par le canon situé à l'opposé permet de restabiliser la cible au potentiel de la cathode par neutralisation de ces charges par des électrons. L'impulsion de courant qui en résulte constitue le signal vidéo qui apparaît capacitivement dans le circuit de l'électrode de signal.

La très grande résistivité de la cible, due à la nature du matériau en profondeur et en surface permet de conserver intacte, pendant un temps long, la distribution spatiale des charges. Elle contribue, également, à l'obtention d'un courant de signal pratiquement nul dans l'obscurité, et par conséquent, à l'existence d'un niveau de noir stable et uniforme, qui facilite l'observation des très faibles contrastes d'image dans les scènes observées.

Une grille supprimeuse est disposée devant la cible du côté du canon. Elle a pour but de limiter le potentiel atteint par la cible à celui qui lui est appliquée : Il est réglé à une valeur légèrement inférieure au potentiel dit de : "cross-over" du matériau, ce qui permet d'éviter toute déstabilisation qui pourrait être provoquée par un éclairage local ou général trop intense de la photocathode d'entrée.

4 - CARACTERISTIQUES GENERALES DE L'ESICON

4.1. REPONSE SPECTRALE ET SENSIBILITE :

Suivant l'application recherchée, on peut réaliser différents types de photocathodes. La plus fréquemment utilisée est la photocathode S20 dont la courbe de réponse spectrale typique est représentée sur la figure 2. La valeur maximale d'efficacité quantique est de 15 à 20 % et la longueur d'onde correspondante est comprise entre 420 et 460 nm. La grande efficacité quantique de la photocathode S20, combinée au gain élevé de la cible permet d'obtenir une sensibilité de l'ordre de 15 000 $\mu\text{A/lumen}$, soit environ 5 $\mu\text{A/lux}$ (surface éclairée = 3 cm^2 .) Pour certaines applications, la cathode S1 sensible dans le proche infra-rouge peut être préférée (détection de camouflage).



4.2. CARACTERISTIQUE SIGNAL-ECLAIREMENT :

La caractéristique signal-éclairage est tracée sur la figure 3 (a).

Le gamma du tube est égal à 1 pour les niveaux lumineux inférieurs à 10^{-2} lux et décroît jusqu'à 0,6 environ au-dessus de 10^{-1} lux. Lorsque l'éclairement augmente, il existe une saturation du signal déterminée par la valeur du potentiel de la grille g5. Un éclairage trop intense peut causer une perte de gain momentanée, voire une brûlure de la cible, et il est conseillé, en fonctionnement normal, de ne pas dépasser les éclairagements indiqués sur la courbe de la figure 4. L'asservissement de la tension de photocathode au courant de signal peut permettre de diminuer, malgré tout, cet effet de brûlage.

4.3. RESOLUTION ET TRANSFERT DE MODULATION :

La courbe de transfert de modulation pour une mire de signaux carrés à 100 % de contraste est donnée sur la figure 3 (b). Les valeurs de contraste sont de l'ordre de 60 % pour 200 lignes TV et 20 % pour 400 lignes TV. La résolution limite du tube se situe approximativement à 20 pl/mm, ce qui correspond à 600 lignes TV (800 points par ligne).

La résolution varie peu avec la tension cible et la tension de photocathode si celles-ci ne descendent pas respectivement en-dessous de 5 V et de 4 kV. ce qui permet de réaliser des asservissements par commande automatique du gain, sans diminuer la résolution.

Sur la figure 4 (a) est représentée la variation de la résolution limite en fonction de l'éclairement de la photocathode. La résolution varie de 550 lignes TV pour 0,1 lux à 100 lignes TV pour $2 \cdot 10^{-4}$ lux.

4.4. PERSISTANCE D'IMAGE :

La persistance d'image de l'Esicon est très faible, comparée à celle de la plupart des autres tubes de prise de vues. Le signal résiduel, après passage du faisceau de lecture, est en général inférieur à 10 % de la valeur lue. Toutefois, la rémanence augmente un peu aux très faibles niveaux lumineux par suite de l'acceptation incomplète du faisceau de lecture par la couche (figure 3 (d)).

4.5. INTEGRATION ET MEMOIRE :

La très grande résistivité de la cible Esicon permet d'intégrer un signal pendant plusieurs minutes sans que l'image soit dégradée par des courants de fuite. La réciprocity temps d'exposition-lumière est bien vérifiée et sur certains tubes, on peut intégrer un signal pendant 20 minutes. Une intégration de 60s accroît la sensibilité de détection d'un facteur 1500.



Cette intégration peut être réalisée automatiquement à l'aide d'un dispositif électronique simple. Pour l'examen d'objets peu mobiles, on peut se satisfaire d'une cadence image de 1 à 4 images par seconde, ce qui permet un gain de sensibilité (ou de rapport signal/bruit) de 25 à 6. Afin d'éviter un effet de papillotement, l'image est affichée sur un récepteur équipé d'un tube cathodique rémanent ou d'un tube à entretien d'image.

4.6. NIVEAU LUMINEUX MAXIMAL :

La courbe de la figure 4 (b) indique la limite d'éclairement à ne pas dépasser pour un temps d'exposition donné. Cette limite dépend aussi de la tension de photocathode : lorsque la tension diminue, la courbe se déplace vers le haut.

Si l'énergie dissipée dans la cible est trop grande, il en résulte plusieurs phénomènes : apparition d'une image négative, perte de gain momentanée, voire brûlure permanente de la couche. Il est donc conseillé de ne pas dépasser les niveaux d'éclairements maximaux, quoique, dans la plupart des cas, le tube récupère quand même ses propriétés après un léger dépassement des valeurs indiquées.

4.7. ENVIRONNEMENT ET DUREE DE VIE :

Le tube fonctionne entre -30°C et $+50^{\circ}\text{C}$ sans que ses performances soient considérablement modifiées. La structure du tube a été particulièrement étudiée pour offrir une bonne résistance aux chocs et aux vibrations mécaniques. Toutefois, des précautions dans la conception de la tête de la caméra sont nécessaires pour limiter les signaux parasites dus à des vibrations internes du tube. La figure 5 représente les caractéristiques dimensionnelles du tube.

Dans des conditions normales d'exploitation, une durée de vie de plusieurs milliers d'heures peut être escomptée sans modification importante des caractéristiques.

5 - CARACTERISTIQUES GENERALES DU SUPER ESICON TH X540

En couplant un intensificateur d'image du type TH 9473 avec un tube Esicon TH X 538 de champ d'entrée 25 mm, on obtient un tube de prise de vues 20 à 50 fois plus sensible que l'Esicon seul, tout en conservant les qualités de l'Esicon. La figure 7 représente le schéma du Super-Esicon. La liaison optique entre les deux éléments est réalisée par les optiques à fibres de l'intensificateur et de l'Esicon. Le couplage mécanique est obtenu au moyen d'un système mécanique simple qui assure à l'ensemble une bonne rigidité.



La tension de fonctionnement est de 25 kV, répartie en 15 kV sur l'intensificateur et 10 kV sur l'Esicon. Le générateur de très haute tension peut se présenter sous la forme d'éléments modulaires dont l'encombrement est minime car les puissances mises en jeu sont finalement très faibles. Un autre mode de couplage par lame à fibres optiques additionnelle permet de réduire la tension d'alimentation totale à 15 kV.

5.1. - REPONSE SPECTRALE :

La photocathode d'entrée, qui est celle de l'intensificateur, est, en général, du type S20, ou mieux, S25, à réponse spectrale étendue dans le proche infra-rouge (voir la figure 2). Une telle photocathode a une sensibilité en lumière blanche (2870° K) supérieure à 175 $\mu\text{A/lumen}$.

5.2. CARACTERISTIQUE SIGNAL-ECLAIREMENT :

La courbe donnant le courant de cible en fonction de l'éclairement de la photocathode est présentée sur la figure 6 (a). Le gamma du tube passe de 1 pour les plus bas niveaux lumineux à 0,6 entre 10^{-4} et 10^{-3} lux. Il est possible, en combinant les asservissements de tension-cible, de tension de photocathode et de courant de faisceau, de couvrir une dynamique d'éclairement de l'ordre de 10.000.

5.3. RESOLUTION ET TRANSFERT DE MODULATION :

La résolution à courant de signal identique est légèrement inférieure à celle du tube Esicon, par suite des pertes inévitables dues au couplage de l'intensificateur et de l'Esicon. Par contre, aux faibles niveaux de l'éclairement, le pouvoir de résolution du Super-Esicon est plus élevé. Les valeurs typiques de résolution sont 500 lignes TV à 10^{-3} lux et 100 lignes TV et $3 \cdot 10^{-6}$ lux. La courbe de la figure 6 (b) donne la résolution d'image en fonction du nombre de lignes TV pour une mire à signaux carrés de fort contraste.

5.4. PERSISTANCE D'IMAGE :

La persistance d'image est analogue à celle de l'Esicon seul (voir la figure 3 (d)). Les faibles valeurs de rémanence confèrent à l'Esicon et au Super-Esicon de bonnes qualités de résolution pour les objets mobiles.

5.5. INTEGRATION ET MEMOIRE :

Il est possible, comme dans l'Esicon, d'intégrer un signal lumineux pendant plusieurs minutes et de le lire quelques heures après avoir coupé la haute tension. Les limites d'intégration proviennent du courant d'obscurité de l'intensificateur, de la section de transfert de l'Esicon et des faibles éclairissements de la cathode du canon. Lorsque le bruit photonique est trop important, il peut être intéressant de réduire le gain du tube en diminuant la haute tension et de travailler avec des temps d'intégration plus longs.



5.6. NIVEAUX LUMINEUX MAXIMUM :

La courbe 6 (d) de la figure 6 indique, en fonction du temps d'exposition, l'éclairement maximum que le tube peut tolérer en fonctionnement normal. Un léger dépassement entraîne une perte de gain, toutefois, le tube récupère généralement ses propriétés au bout de quelques minutes.

5.7. ENVIRONNEMENT ET DUREE DE VIE :

Le tube Super-Esicon fonctionne correctement entre -30°C et $+50^{\circ}\text{C}$. Le Super-Esicon est robuste et résiste bien aux chocs et aux vibrations mécaniques. Les têtes de caméra doivent cependant être construites de manière à limiter les vibrations susceptibles de causer des phénomènes de microphonie.

ANNEXE

La télévision à bas niveau de lumière

A1 - CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA VISION NOCTURNE :

L'oeil humain peut discerner des objets fortement contrastés avec un niveau de lumière de l'ordre de 10^{-4} lux. Lorsque l'éclairement est de $2 \cdot 10^{-1}$ lux, c'est le cas de l'éclairement fourni par la pleine lune, la vision s'améliore et il devient possible de lire, par exemple, les gros titres d'un journal, mais le seuil de détection des couleurs n'est pas encore atteint. Vers 100 lux, ce qui correspond probablement à l'éclairement de cette feuille de papier, l'acuité visuelle devient optimale.

En bref, on peut considérer qu'en-dessous de 1 lux, l'oeil humain perd une grande partie de son pouvoir de résolution et ne peut plus discerner les couleurs.

Il existe d'autres limites, reliées à la longueur d'onde des radiations lumineuses : l'oeil ne peut saisir qu'une partie très étroite du spectre électromagnétique comprise entre les longueurs d'onde $0,4 \mu$ et $0,8 \mu$. Ce point a son importance : en effet, les radiations émises par le ciel nocturne sont principalement réparties dans le rouge et l'infra-rouge (figure 8). De plus, ce phénomène de décalage vers l'infra-rouge est accentué par la variation du coefficient de réflexion avec la longueur d'onde de nombreux objets (figure 9).

De ces faits, il résulte que l'utilisation de dispositifs de détection présentant une meilleure sensibilité et une réponse spectrale mieux adaptée que celle de l'oeil est très intéressante et permet une visualisation des contrastes en renforçant la luminance de l'image à des niveaux où l'oeil présente un bon pouvoir de résolution et par conséquent, une bonne détectabilité d'éléments d'image. L'oeil réagit à l'arrivée d'un minimum de 50 photons. Ceci correspond à une efficacité quantique de 0,02. Or, l'ordre de grandeur de l'efficacité quantique d'une bonne photocathode est 0,1, d'où un gain de l'ordre de 5. D'autre part, les photoélectrons émis peuvent être multipliés par utilisation du phénomène d'émission secondaire.



TABLEAU n°1 - ILLUMINATION DE SCENE EN FONCTION DES CONDITIONS D'AMBIANCE

<u>Conditions d'ambiance</u>	<u>Illumination de scène (lux)</u>
Pleine lune - ciel clair	2. 10 ⁻¹
Demi-lune - ciel clair	10 ⁻¹
Pleine lune - ciel modérément nuageux	4. 10 ⁻²
Quartier de lune - ciel clair	10 ⁻²
Pas de lune - ciel clair	10 ⁻³
Pas de lune - ciel modérément nuageux	5. 10 ⁻⁴
Pas de lune - gros nuages	2. 10 ⁻⁴

A2. DISPOSITIFS DE DETECTION PHOTOELECTRIQUE ET DESCRIPTION DES DIVERS

TUBES DE PRISE DE VUE A BAS NIVEAU :

On peut diviser l'ensemble des dispositifs électroniques de détection à bas niveau de lumière en deux groupes :

1. - les intensificateurs d'images.
2. - Les tubes de prise de vue.

Selon les applications, un de ces dispositifs sera plus ou moins adapté. Cependant sauf conditions de poids, d'encombrement, de maniabilité, etc , il est évident que la seconde catégorie, qui permet l'utilisation de toutes les techniques de la télévision, présente un énorme intérêt (affichage à distance, affichage sur écrans multiples . . .).

Parmi les principaux dispositifs de prise de vue envisageables, on peut citer : le tube image orthicon, l'isocôn et l'ésicon. Les performances, du point de vue de la sensibilité, de ces trois tubes peuvent être améliorées par l'adjonction de tubes intensificateurs.

A3. DESCRIPTION SOMMAIRE DES DIVERS TUBES DE PRISES DE VUE A BAS NIVEAU :

Le principe de tous ces tubes est identique.

Un flux de photons est détecté par l'intermédiaire d'une photocathode, particulièrement bien adaptée (efficacité quantique, réponse spectrale) au problème de la vision nocturne. Cette photocathode est en général une S20 ou une S25 (figure 2).

Les photoélectrons émis sont transférés sur une cible avec une augmentation de leur énergie permettant l'émission des électrons secondaires. Il y a ainsi, multiplication au niveau de la cible du nombre de charges correspondant à N photons incidents, multiplication qui dépend du coefficient d'émission secondaire.



Dans les cas de l'image orthicon et de l'isocon, les électrons secondaires sortent de la cible et sont collectés sur une grille. Pour l'ésicon, les électrons secondaires se propagent dans les porosités d'une cible constituée par un matériau à fort coefficient d'émission secondaire.

Pour le tube image orthicon, la lecture de la répartition de charges sur la cible se fait à l'aide d'un faisceau électronique réfléchi par cette cible, et le courant est d'autant plus élevé que le niveau d'éclairement est faible. Le bruit dû à la fluctuation Schottky du courant est donc élevé dans ces conditions. Malgré les améliorations telles que le contrôle automatique du niveau du faisceau de lecture (à la charge électrique à lire), par l'intermédiaire de dispositifs électroniques complexes, ce problème n'a pas été bien résolu.

Le tube isocon cherche à contourner cette difficulté en utilisant, pour générer le signal vidéo, seulement la partie du faisceau qui a été diffusée (et non pas réfléchi) par la cible. Les performances du point de vue du bruit sont alors grandement améliorées mais le réglage du tube est extrêmement critique et conduit à un matériel peu opérationnel.

Dans le tube ésicon, le processus de lecture est tout autre. La lecture se fait par recharge de la capacité constituée par la cible de manière tout à fait analogue au procédé utilisé dans un tube Vidicon classique, et le courant vidéo est constitué par les électrons se déplaçant directement sur la cible.

A4. PRINCIPAUX PROBLEMES DE CONCEPTION D'UN SYSTEME DE DETECTION D'IMAGES A BAS NIVEAU LUMINEUX :

Il se pose, en général, deux sortes de problèmes :

- 1 - Problème de bruit
- 2 - Problème optique.

Problème du bruit :

La perception des éléments de scène est limitée par le bruit. L'Esicon a un bruit propre très faible et ce bruit est négligeable devant le bruit de l'amplificateur vidéo qui lui est associé. Avec un préamplificateur dont la bande passante est 7 MHz et dont le bruit efficace ramené à l'entrée est 2 nA, on peut obtenir, dans le cas d'un tube Esicon, un rapport signal/bruit maximum de 50, ce qui correspond à un rapport signal/bruit sur le plan visuel égal à 150 soit environ 43 dB.



Lorsqu'une sensibilité importante est atteinte, en particulier avec des intensificateurs d'image, la fluctuation photonique peut intervenir et limiter la détection des éléments de scène.

Problème optique :

Pour obtenir le meilleur rendement d'un tube de prise de vue nocturne, il est nécessaire de collecter le maximum de photons, et bien souvent, la résolution pratique de ce problème se ramène à des questions de prix et d'encombrement.

Si E_S est l'éclairement d'une scène, l'éclairement de la photocathode du tube est donné par :

$$E_{pc} = \frac{B_S T}{4 f^2 (1 + m)^2}$$

Avec $B_S = R E_S$, R étant le coefficient de réflexion de la scène,

T = coefficient de transmission du système optique utilisé ;

f = ouverture de l'objectif

m = grandissement.

Typiquement, on peut trouver : $E_{pc} = 0,2 B_S$ et si $R = 0,05$ (réflexion de l'eau de mer), $E_{pc} = 10^{-2} E_S$. On voit, dès lors, l'intérêt de l'intensificateur d'image placé devant le tube de prise de vue car avec un gain de 100, on compensera les pertes liées au faible coefficient de réflexion de la scène et au système optique. La figure 10 permet de relier l'éclairement de la photocathode à l'illumination de la scène pour diverses ouvertures et indique les zones d'utilisation de l'Esicon et du Super-Esicon.



SCHEMA DE PRINCIPE DE L'ESICON

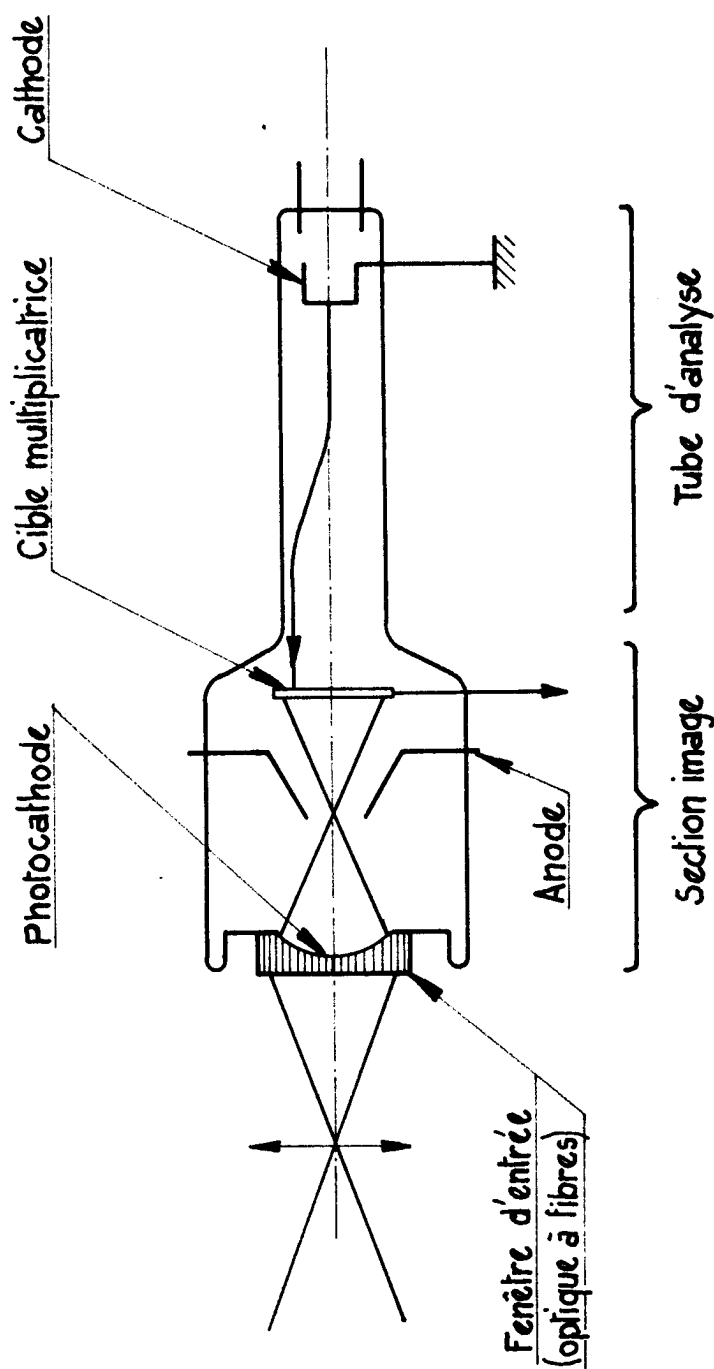


FIG.1



REPONSES SPECTRALES TYPIQUES DE PHOTOCATHODE

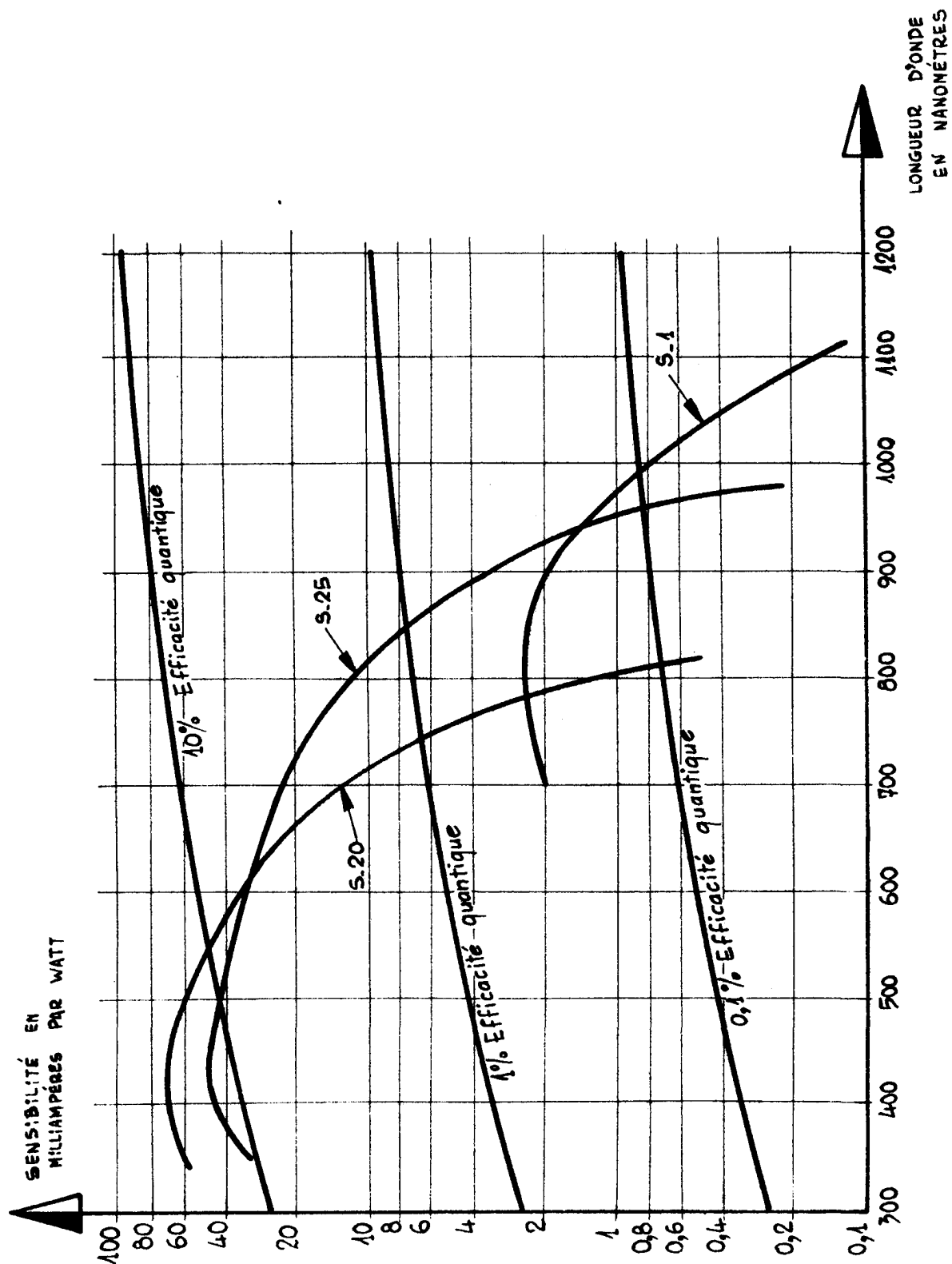


FIG.2



PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU TUBE ESICON X538

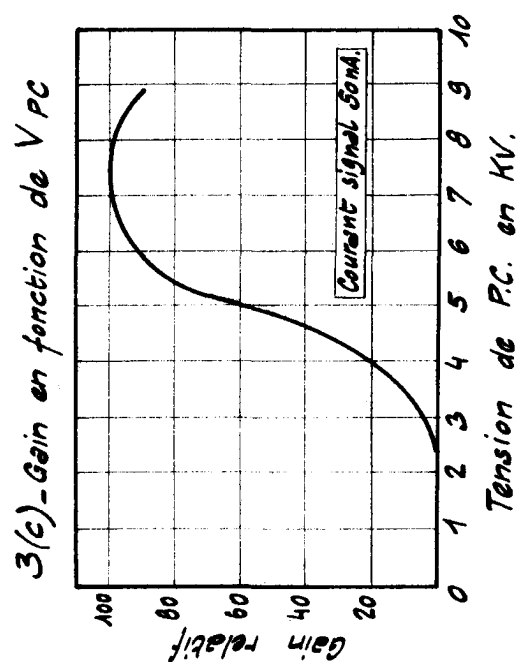
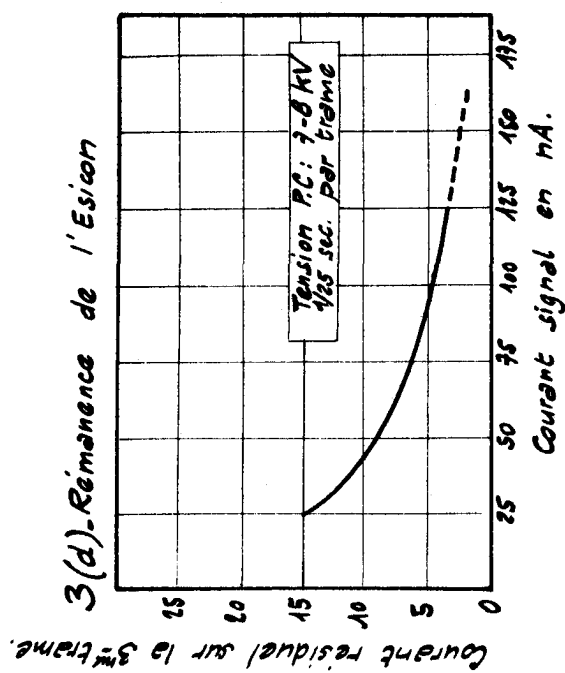
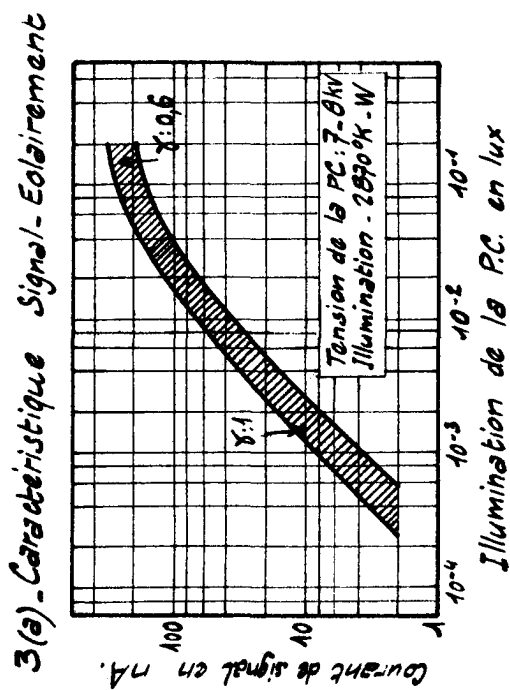
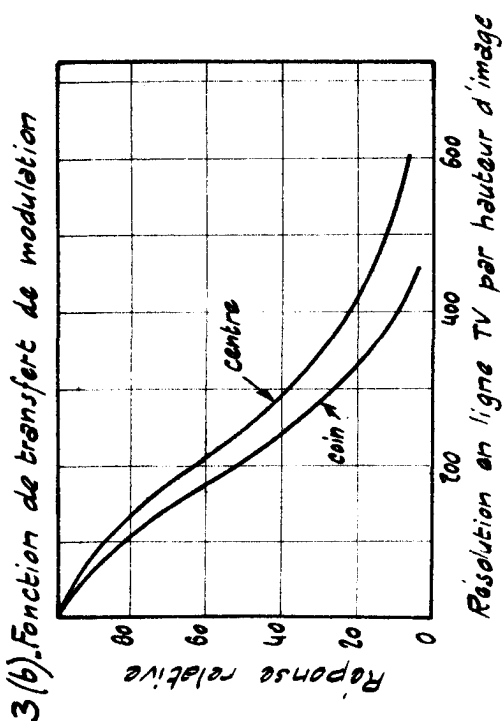
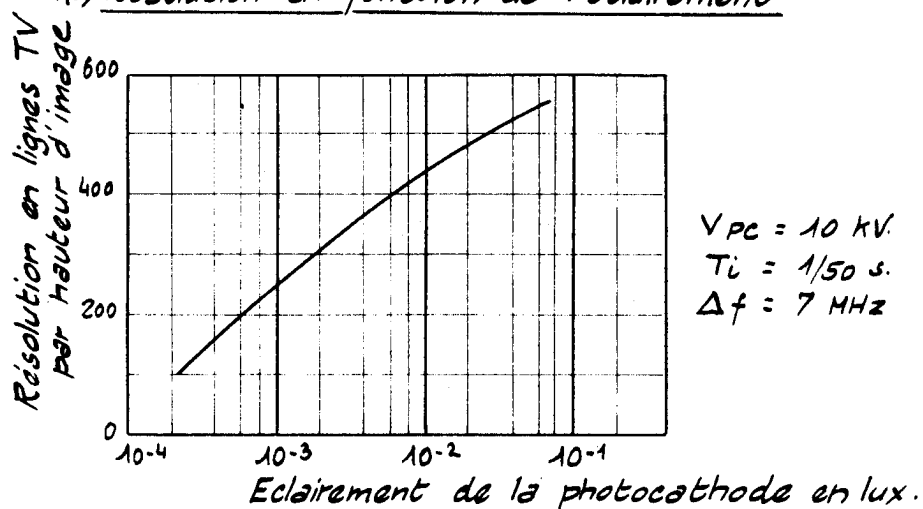


FIG.3



CARACTERISTIQUES DE L'ESICON X538

4(a) Résolution en fonction de l'éclairement



4(b) Niveau d'éclairement maximum en fonction du temps d'exposition

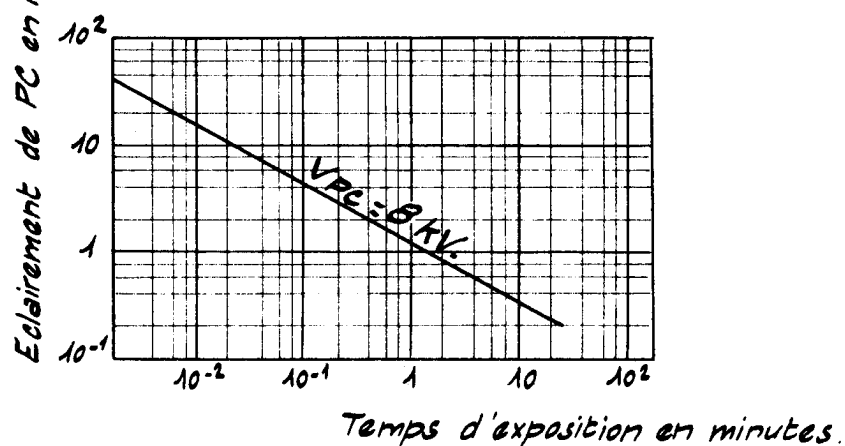
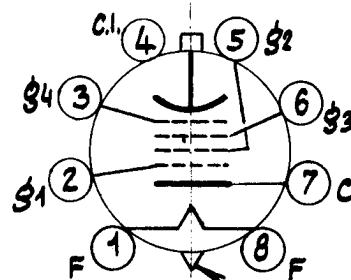


FIG. 4

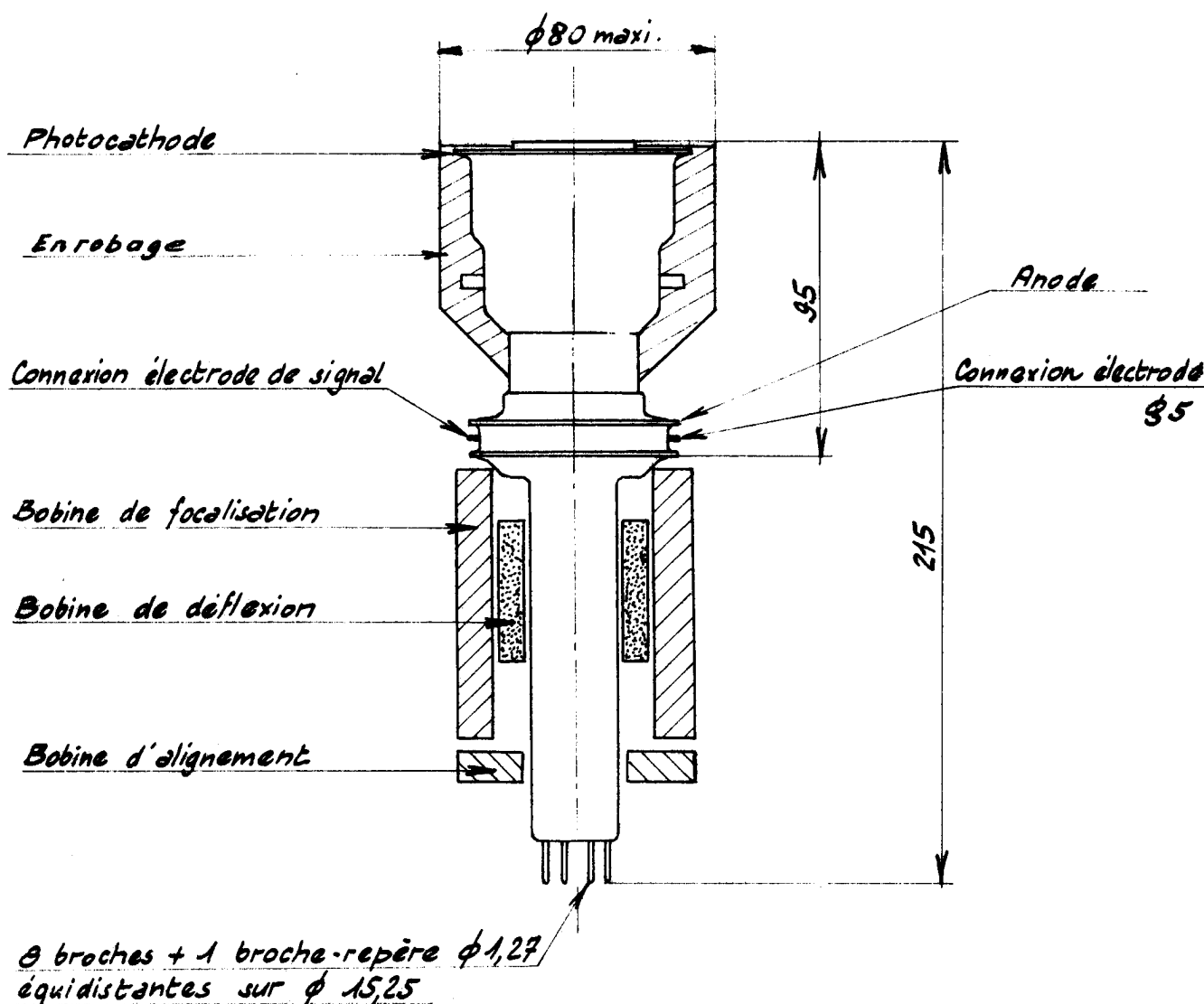


ENCOMBREMENT ESICON

Connexions. Vue de dessous



Broche courte servant de repère

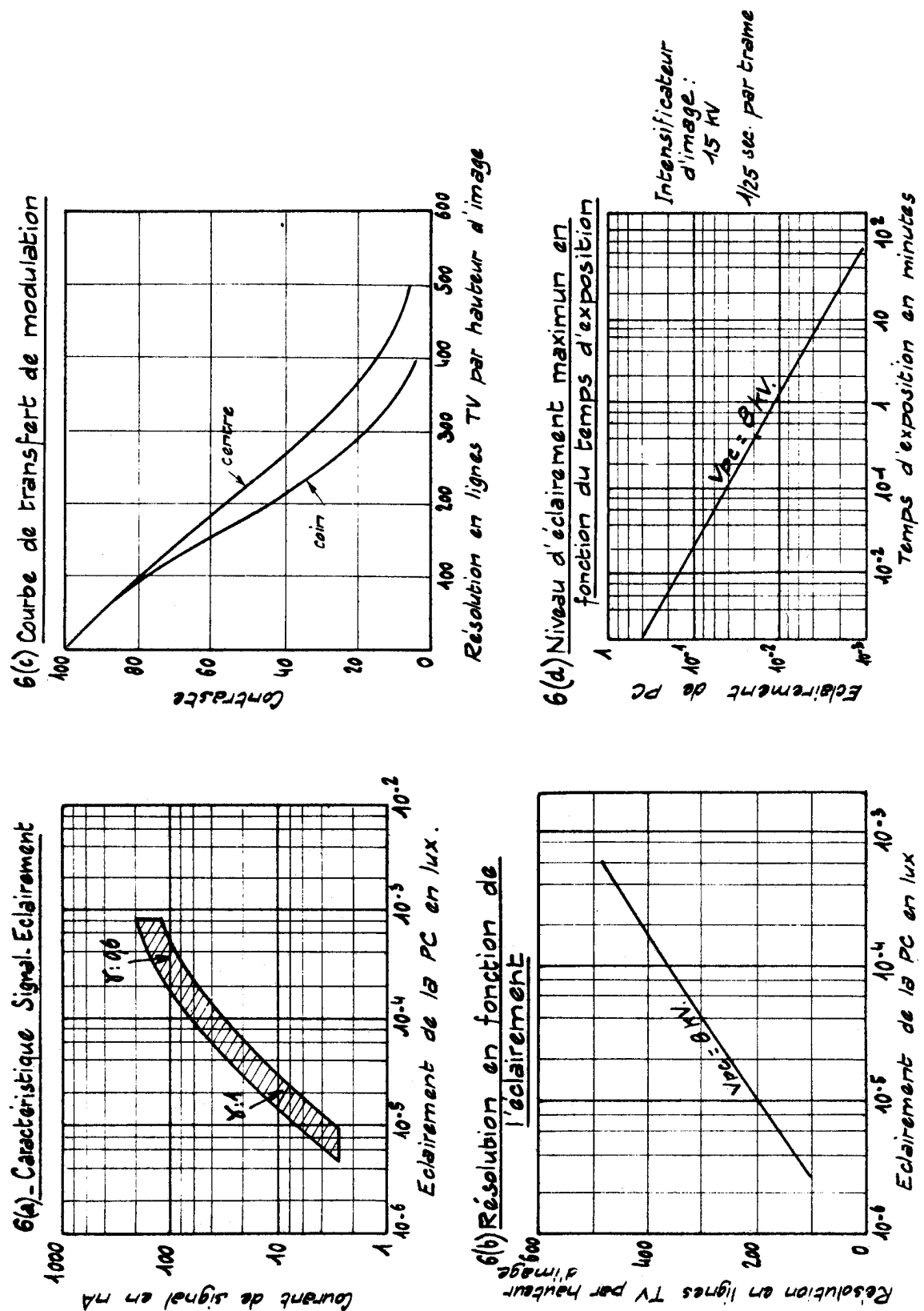


8 broches + 1 broche-repère $\phi 1,27$
 équidistantes sur $\phi 15,25$

FIG. 5



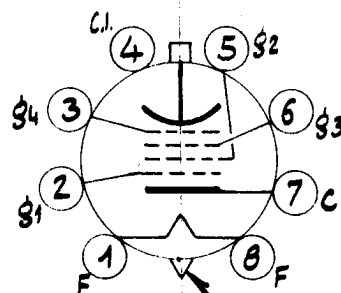
PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DU TUBE SUPER-ESICON TH X540





ENCOMBREMENT TH X540

Connexions - Vue de dessous



Broche courte servant de repère

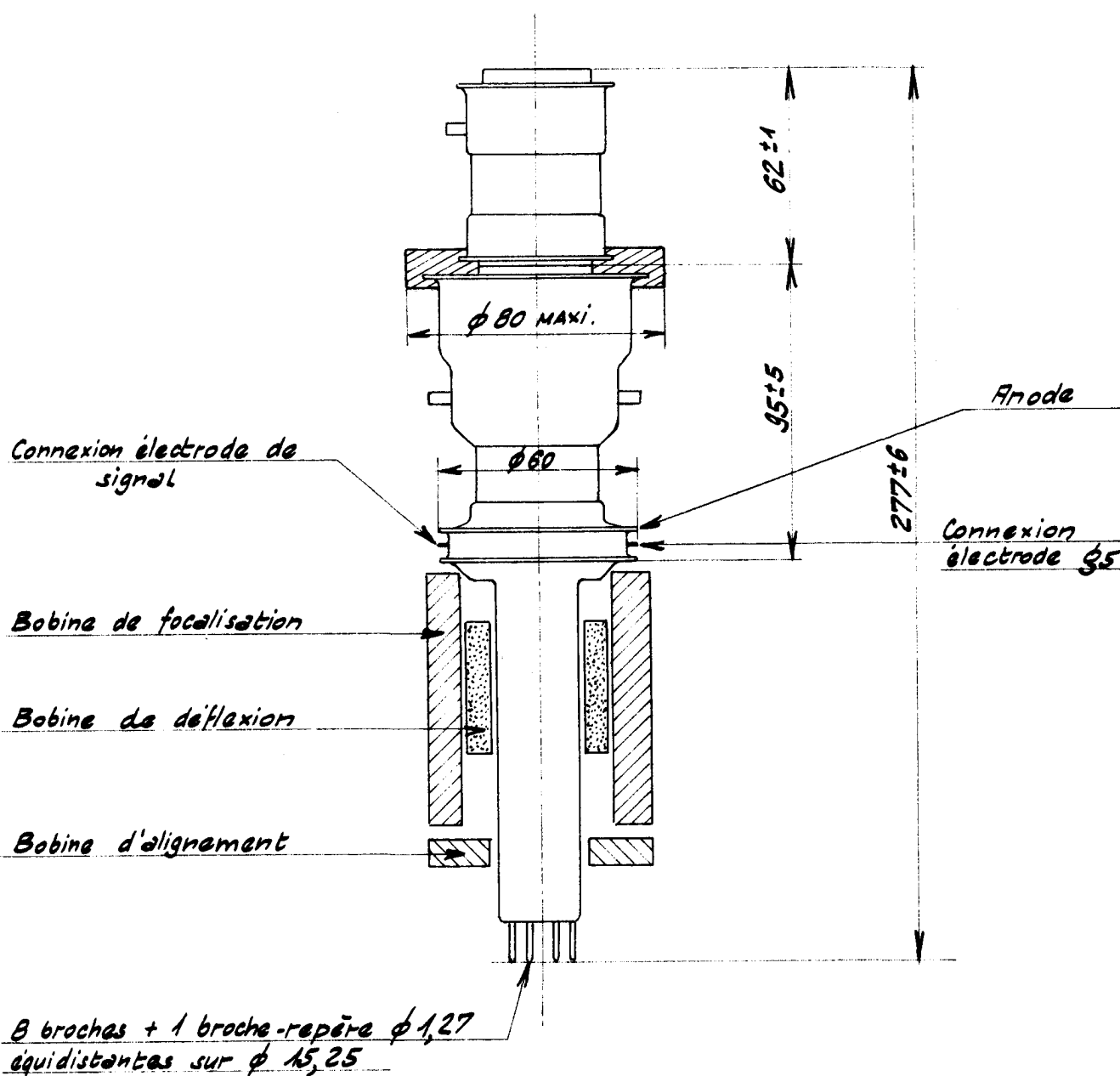


FIG. 7



DISTRIBUTION SPECTRALE DE LA LUMIERE DU CIEL NOCTURNE

(Moyenne de 8 mesures)

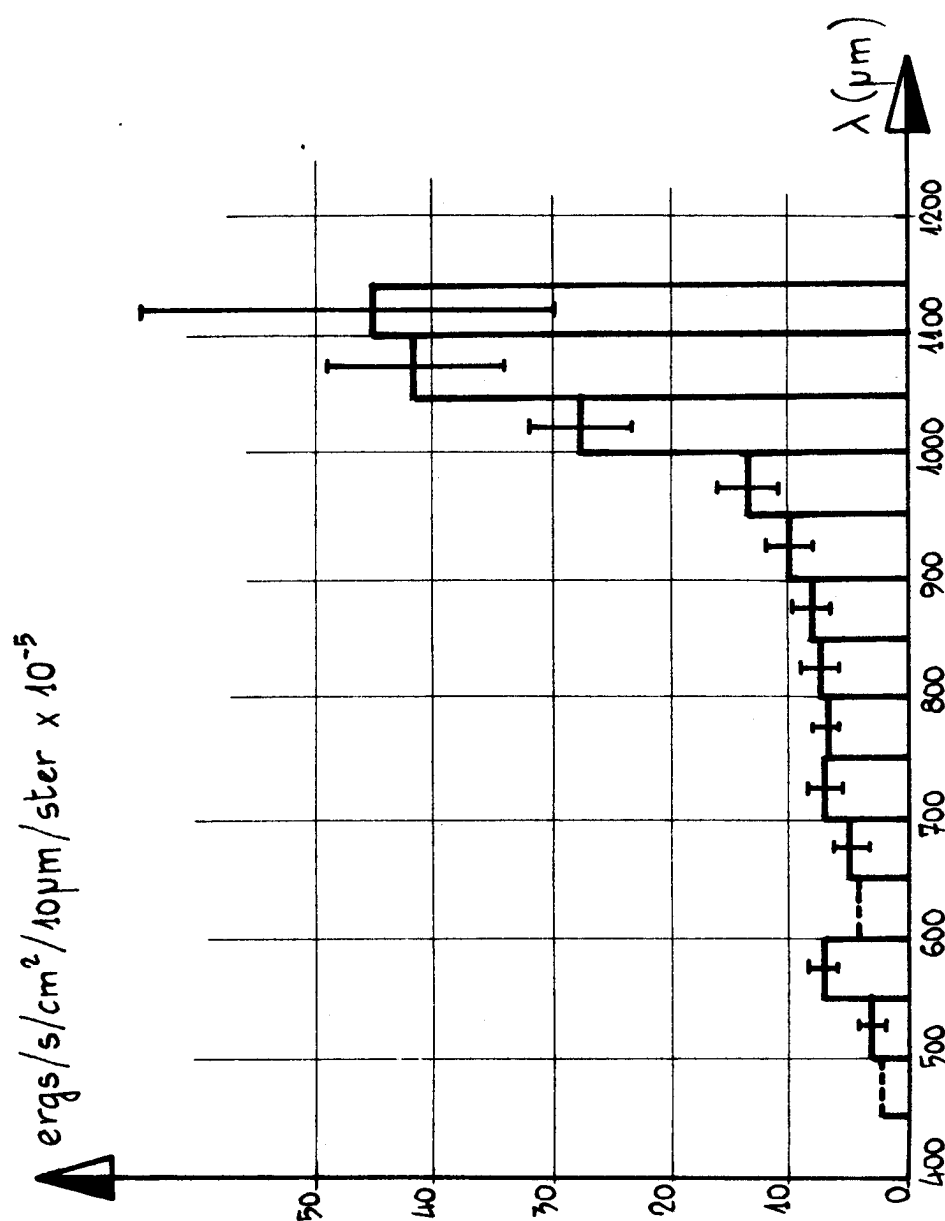


FIG. 8



VARIATION DE LA REFLECTANCE AVEC LA LONGUEUR D'ONDE

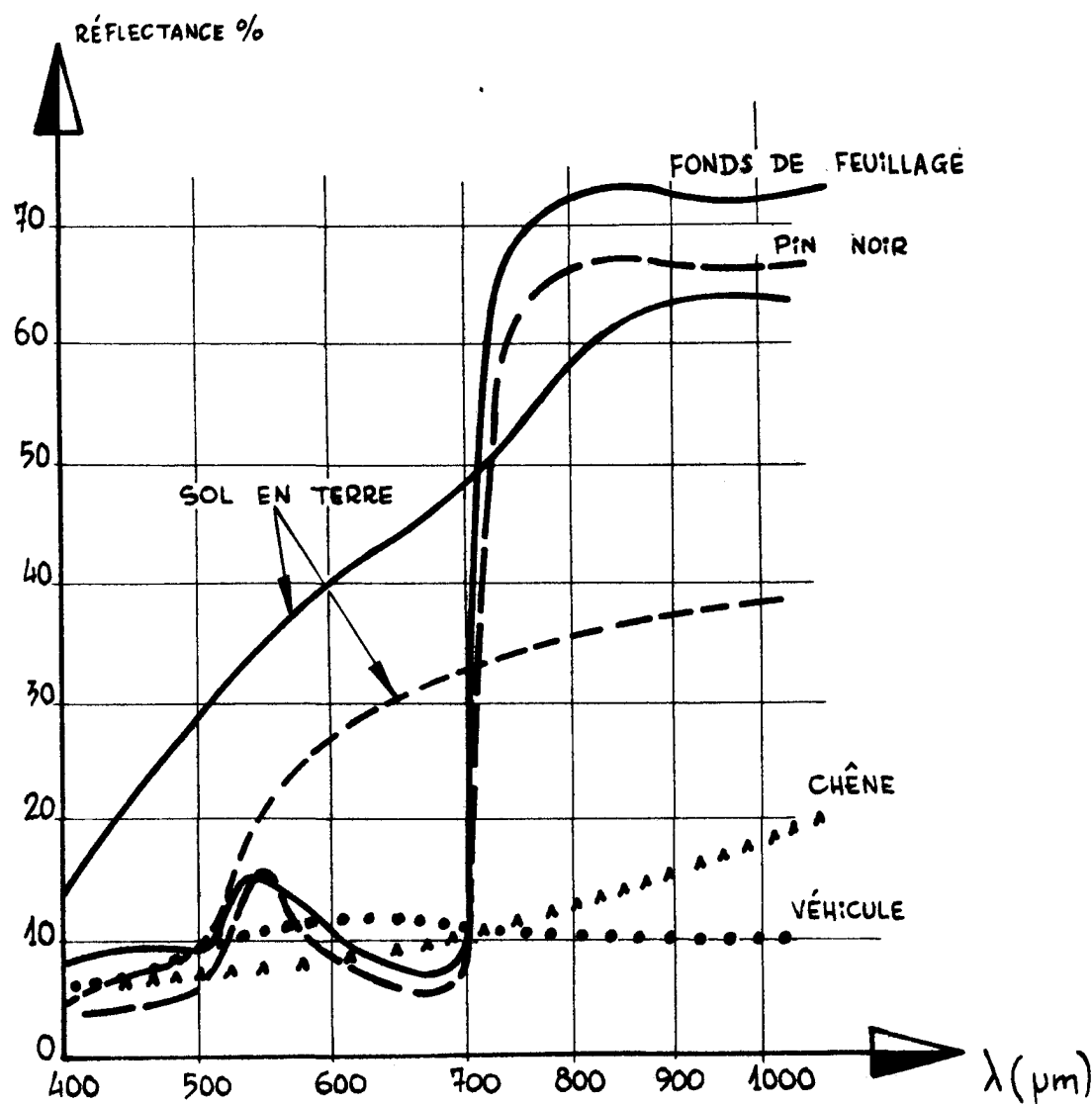
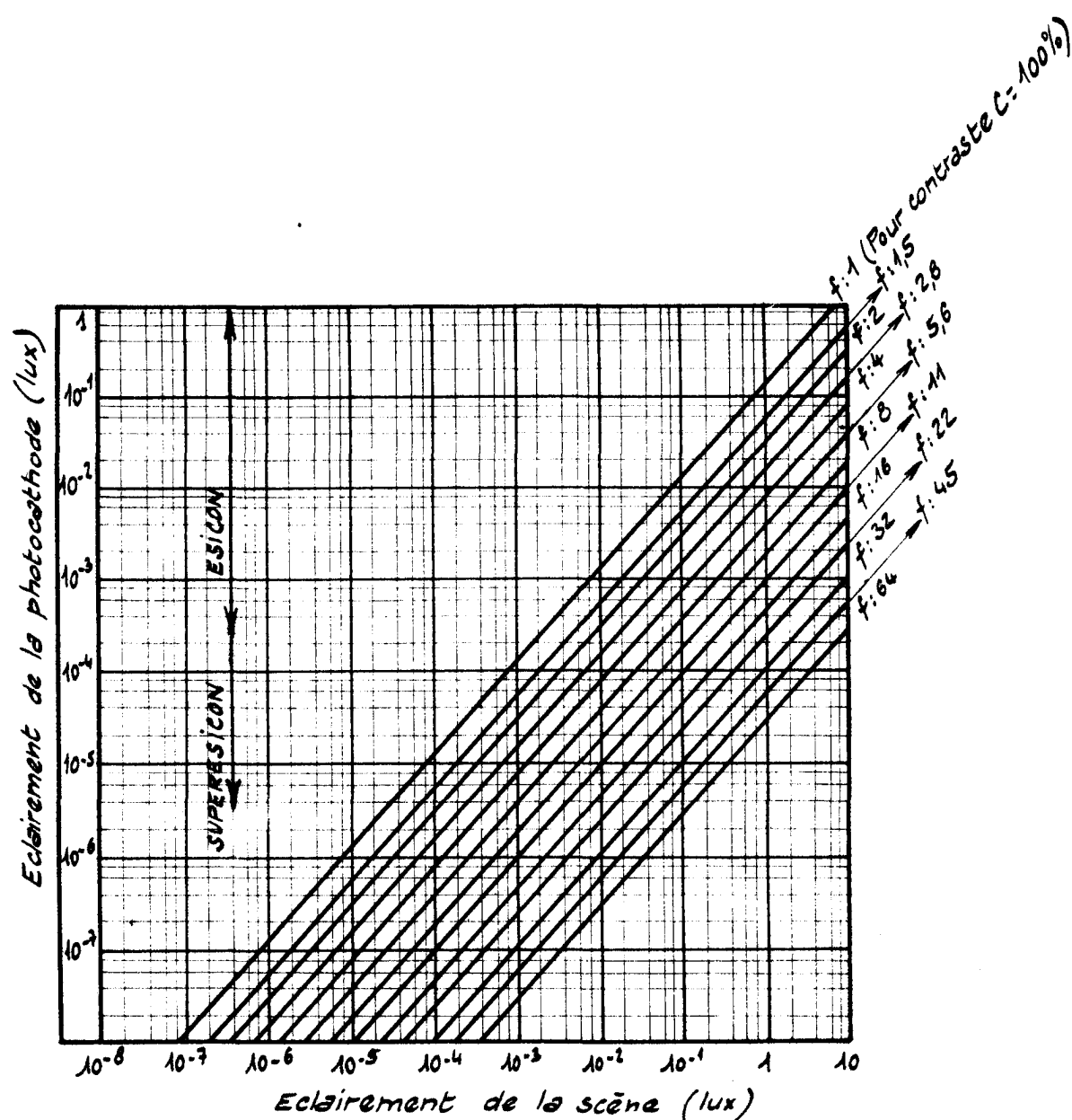


FIG.9



ABaque POUR TELEVISION A BAS NIVEAU DE LUMIERE



NOTE: Dans cet abaque, il est tenu compte d'une transmission de l'objectif de 80 % et d'un coefficient de réflexion de la scène de 60 % (m est négligé).

FIG.10



THOMSON-CSF

GROUPEMENT TUBES ELECTRONIQUES