

Le présent scan concerne le livre inventorié à PSTC-Rhône-Alpes sous le numéro **319** avec le titre :

Les tubes électroniques de Thomson-CSF
Regard sur soixante années d'activités (1939-1999)

Ce livre a été édité en 1999, par Thomson Tubes Electroniques (TED) à Meudon-La-Forêt (France).

Ses auteurs sont d'anciens collaborateurs de TED.

Il s'agit d'un livre, de 209 pages, reliure par une spirale métallique, dont la couverture cartonnée est de couleur blanche.

Il est de format 25 x 17 cm, avec une épaisseur de un cm.

Ce livre contient de nombreuses photos et schémas et de nombreuses photos, en noir et blanc.

Le présent fichier PDF fournit des extraits de pages concernant :

- les « tubes image », en particulier pour la télévision, les usages militaires, les bas niveaux de lumière ou pour des domaines non-visibles à l'œil, etc.
- la « radiologie ».

Ces types de technologie ont été au centre des activités industrielles de recherche et de production des centres situés dans la région de Grenoble.

Il est rappelé que la loi sur les droits d'auteur n'autorise que les reproductions partielles de documents à titre individuel et pour des motifs de recherche.

Pour utiliser cet article, mentionnez TED et Thomson-CSF, ainsi que PSTC-Rhône-Alpes n° **319**.

Les tubes électroniques de THOMSON-CSF

*regards sur
soixante années d'activités
(1939 - 1999)*

 **THOMSON TUBES ELECTRONIQUES**

Les tubes à images

Les Tubes électroniques à Images constituent des familles distinctes de produits assurant une fonction, parfois mixte, de Détection, de Mémoire ou de Visualisation des Images.

1 - Les origines

Les premiers tubes électroniques, à la fin du 19^{ème} siècle, ont été constitués d'une enceinte en verre, dans laquelle on raréfiait l'air, aménagée avec des passages métalliques permettant, soit d'alimenter un filament conducteur et de le chauffer par effet Joule (en retardant ainsi sa destruction par combustion, et créant ainsi la lampe d'éclairage à incandescence), soit d'appliquer sur des électrodes internes des tensions électriques élevées. On observa, dans ce cas la présence de phénomènes lumineux internes à l'enceinte, souvent instables, celle de courants électriques circulant entre les électrodes, ou encore entre un filament chauffé isolé et une électrode (effet Edison 1883).

Les premiers tubes à décharge, (encore utilisés aujourd'hui par les techniciens du vide pour une évaluation grossière du niveau de vide, tube de Geissler), permirent de défricher la connaissance des interactions entre les « particules » internes au tube et des champs électriques auxiliaires ou magnétiques appliqués (tube de Crookes 1879). Ce tube permit, en tant que source de rayons X leur découverte (Roentgen 1895), puis par maîtrise technologique du vide et contrôle des phénomènes électroniques internes (émission de cathode et contrôle par grille, déflexion et visualisation de faisceau, dépôt de

couches luminescentes internes), la réalisation du premier tube à images, le tube oscilloscope de K. Braun (1897), précurseur des tubes à rayons cathodiques de visualisation en télévision.

Les tubes à gaz, à pression interne notable, verront leur lignée se développer avec les lampes fluorescentes pour l'éclairage, les indicateurs lumineux ébauchant des images rustiques (« néon »), les tubes exploitant la conduction de courants forts (valves, thyatron et redresseurs), et plus récemment, de véritables tubes de visualisation d'images, les panneaux à plasma.

Les tubes à vide poussé, par exploitation judicieuse du transport interne efficace des électrons issus de la cathode thermoémissive verront leur lignée se développer avec les tubes redresseurs « durs », les tubes à rayons X, et par adjonction d'une grille auxiliaire de commande, la grande famille des tubes amplificateurs à grille (De Forest 1906).

Selon le mode d'interaction des courants électroniques amplifiés avec les circuits associés d'utilisation, externes ou internes, résulteront par la suite les tubes à grilles classiques et les tubes pour hyperfréquences.

L'exploitation de faisceaux d'électrons issus de cathodes non thermiques (par photoémission, par émission secondaire, par émission froide), donnera naissance aux tubes de prise de vue et à mémoire (à partir de 1934), ou à des tubes éclateurs.

2 - Les Tubes à Images

Une image, pour le physicien ou l'ingénieur, peut être définie comme une distribution d'énergie observable sur une surface. Sa nature peut être très diverse. Il peut s'agir d'une image lumineuse du domaine visible par l'œil humain, se situer dans le domaine infrarouge proche ou lointain, dans les domaines de l'ultra violet, des rayons X et gamma, celui des particules (charges d'électrons, alphas, bêtas, neutrons, etc.), être de nature thermique ou mécanique (ultrasons), ou encore électromagnétique (ondes millimétriques), etc.

Les Tubes à images sont relatifs aux images lumineuses, des domaines visible, infrarouge, ultraviolet, ou bien X, qu'ils détectent, amplifient, mémorisent ou affichent. En anglais, le terme «image tube» est utilisé le plus souvent quand celui-ci assure la détection et l'intensification de l'image. On utilise le terme «picture tube» ou «display tube» dans le cas de visualisation.

L'ensemble des TUBES A IMAGES est constitué de la famille de **Tubes de prise de vue de Télévision**, ou Tubes Caméras TV (TC), de celle des **Tubes à rayons cathodiques** (TRC) (tubes pour téléviseurs, moniteurs radar, moniteurs informatiques, oscilloscopes), de celle des **Tubes à mémoire** (TM), (pour présentation d'image visible ou à mémorisation et conversion d'images électroniques), de celle des **Tubes intensificateurs d'image lumineuses** (IIL) (exploités en vision nocturne), de celle des **Tubes convertisseurs d'images infrarouges, UV ou X** (dans ce dernier cas nommés **Tubes intensificateurs d'images radiologiques** (IIR) ou encore Amplificateur de luminance X). Ces différentes familles de tubes à images ont chacune leur technologies spécifiques et chaque famille

inclut des produits aux dimensions les plus variées, imposées par les dimensions des images à détecter ou à afficher.

Alors qu'avec les Tubes de caméras TV on a observé depuis leur création une évolution permanente en miniaturisation, afin de constituer des caméras de prise de vue de plus en plus compactes, sinon portables, en partant de l'Iconoscope de 250 mm de diamètre jusqu'au Vidicon de 12,5mm (remplacé aujourd'hui par un dispositif état solide (CCD 1/4 pouce, et même 1/6 de pouce), l'Ecran de visualisation cathodique, en vision directe n'a fait que croître en diagonale de champ, pour des raisons de confort d'observation, et couvre la gamme du viseur de casque de pilote ou d'un camescope de 10 mm, aux tubes moniteur TV ou en contrôle radar, de 29" et plus, aux écrans Plasma de 40" (1m).

La miniaturisation des tubes en prise de vue TV et en Intensification d'images visibles a été favorisée par la réalisation d'objectifs optiques, disposés en amont des tubes, de formation d'image incidente, de plus en plus ouverts.

En Visualisation, la motivation d'une observation collective ou celle d'une grande densité d'informations à afficher (en contrôle de trafic aérien, par exemple) ont motivé la réalisation de TRC de grand format (jusqu'à 1m de diagonale), ou le choix d'une approche par projection optique (TRC à flux lumineux intense). Pour l'intensificateur d'image visible utilisé dans le domaine d'observation à bas niveau de lumière, la portabilité de l'équipement a conduit à la miniaturisation du tube afin de réduire l'encombrement et le poids de l'optique associée en amont, et les produits n'ont guère dépassé les 40 mm de diamètre.

En imagerie radiologique, par contre, l'impossibilité de dévier par focalisation les faisceaux de rayons X, et de modifier le diamètre des images X incidentes sur le tube détecteur, a conduit au développement de produits à grand champ d'entrée de détection des X, jusqu'à 40 cm, pour permettre l'observation pratique des principaux organes du corps humain.

En imagerie industrielle, des champs plus grands sont

nécessaires. Avec les Tubes à mémoire, on rencontre le tube de conversion électronique qui peut être de faible dimension (TME 25 mm), mais celui qui permet d'afficher des images lumineuses observables directement (Tube à entretien d'image, Tube pour Oscilloscope) présente un écran de l'ordre de 10 à 20 cm de diagonale.

Les technologies

Les technologies nécessaires à la réalisation des produits, que le chercheur et l'industriel doivent maîtriser, ont toujours constitué un volumineux bouquet :

- Les technologies classiques du vide, nécessaires au pompage des tubes et à la réalisation des surfaces émettrices d'électrons, de lumière, ou détectrices de photons.
- La maîtrise des matériaux, choix et mise en œuvre, pour la réalisation des enceintes et des éléments internes.
- La technologie de préparation, usinage, assemblage propre, de métaux, d'isolants. Les traitements chimiques, les technologies verrières.
- Les cathodes de canons à électrons.
- La technologie des couches minces et épaisses : couches photoémissoires, photoconductrices, multiplicatrices d'électrons; Écrans fluorescents, Scintillateurs.
- Les dépôts des couches par évaporation, sublimation, poudrage, adsorption, sérigraphie, etc.
- La photolithographie, masquage.
- Les optiques classiques et à fibres.
- La conception en optique électronique, pour la formation et la déflexion des images.
- Les circuits électroniques d'adressage (balayage), et de lecture, ou d'alimentations.
- Les moyens d'essais électriques, photométriques, optiques, etc.
- La simulation et la conception par le calcul numérique.

(voir encadré page 119)

L'évolution générale

L'activité en Tubes images professionnels s'est considérablement développée à partir des années 50. Elle résulte aujourd'hui pour le groupe THOMSON-CSF des apports-fusions de celle de plusieurs sociétés, marqués par de nombreux transferts géographiques. L'analyse par famille en sera présentée spécifiquement.

Les **équipements industriels nécessaires** au développement et à la production sont importants et spécifiques des familles (volume, puissance, consonance et coût). De nombreuses opérations doivent s'effectuer en locaux à atmosphère contrôlée et hors poussières. Ainsi, l'activité actuelle à TTE nécessite plusieurs milliers de m² de salles blanches de classe 100 à 1000.

La réalisation d'un produit d'application donnée peut s'étendre dans le temps sur une période d'exploitation de l'équipement l'incorporant, de plusieurs dizaines d'années, ce qui induit souvent des problèmes en production liés à la non pérennité des matériaux d'origine ou des éléments constitutifs.

L'**interface constructeur-utilisateur évolue sans cesse**, ce qui a conduit le constructeur du tube à prendre en charge progressivement des éléments associés considérés à une certaine époque comme de la responsabilité de l'équipementier utilisateur, (cas des habillages de tubes, blindages, potting, alimentations électriques de mise en œuvre, etc), et de diversifier son domaine d'excellence.

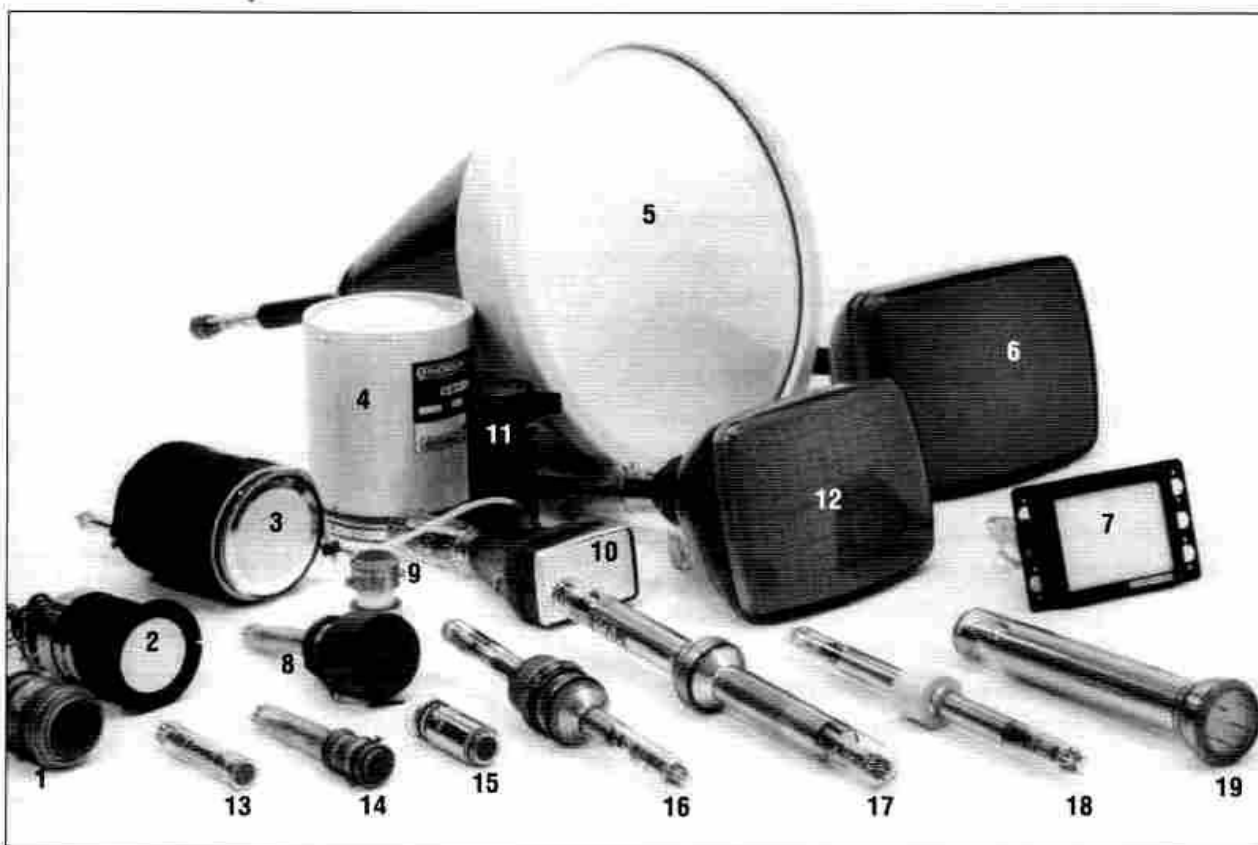
Avec le développement des applications des composants semiconducteurs envahissant le domaine de l'électronique, la formation de base des ingénieurs en physique des tubes et de leur technique de mise en œuvre s'est amenuisée et a parfois disparu. Il a fallu renforcer le rôle formateur et éducateur du fournisseur de tubes auprès de son client. Cet effort a dû s'effectuer également en interne envers les équipes qui fabriquent des produits conçus et développés par des équipes aujourd'hui dispersées, ou même disparues.

La commercialisation des produits a également dû faire face à cette évolution normale, et se renforcer d'actions auxiliaires de service.

Les chapitres qui suivent retracent l'historique des différents groupes de tubes images, en essayant de les situer dans un contexte le plus simple, explicité par quelques illustrations d'équipements auxquels les produits sont, ou ont été incorporés. Les photos environnantes rassemblent quelques spécimens des diverses familles de tubes à images.

Remarque

L'activité industrielle des tubes cathodiques pour la Télévision Grand public, au sein du GROUPE THOMSON, a toujours été séparée de celle des Unités Tubes électroniques professionnels, (aujourd'hui TTE). De nombreux contacts souvent fructueux, ont néanmoins rapproché les équipes oeuvrant sur des domaines techniques homologues.



Tubes images - Ensemble partiel 1970/1990

- | | |
|---|---|
| 1 - Intensificateur d'image lumineuses (IIL) | 10 - TRC pour oscilloscope |
| 2 - TRC avionique | 11 - IIL à 3 étages de première génération |
| 3 - TEI tube mémoire à entretien d'image | 12 - TRC oscilloscope |
| 4 - Intensificateur d'image radiologique | 13 - TC Vidicon 25 mm |
| 5 - TRC 40 cm pour visualisation radar | 14 - TC Nocticon |
| 6 - TRC moniteur TV | 15 - TC Vidicon et deflecteur focalisateur |
| 7 - TRC moniteur | 16 - TMA convertisseur de standard radar TV |
| 8 - TC pour TV bas niveau de lumière (Nocticon) | 17 - TMA |
| 9 - IIL à microcanaux | 18 - TME tube mémoire de longue durée |
| | 19 - TME tube mémoire haute capacité |



Tubes images - Ensemble partiel 1970/1990

- 1 - TRC pour projection haute résolution
- 2 - Intensificateur d'image radiologique grand champ
- 3 - Panneau à plasma pour visualisation graphique
- 4 - Panneau à plasma
- 5 - Tube caméra Vidicon
- 6 - Élément de détecteur d'image état solide
- 7 - Senseur d'image : matrice CCD surfacique
- 8 - Senseur d'image : matrice CCD linéaire
- 9 - Intensificateur d'image à microcanaux
- 10 - Tube caméra pour TV à bas niveau (Supernocticon)
- 11 - TRC moniteur

3 - Les tubes de caméras TV

L'analyse séquentielle des différents éléments d'une image lumineuse, à l'aide d'un détecteur photosensible, constitue la base de la prise de vue en télévision. Le signal résultant (signal vidéo) après amplification et transmission, permet par modulation d'un tube cathodique, balayé de façon homologue, de restituer et visualiser une image similaire à l'image initiale.

Les origines

Les bases de la transmission à distance des images datent du siècle dernier, mais les solutions pratiques manquent. Au tout début, l'analyse de l'image est mécanique (par disque de Nipkov 1884). Une première radiotransmission TV est réalisée par Baird en 1926. Le développement des connaissances en technologies du vide, des canons à électrons, des couches photoélectriques (1929) permet la réalisation d'un tube électronique analyseur, l'Iconoscope de W. Zworykin (1934). Ce fut une invention majeure, car ce tube permet la photodétection simultanée de tous les éléments de l'image à analyser projetée sur une cible interne.

Il en résulte un gain de sensibilité notable par conservation (accumulation) des charges détectées pendant la durée d'analyse de l'image entière. La génération du signal vidéo en un point d'image est assurée par un faisceau d'électrons balayé électroniquement, et se déplaçant sur la cible.

Le Tube analyseur d'image, désigné également Tube de prise de vue (Pick up tube), Tube de caméra TV (TV camera tube) va régner sur une période de plus de 60 ans.

Pratiquement tout tube de caméra TV réalisé à ce jour, (ainsi que de nombreux dispositifs senseurs d'image de technologie état solide inventés depuis lors), possède ces trois fonctions : a) photodétection de l'image lumineuse transmise par l'objectif, b) intégration du signal de conversion pendant la période d'analyse de

l'image, c) lecture (ou analyse) du signal accumulé et mémorisé et création du signal vidéo.

L'Iconoscope inventé et fabriqué aux USA (RCA), va être également réalisé en Grande-Bretagne (EMI), en France (Compagnie des Compteurs CDC), en Allemagne (FERNSEH), au Japon. Sa sensibilité de détection modeste exige des éclairagements de scène très élevés, de l'ordre de plusieurs milliers de lux; (par comparaison l'éclairement de plein soleil est 100.000 lux, celui d'un bureau de quelques 100 lux). Il sera exploité avant la seconde guerre mondiale.

Ce tube de prise de vue est suivi du Super-iconoscope (Image-iconoscope), incorporant un étage de multiplication de l'image électronique émise par la rétine d'entrée (photocathode), après transfert sur la cible balayée du tube caméra. Le gain de sensibilité acquis permet une réduction de l'éclairement de scène à quelques 1.000 lux, bienvenue des acteurs de scènes télévisées, mais également des éclairagistes, ainsi que pour le tube caméra une réduction notable du diamètre de la rétine d'entrée (à $D = 40-50$ mm). Il en résulte un gain d'encombrement et de poids de la caméra très important. Ces tubes caméras réalisés dans les années précédant la 2^{ème} guerre mondiale, n'ont été que peu utilisés pour les applications militaires, par suite de la sensibilité insuffisante ne permettant pas de rendre plus efficace, et moins dangereuse l'observation humaine visuelle diurne ou nocturne; mais cependant leur embarquement sur engins à guidage TV a été expérimenté.

Le développement de l'infrastructure TV en France après 1945

Ce développement justifie une industrialisation des Super-iconoscopes étudiés à la Cie des Compteurs avant et poursuivie pendant la guerre.

Cette activité industrielle se développera au sein de deux sociétés : à l'Outillage RBV- Radio Industrie, sous l'impulsion d'Henri de France, et à la Cie Fse THOMSON-HOUSTON. Ces sociétés vont utilement tirer profit de l'avance britannique en TV, par des accords de licence (1952) passés auprès des sociétés

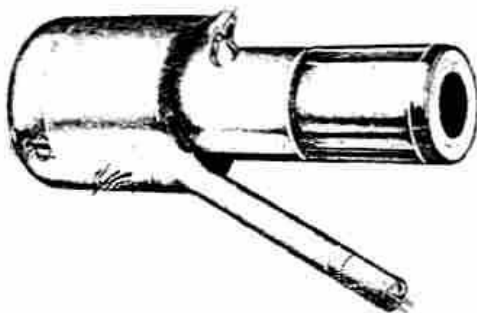
EMI (pour RBV-RI) et CATHODEON PYE (pour CFTH). Un nouveau standard de télévision à 819 lignes par image étant adopté en France, une adaptation conduisant à l'amélioration substantielle des performances, est nécessaire pour tous les éléments de la chaîne TV. Ceci implique, entre autres, pour le tube caméra un accroissement de résolution d'image et un gain de sensibilité, afin de contrebalancer l'accroissement de bande passante, et malheureusement celui du bruit associé au signal vidéo.

L'activité industrielle s'exerce alors dans les locaux parisiens de la rue des Orteaux pour RBV-RI, et de la rue Mario Nikis pour CFTH.

La période 1950-1970 vit l'amélioration des Eriscopes (RBV Radio Industrie avec J. Berthillier, L. Guyot, M. Blamoutier,) et des Photicons (CFTH avec J. Péhé, M. Geoffroy). A RBV-RI, de nouvelles structures de tubes sont créées (cf photos), à optique électronique rendant la résolution d'image plus homogène, et adoptant des couches photosensibles de détection d'image plus panchromatiques; celles-ci permettant un meilleur rendu des couleurs (bien que ce fut de la TV noir & blanc, il fallait maquiller outrageusement les acteurs, comme pour le cinéma, afin d'éviter de les faire apparaître aux yeux du téléspectateur en «vampires au teint blafard»). Elles portèrent également sur la réduction des «taches», signaux parasites basse fréquence fluctuant au gré du contenu des images,

sur l'amélioration du vide dans l'enceinte du tube détérioré par les vapeurs de métaux alcalins utilisés pour la technologie interne, et abrégant la vie du tube. Aussi bien à RBV-RI qu'à CFTH, d'étroites et fructueuses collaborations avec l'ORTF d'une part et avec les Départements d'équipements TV de la rue des Orteaux (J. Donnay), et d'Asnières, puis de Gennevilliers (J. Delvaux, A. Hammer), pour CFTH, où sont réalisées les caméras, permettent d'optimiser la connaissance d'exploitation et de faire évoluer les produits plus rapidement.

Parmi les études de canons à électrons, dont la qualité conditionnait grandement la résolution de l'image analysée, on peut mentionner à titre anecdotique la réalisation à RBV-RI, en 1952, de quelques tubes caméras, incorporant dans le canon de balayage une cathode à émission de champ, constituée d'une aiguille de couturière effilée par attaque chimique. Le courant émis, de quelques microampères, était suffisant pour assurer la lecture du signal et permettait d'obtenir une résolution magnifique qui aurait certainement autorisé l'adoption d'un standard TV supérieur aux 819 lignes tant décrié pour d'autres raisons parfaitement valables! A part le microscope électronique, et les sources de rayons X intenses et brèves, ces cathodes à émission de champ n'ont guère été exploitées industriellement dans les tubes électroniques. Elles sont réapparues récemment, pour réaliser des écrans plats cathodiques de visualisation, et dans des canons de structures hyperfréquences.



Super Iconoscope Eriscopes de première génération
(type CDC Fernseh) - 1949



Super Iconoscope Eriscopes de première génération
(type RBV-RI) - 1950

La TV militaire

La TV militaire qui souvent n'est que de la TV classique utilisée par des militaires, avec des équipements devant fonctionner dans un environnement plus sévère - nécessite par contre dans certains cas une sensibilité de prise de vue plus grande, permettant l'imagerie crépusculaire, sinon nocturne, et en milieu de transmission diffusant (brume, brouillard etc).

Les Vidicons robustes pour TV diurne et crépusculaire

Le silicium, matériau photosensible jusqu'à 1.1 μm (visible et proche infrarouge) fut choisi par le BELL

Lab pour réaliser une cible de vidicon robuste, supportant des éclairagements intenses, sans marquage sur scène fixe et particulièrement accommodant pour permettre la réalisation d'une caméra pour vidéophonie. DTE choisit de développer cette technologie pour réaliser le Vidicon VMS (vidicon à mosaïque de silicium), après un échange bilatéral informel avec le BELL Lab. La réalisation d'une telle cible en 1970, constituée par environ 1 million de photodiodes sur une cible de 9.5 x 12.5 mm n'était pas triviale, et ne suscitait pas l'enthousiasme des laboratoires de composants silicium de CFTH et CSF contactés, (SESCO et COSEM), penchés sur la réalisation de circuits intégrés de quelques mm^2 , aux débouchés plus prioritaires pour THOMSON-CSF.

Le développement entrepris à DTE-TDI, avec des équipements à coût modeste (souvent récupérés des unités de semiconducteurs, rejetés pour obsolescence industrielle) permit assez rapidement de réaliser des vidicons VMS de 1 pouce, qui permirent l'équipement des caméras THOMSON-CSF - Division AVS pour les programmes Crotale, Shahine, et les caméras de Pod Atlis à pointage laser. Ces tubes fonctionnent en environnement sévère (chocs, éclairagements intenses etc.) et réclament une absence d'artefacts ponctuels.

*Tubes Vidicon pour TV professionnelle et médicale.
Accessoires de focalisation et de déflexions
réalisés à St-Egrève*



Les produits pour la TV à bas niveau de lumière

Cette TV nécessite l'emploi de tubes caméra qui, par rapport à ceux utilisés en TV de télédiffusion, incorporent des éléments de « multiplication » de l'image électronique délivrée par la rétine d'entrée. Ce gain peut être acquis soit en disposant un intensificateur d'image lumineuse en amont (couplé par lame à fibres optiques) de gain approprié, soit en utilisant une cible multiplicatrice d'électrons au niveau de la cible accumulatrice.

Dans ce dernier cas, deux types de cibles furent réalisées (sous contrat DRME) (1967- 1975). La première, dite à émission secondaire à base de KCl, permit la réalisation de l'Esicon, d'exploitation quelque peu critique (destruction par insolation de la caméra au cours de la mission américaine Apollo, sur la Lune, caméra utilisant un tube de même structure réalisé par WESTINGHOUSE).

La seconde, exploitant la multiplication au sein d'une cible à mosaïque silicium, similaire à celle développée pour le vidicon VMS, qui permit la construction du

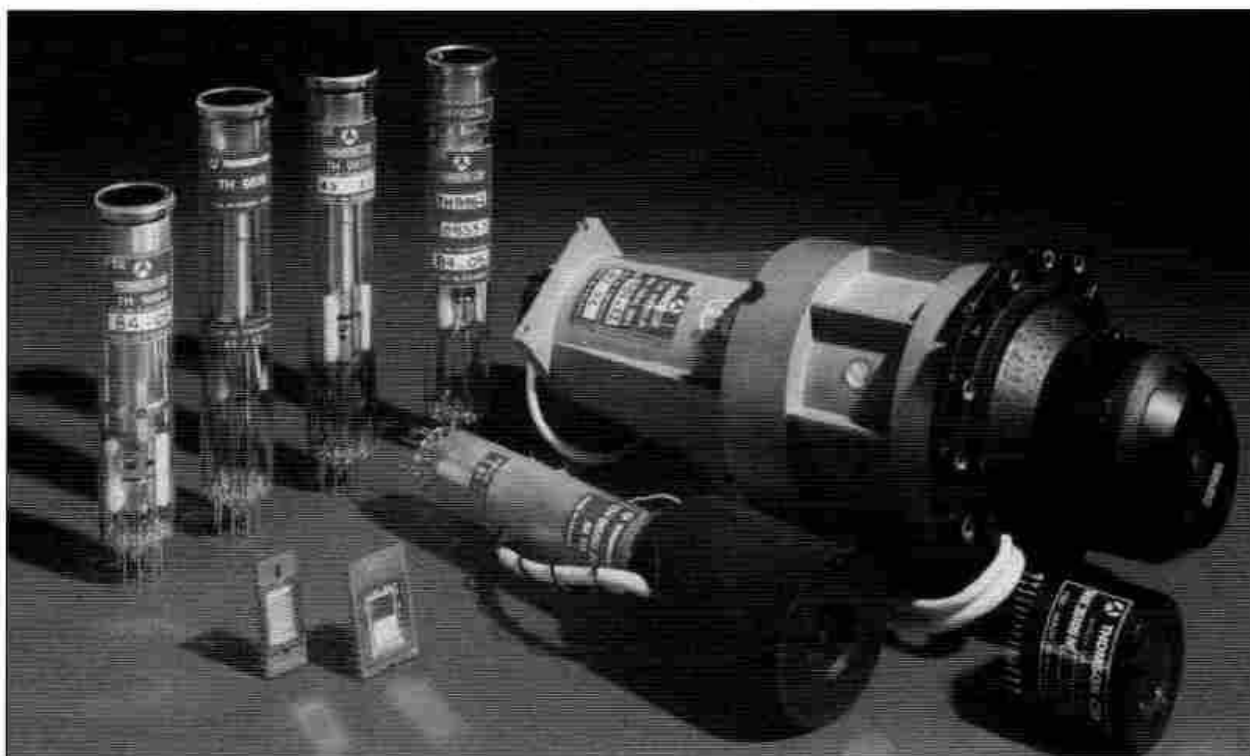
Nocticon, puis du Super-Nocticon (avec un étage intensificateur auxiliaire IIL), avec lequel furent équipées les caméras de char TH-DIVT13, de la division AVS développées pour l'Armée de Terre. Avec ce matériel installée sur l'affût du canon d'un char de combat, où il était possible d'identifier le contenu de scène aux niveaux ultimes de visibilité (nuit sans lune et nuageuse), et de pointer sans dérèglement malgré le choc lors du tir.

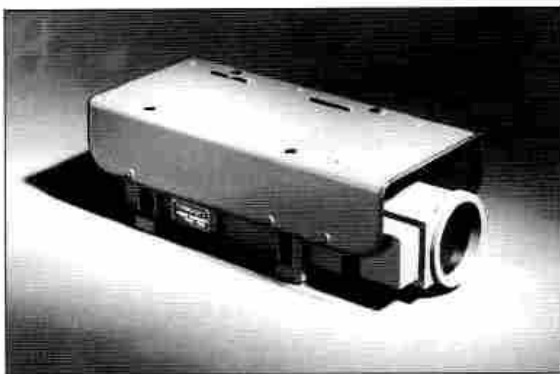
Plusieurs centaines de caméras seront réalisées.

Les tubes Nocticon et SuperNocticon trouveront un débouché très modeste pour des applications industrielles et scientifiques (trop coûteux).

Les caméras militaires pour fonctionnement diurne et nocturne, ont leurs performances rapidement dégradées en présence de brume (portée de détection, contraste des images). L'observation dans le domaine infrarouge : à 1.1-1.5 micron, ou thermique à 3-5 microns, ou 8-10 microns peut être moins perturbée. Un effort de développement considérable de détecteurs opérant dans ces domaines est réalisé dans le monde et en France, en particulier, dès les années 70.

*Ensemble de Tubes Caméra et Dispositifs CCD réalisés à St Egrève.
Sur la droite Nocticon, Super-Nocticon et Intensificateur lumineux mono-étage.*





TMV 569 B - Caméra pour vision de nuit utilisant un vidicon à cible silicium 1" (1978)

Les détecteurs à l'état solide, d'abord ponctuels, sont rapidement assemblés en barrettes, puis en matrices. Associés à une structure optique procurant un balayage mécanique du champ observé, ils permettent de reconstituer une image TV. Les équipements incorporant ces détecteurs vont progressivement remplacer les tubes caméras à grande sensibilité. Les caméras à vidicon à cible silicium seront remplacées par des caméras CCD.



Caméra de tir montée sur char AMX 30 utilisant un SuperNocticon

La télévision des images lumineuses hors du spectre visible

Pour l'observation en UV proche ou lointain, et le proche IR, il est possible d'étendre la sensibilité spectrale des tubes caméras classiques à l'aide d'un étage de conversion d'image associé en amont (tube IIL), du tube. Plusieurs réalisations ont vu le jour et permis la

détection depuis 120 nm jusqu'à 1.200 nm, à l'aide d'IIL couplés par lames à fibres optiques sur des vidicons à fenêtre d'entrée également à fibres optiques (Programme Faust du CNES). Ce domaine d'application est resté très limité.

Pour l'infrarouge lointain, thermique (5 à 300 μm), une approche technologique différente fut adoptée, exploitant les charges électriques développées en surface d'une lame mince d'un matériau pyroélectrique (TGS), par échauffement local de la cible.

L'incorporation de cette cible dans une structure de tube caméra de type vidicon, permet la réalisation dès 1971, au lendemain de la fusion THOMSON et CSF, du Tube caméra Pyricon de 1 pouce (cible $D = 18 \text{ mm}$) présentant une résolution de 400-600 LTV et une détection d'écart de température de 0.3-0.5° degré, pour un objet placé au voisinage de la température ambiante (domaine 10-14 μm). (Des fenêtres d'entrée appropriées permettent la détection d'énergie entre 1 et 300 μm). La caméra incorporant ce tube ne nécessite pas de dispositif de refroidissement de la rétine thermosensible, ce qui la rend peu coûteuse et simple d'exploitation. Ce tube produit à plus de 1000 unités jusqu'en 1998, pour l'export, a essentiellement été utilisé sur des caméras facilitant l'intervention sur les foyers d'incendie. De mise en œuvre relativement simple, mais nécessitant un obturateur adapté, il a été progressivement concurrencé par des dispositifs état solide plus sensibles et plus performants en résolution, faisant appel à des détecteurs quantiques nécessitant un refroidissement de la rétine, soit plus récemment, bolométriques.

Caméra infrarouge TTE à pyricon



4 - Intensificateurs d'Images Lumineuses (en abrégé IIL)

(ou *Convertisseur d'image*)

(*Image converter - Light image intensifier*)

Introduction : comment étendre l'efficacité de l'observation visuelle

L'œil humain est un organe remarquable, capable d'observer un objet dans des circonstances d'ambiance lumineuse très différentes. Cependant, quand le niveau de lumière décroît, l'œil perd progressivement, sa perception des couleurs, puis son acuité de discrimination des détails de scène. Par une nuit claire de pleine lune (éclairage 0,2 lux), on ne peut guère lire que les gros titres d'un journal. Cela tient à l'insuffisance du nombre de photons captés par la pupille et tombant sur la rétine de l'œil pour y être détectés, en créant des signaux exploités par le cerveau.

Des instruments d'optique classique, inventés depuis plusieurs siècles, (loupe, lunettes, jumelles, etc.), ont permis d'observer en temps réel, à un plus faible niveau de lumière ambiante, par le confort du grossissement apporté et le gain d'énergie captée par une plus grande pupille d'entrée de l'instrument. La photographie directe, (malgré son très faible rendement de détection), permet par un temps d'exposition suffisant de pallier la faible constante de temps d'intégration de l'œil, ou d'élargir le spectre de vision par des émulsions pour l'infrarouge, l'ultraviolet, les rayons X.

C'est à partir des années 30, par la création de détecteurs électroniques d'images, plus performants que l'œil, que l'efficacité d'observation en temps réel va s'accroître, pour de multiples applications, par le gain de sensibilité de détection, l'élargissement du spectre couvert, les dimensions de champ observé simultanément.

C'est par l'association de couches photoémissives

efficaces, la possibilité de former des images électroniques focalisées, de renforcer l'énergie transférée, que des structures de conversion de l'image lumineuse reçue vont être réalisées. Elles permettront en premier lieu l'essor de la télévision, par le développement des tubes caméras. Elles conduiront à des moyens nouveaux d'instrumentation en astronomie, pour les sciences physiques nucléaires. De nouvelles lunettes optiques adapteront des tubes convertisseurs d'image, avec grande efficacité pour l'observation militaire.

Les bases de départ

Les couches photoémissives

Hertz découvre un effet photoélectrique (1887), qui plus tard sera interprété par l'émission d'électrons, (d'existence alors inconnue), sous l'action de la lumière sur les métaux. Einstein (1905) et d'autres physiciens développent la théorie de la photoémission et son aspect quantique, la relation photon-électron, la linéarité flux lumineux-courant, etc.

L'acquis des connaissances ne permettra cependant la réalisation industrielle de dispositifs pratiques de détection et de mesure de flux lumineux global, (par exemple, la cellule utilisée pour la lecture de la bande son du film cinématographique), que grâce à la création 40 ans plus tard d'un matériau photoémetteur à relativement bon rendement de conversion (moins de 1%), mais plus de cent fois celui atteint avec les métaux alcalins, et dans le spectre visible (Koller 1929, cellule à l'argent oxydé-césium, couche S1).

Pour la télévision alors naissante, une puissante motivation pousse à remplacer l'analyse de l'image projetée sur un disque tournant, à l'aide d'une petite lucarne déplacée devant chaque « point » d'image, et éclairant par transmission une cellule au sélénium. (disque de Nipkow -1884). Ce procédé est encombrant, à faible définition d'image et surtout très peu sensible. Un gain de sensibilité élevé notable sera acquis, par l'iconoscope (breveté dès 1923) qui intègre les charges électriques de détection, entre deux analyses d'image, sur une mosaïque de cellules Ag-O-Cs. - Zworykin 1934-35.

L'optique électronique

Les physiciens, au début du siècle savent dévier des faisceaux d'électrons, former des images de cathodes thermiques. Le tube de Braun, le premier tube électronique, en est l'illustration (1897). Busch (1928) montre les propriétés de focalisation d'une bobine magnétique sur le faisceau de ce tube; c'est le début de l'optique électronique, qui traitera des images électroniques, comme l'optique classique des images de photons.

Les structures de tubes :

L'association de couches photoémissives avec des moyens de focalisation de l'image électronique issue de l'impact lumineux, formée sur une cible, conduit à de nombreux brevets d'inventions, parfois des réalisations. L'analyseur de Farnworth (1927-30) effectue la détection simultanée de tous les points de l'image lumineuse et explore progressivement chaque point de l'image électronique en la déplaçant dans le plan d'une lucarne, disposée devant une électrode qui capte le signal.

Après 1935-36, aux USA, en Europe, toujours pour la TV, sont inventées des structures où l'image électronique créée est reçue simultanément par une cible isolante qui se charge, puis est balayée par le faisceau d'un canon d'électrons qui la décharge. Ce seront les Tubes caméras à « section image » l'image-iconoscope (1936-37) puis l'image-orthicon (1939) etc.

L'incorporation d'un écran fluorescent comme cible, permet de reconvertir simultanément l'image électronique en une image lumineuse. C'est le tube convertisseur d'image (1931-33).

Les Tubes Convertisseurs d'Image

L'image lumineuse est projetée sur une couche photoémissive déposée sur la face interne de la fenêtre transparente d'entrée du tube, et donne naissance à une image électronique. Celle-ci est collectivement focalisée et accélérée pour bombarder avec apport d'énergie dans le transfert, un écran luminescent d'observation, déposé sur la face de sortie du tube. Cet écran délivre une image visible, homologue de l'image lumineuse d'entrée.

Selon la sensibilité spectrale de la photocathode d'entrée, on peut convertir l'image lumineuse reçue, issue du domaine ultraviolet, visible ou proche infrarouge, en une image visible, de couleur définie par l'écran d'observation (souvent jaune-vert ou bleu). L'accélération détermine le gain en énergie (photonique), ou rapport des nombres de photons entre image de sortie et d'entrée.

Ces tubes sont par suite appelés Intensificateurs d'image lumineuses (IIL).

A chaque photon d'entrée détecté correspond un grand nombre de photons en sortie. Bien que tous les photons d'entrée ne soient pas détectés, les couches photoémissives présentent actuellement un rendement de détection dans le visible supérieur à celui de l'œil, et bien supérieur à celui des émulsions photographiques. Les applications de ces tubes vont se développer pendant et après la seconde guerre mondiale pour l'observation militaire, la physique nucléaire, puis par la suite l'imagerie médicale. (Cf le chapitre sur les IIR).

L'observation dans le proche infrarouge

Les premiers convertisseurs d'image ont utilisé la photocathode Argent-Oxygène Césium, (de Koller) sensible dans le domaine visible, (culminant dans le rouge à 800nm) et le proche infrarouge, (jusqu'à 1150 nm).

L'œil n'étant sensible que jusqu'à 700 nm, la fenêtre complémentaire entre 700 et 1200 nm, à relativement bonne transmission optique dans la brume légère, permet de renforcer la qualité d'observation, et être exploitée stratégiquement. (discrétion, camouflage).

Ces tubes ont fait l'objet de réalisations industrielles très importantes, dans le monde entier, pour les applications militaires d'observation diurne, et surtout nocturne en infrarouge actif, pendant et après la seconde guerre mondiale. Dans l'obscurité, la scène observée est éclairée à l'aide d'un projecteur lumineux IR, non visible par l'œil non assisté.

L'activité en France

Dès 1946, des tubes sont développés en France à la COMPAGNIE DES COMPTEURS, à Montrouge puis Corbeville, en liaison avec le Laboratoire infrarouge de la Marine (implanté à l'Observatoire de Paris). Ces produits, de champ d'entrée de 25mm, sont de structures voisines de ceux utilisés par les belligérants de la seconde guerre mondiale.

A la suite des accords SFR-CDC de 1954, l'activité se poursuit à la CSF, à Corbeville, qui industrialise les produits, aux normes OTAN.

Dans le cadre de la décentralisation des productions de tubes électroniques de CSF, l'activité de production est transférée à St-Egrève dans les années 60, au sein de la Division Tubes Électroniques, les études des autres types IIL étant maintenues au laboratoire image de Corbeville.

La fusion THOMSON-CSF conduit à regrouper en 1970 à St-Egrève, les activités d'Intensification d'image, de CSF- Corbeville à celle déjà transférée, et de CFTH - rue des Orteaux (Paris), au sein du Département d'études et de production de Tubes et Dispositifs Images (DTE-TDI) nouvellement constitué.

En ce qui concerne le Convertisseur d'image en proche infrarouge IIL D16, plus de 10000 tubes seront fabriqués depuis les années 60 jusque vers 1980.

Ce tube IIL D16, de 25mm de champ d'entrée, sera incorporé aux jumelles d'observation, de conduite de véhicules, de lunettes de tir, ainsi intégrés aux équipements des sociétés SOPÉLEM, ANGÉNIEUX, etc., montés sur les véhicules blindés de l'Armée de terre, les VAB de Panhard, etc., pour la Défense française et à l'export.

L'IIL D16 sera également utilisé sur des lunettes d'observation en industriel.

La Sté RBV-RI, à Paris- rue des Orteaux, entreprend en 1952, le développement d'un tubes convertisseurs de type différent, pour un projet d'observation à grande distance et large champ pour la Marine nationale. Par le choix d'une grande pupille d'entrée, et d'un dégrossissement important entre champs d'entrée et de sor-

tie (110 -15mm), le tube IIL VB101, adapté à une optique Réosc de grande efficacité, présente un gain de conversion 30 à 40 fois plus élevé que celui des IIL standards (25-20mm). Ceci permet un accroissement de portée de détection et une réduction de puissance du projecteur IR auxiliaire. Ce projet n'aura pas de suite industrielle.

La structure de ces tubes, était voisine de celle des premiers tubes intensificateurs d'images visibles, développés dans les années 1950 pour l'imagerie médicale à partir d'écrans en Radiologie. L'activité passera sous responsabilité CFTH en 1956 (série TH 9450).

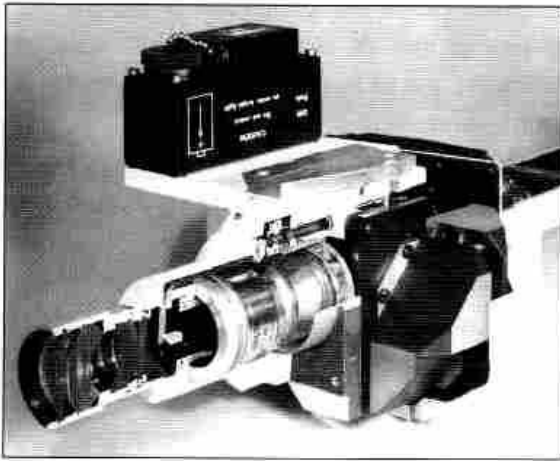
Déjà l'Etat solide !

Toujours pour l'observation dans le proche infrarouge, RBV-RI réalise en 1952 des Dispositifs « État solide » convertisseurs d'image, constitués d'un simple écran luminescent (incorporant dans le matériau hôte 2 activateurs - Écran phosphorographique). Cet écran est activé préalablement sous un éclairage d'ultraviolet; (l'écran se maintient ainsi « préparé » plusieurs heures dans l'obscurité). Il délivre par stimulation ultérieure, provoquée par la projection d'une image infrarouge, en temps réel, une image visible par l'observateur.

Ces détecteurs Métascopes, très simples, associés avec une optique en matière plastique (déjà !) sont peu sensibles, car sans intensification électronique, mais par contre peu encombrants et de très faible coût. Ils seront fabriqués à quelques milliers d'exemplaires, (mais non transférés à CFTH en 1957). Ils seront utilisés par l'Armée de terre, pour le ralliement nocturne des fantassins, et dans l'Industrie pour le contrôle visuel non destructif des émulsions photographiques.

Remarque : aujourd'hui, en Imagerie radiologique, on utilise parfois des écrans stimulables remplaçant dans les cassettes de radiographie, l'ensemble film-écran classique. On pré-excite cet écran par projection de l'image de rayons X à détecter (enregistrement). Ultérieurement, sur un équipement auxiliaire de lecture, on stimule par balayage laser IR, la formation d'une image visible que l'on détecte, amplifie, et numérise.

Pour ces deux types d'écran stimulable, (pour IR ou X), le rôle des deux radiations, l'une à forte énergie (UV ou X), l'autre à faible énergie (IR), sont inversés. Avec 30 ans d'écart, la finalité est identique, celle de permettre la détection et la conversion d'une image invisible à l'œil en une image observable.



Télescope pour vision nocturne SOPELEM
Incorporant le 6914/D 16

Le tube convertisseur infrarouge D 16
(JEDEC 6914)



L'observation dans le domaine visible

Les progrès de 1936 à 1960

Pour les applications militaires, (en fait d'intérêt dès 1939), un handicap considérable de non furtivité, de nuit, résulte de la nécessité d'éclairer en proche IR le champ observé. La présence d'un observateur se trouve signalée, la source IR est vulnérable car aisément localisée, la sûreté de l'observation compromise.

Pour la Télévision, (alors en noir et blanc), la détection favorisant le spectre rouge et IR n'est pas favorable au bon rendu des demi-teintes des sujets, et l'on ne peut guère corriger ce problème par des filtres optiques correcteurs car la sensibilité des tubes de caméras est déjà insuffisante.

Pour l'Instrumentation, le bruit thermique est gênant, et rend parfois nécessaire de refroidir le détecteur.

Des progrès en technologie des couches photosensibles et des éléments d'optique vont permettre de faire évoluer les détecteurs-convertisseurs d'image, et pallier ces faiblesses.

La découverte en 1936 d'une couche photoémissive très performante, efficace à plus de 10% dans le domaine spectral approprié à la détection d'images visibles par l'œil. (Görlich, cathode SbCs, à réponse orthochromatique S4) est immédiatement appliquée aux « imageurs ».

Un grand progrès en résulte pour l'exploitation des Tubes caméras TV.

Des applications scientifiques et industrielles en tireront profit : en astronomie (caméra électronique de Lallemand), pour l'industrie des tubes photomultiplicateurs et des photocellules.

Pour les Intensificateurs (IIL), utilisés pour l'observation militaire, le bénéfice sera limité, car de nuit, il faut toujours un éclairage auxiliaire de scène, de source visible à l'œil !, (et la réponse dans le rouge est très faible).

De 1952 aux années 1960, d'autres matériaux photoémissifs vont être créés (A Sommer couches S10-S20), encore plus performants en rendement de détection.

en réponse spectrale élargie, de bruit thermique plus faible. Plus panchromatiques, ils permettront de réaliser des tubes caméras TV, présentant un meilleur rendu d'image. Les photomultiplicateurs, encore fabriqués par DUMONT aux USA, au rachat de l'activité par THOMSON, en bénéficieront.

L'innovation d'une réponse accrue dans le rouge avec faible bruit, adaptée aux IIL, va permettre la création de produits pour un important marché.

L'observation à faible niveau de lumière (Vision BNL)

L'observation visuelle de nuit.

L'éclairement du sol terrestre, par une nuit claire sans lune, est insuffisant pour une bonne vision. A ce niveau de 1 mlux, le flux de photons reçu au sol est encore important, mais seule une fraction d'environ 8% est utile à la vision directe ($6.6E6$ photons par seconde mm^2), entre 0.4 et 0.7u. Pour une bande spectrale de 0.4 à 0.9u, cette part est de 35%, et pour 0.4 à 1.1u de 100%. (La distribution culmine dans le proche infrarouge). Cet éclairement est dû à l'obscurité qui tombe des étoiles, mais surtout au rayonnement des molécules excitées de la haute atmosphère. Si le ciel est couvert, le flux de photons disponible est réduit à 5-10%.

Un « œil électronique », à bande spectrale de détection plus large que celle de l'œil, peut disposer d'un flux réfléchi par un objet, beaucoup plus important que pour l'œil, et conduire à une meilleure détectivité, si son bruit propre est faible, autorisant une amplification additionnelle.

Les physiciens et les technologues, en particulier par la maîtrise des couches photoémissives nouvelles, vont ainsi réaliser des dispositifs détecteurs d'image très performants.

En 1936, pour l'astrophysique, la Caméra électronique de Lallemant, sera capable d'enregistrer l'impact d'un seul photon incident détecté (utilisant un film photographique comme récepteur terminal, et par suite inapte à l'imagerie en temps réel).

Dans les années 50, des intensificateurs d'image constitués de plusieurs étages multiplicateurs, de structure unitaire similaire à celle de l'IIL pour la vision en proche infrarouge actif, seront disposés en cascade, au début dans une même enceinte à vide, et permettront l'observation en temps réel, de nuit, sans éclairage d'appoint.

L'imagerie en Physique nucléaire, en temps court. Il est nécessaire de compléter en instrumentation scientifique, pour l'imagerie des particules, le tube photomultiplicateur qui ne mesure qu'un flux global de photons, par un dispositif capable de différencier le contenu local de ce flux, constituant une image lumineuse, parfois très fugace, et d'en permettre l'enregistrement.

En photographie ultrarapide, le temps court d'exposition réduit le flux utile des photons reçus, et un obturateur mécanique peut rester trop lent.

Des caméras électroniques sont réalisées, incorporant des IIL, agissant en amplificateur d'image et obturateur électronique, permettant l'exposition à partir de quelques nanosecondes, et le déplacement électronique des images en sortie sur l'écran d'observation, (bleu en photographie). Certains seront développés en France par CSF à Corbeville, et par CFTH à Paris, rue des Orteaux.

Agissant en sous-traitants, sur des programmes du CEA-DAM, CSF et CFTH ont à réaliser les équipements clés complémentaires d'un système d'observation d'image en Détonique. Celui-ci associe un Générateur de rayons X de plusieurs MeV (par accélérateur linéaire) de CSF, et une Caméra d'observation ultra rapide CFTH (Département ISN) incorporant un Intensificateur d'image CFTH, visant un écran détecteur des X. (La situation est parfois conflictuelle, entre l'intensité de la source X et la sensibilité de la caméra en temps d'exposition court.)

Entre la source des X et l'écran, on place un objet dont on provoque l'explosion, et enregistre l'évolution pendant cet instant. La caméra permet un fonctionnement en modes d'images à fente ou intégrales. La durée d'échantillonnage pouvant être très courte, le flux lumineux capté constituant l'image d'entrée est faible

et nécessite une amplification grande pour permettre l'enregistrement photographique en sortie (Le tube IIL Édouard aura une structure à 3 étages dans la même enceinte, et un gain supérieur à 100 000) (1966). D'autres produits analogues suivront, tel le Tube IIL Ténia, à zoom électronique monotension.

Le marché de la photographie ultra rapide reste relativement modeste, et la fabrication de ces intensificateurs ne sera plus poursuivie dans les années 70 à DTE.

Pour l'instrumentation en physique des particules, des IIL seront réalisés avec une réponse spectrale allant de l'UV lointain au proche IR, avec des bruits thermiques très réduits.

Les tubes à grand gain, les fenêtres à fibres optiques, la mise en cascade.

Réaliser plusieurs étages intensificateurs dans une même enceinte est peu industriel, même si le tube fonctionnant en mode continu est de structure plus simple que le produit pour photographie électronique rapide. Il est de plus difficile d'assurer la focalisation de chaque étage sans auxiliaires magnétiques lourds et encombrants, les dynodes intermédiaires constituées d'une couche photoémissive et d'un écran luminescent déposés de part et d'autre d'un substrat de quelques microns étant planes.

Un développement technologique de première importance naît en Grande-Bretagne, dans les années 60, qui permet la réalisation de fenêtres optiques transparentes, constituées d'un grand nombre de fibres optiques de quelques microns de diamètre, étroitement accolées. Elles permettent un transfert d'image

Tubes IIL de différentes générations.



A gauche : **TH 9471** à 2 étages, de champ 60 mm, à focalisation magnétique, pour photographie ultrarapide (1966).

Au centre-haut : **IIL 1G - TH9303** à 3 étages TH9301 couplés par fibres optiques, de champ 25mm, à focalisation électrostatique, pour vision nocturne (1970).

A droite : **IIL 2G - TH 9304**, monoétage inverseur, à gain par microcanaux, de champ 25mm, à focalisation électrostatique, pour vision nocturne (1975).

En bas : **IIL 3G - TH 9313**, monoétage, inversion par fibres optiques, à double focalisation de proximité, gain par microcanaux, champ de 16mm, pour lunettes de casque (1985).

lumineuse, de plaque à plaque par « simple » contact mécanique, quelques fibres (de 7 à 15 microns), assurant le transfert d'information lumineuse relatif à chaque point image. Adaptées à des tubes intensificateurs, comme fenêtres optiques d'entrée et de sortie, et usinées convenablement, ces plaques peuvent s'adapter aux courbures que l'optique électronique impose en focalisation électrostatique, en réduisant les distorsions d'image et assurant l'uniformité de résolution ; elles doivent être étanches au vide et chimiquement compatibles avec les matériaux alcalins utilisés pour produire les couches photosensibles in situ.

Il devient ainsi possible de réaliser des tubes intensificateurs compacts, légers, pouvant être associés mécaniquement et optiquement, en cascade, créant une structure IIL multi-étage, simple d'emploi et à grand gain.

Les produits de TH-CSF

Les tubes IIL de première génération

Pour satisfaire aux besoins d'opération nocturne pendant la guerre au Vietnam, les américains réalisent des équipements d'observation, de tir, incorporant un bloc-ensemble de 3 tubes IIL de 25mm, de gain global 10 à 20000. Les 3 étages sont de même structure, mais le premier, agissant en préamplificateur est le plus performant. MACHLETT Laboratories, filiale de RAYTHEON, que THOMSON a licencié pour produire des Intensificateurs d'images radiologiques, utilise habilement les technologies transférées à cette occasion (1960) pour devenir le premier à produire ces IIL, en quantité considérable, avec un contrat de 5 millions de dollars! (1963).

CSF et CFTH entreprennent en 1966, sur contrats DRME, des études voisines de structure d'IIL 25 mm et sur fonds propres de 16 mm de champ d'entrée. Sur le site de St-Egrève, à partir des années 70 seront développés et fabriqués, pour équiper des lunettes, essentiellement pour l'armée de terre (lunette SOPELEM OB25), les IIL de 25 mm, au standard international. Cette fabrication est complétée par le déve-

loppement et la fabrication d'alimentations haute tension ultra compactes, permettant la commande automatique de gain de l'ensemble de 3 tubes optiquement accolés, en fonction du niveau d'éclairement du terrain observé. L'ensemble constitue l'Incas TH 9303, équipant la lunette Sopélem OB25. (Plus de 3000 exemplaires seront fabriqués).

L'étage IIL d'entrée, particulièrement performant, à faible bruit et sensible dans le rouge extrême, servira de préamplificateur, toujours par couplage à fenêtres à fibres optiques pour la réalisation d'un tube caméra, le Supernocticon équipant les caméras de TV à bas niveau de lumière, DIVT13 de la Division AVS de THOMSON-CSF.

La Conduite de nuit de véhicule, nécessite une lunette optique se contentant d'un gain de luminance IIL plus faible que dans le cas d'observation lointaine du terrain, mais avec une définition d'image plus grande, afin d'accroître le champ de vision. (L'OTAN a défini un produit remplaçant les lunettes IR proche).

Un tube IIL développé par THOMSON-CSF, en collaboration avec SOPELEM pour la lunette, permet la modernisation plus économique (rétro fit), des équipements utilisant l'IIL D16 utilisé pour le proche infrarouge. Ce tube concurrence le tube standardisé OTAN, fabriqué en Grande-Bretagne, aux Pays-Bas et en France (PHILIPS). Ce tube monoétage, TH 9478, à dégrandissement, présente un champ d'entrée de 35mm servira l'Export sur lunettes SOPELEM. (Il sera fabriqué à plus de 600 exemplaires).

Pour des utilisations similaires plusieurs produits IIL à grandissement d'image de sortie, assurant une plus grande résolution, et permettant de simplifier l'oculaire de sortie de la lunette seront développés. Le tube IIL 25-125, pour l'export (US - Astrophysics), permettra l'équipement d'une lunette moins coûteuse et moins encombrante (env. 100 tubes). Un tube 25-40 servira de base au développement d'un autre IIL de 2ème génération.

Pour des applications scientifiques, quelques Intensificateurs d'image, sensibles dans le domaine ultraviolet proche ou lointain (Cs-Te, Cs-I), seront développés sur contrats CNES (Programme Faust).

Ils seront parfois couplés par fenêtres à fibres optiques avec des tubes caméras TV THOMSON-CSF, de type vidéons à analyse lente, l'ensemble à structure robuste permettant la télétransmission des informations pendant le vol de la fusée spatiale porteuse de l'instrumentation.

Un IIL TH 9302, 25-25 mono-étage, à grille d'obturation électronique, incorporé à une chaîne image permettra l'amélioration du signal à bruit, en détection synchrone d'image impulsionnelle (observation en milieu diffusant), ou pour l'observation instantanée de cibles à grande vitesse (caténares du TGV japonais)



*Lunette passive de tir de nuit SOPELEM
incorporant l'intensificateur TH 9303*

Les tubes IIL de seconde génération

Les IIL de 1^{re} génération sont performants en résolution et facteur de bruit, mais leur encombrement est pénalisant pour un équipement de fantassin (3 IIL en cascade). D'autres limitations d'exploitation optique existent.

La disponibilité de galettes multiplicatrices d'électrons (autre invention britannique), analogues en structure aux plaques à fibres optiques, mais maintenant constituées de multiconduits creux (multicanaux), rend possible un gain de l'image électronique provenant de la face d'entrée du tube intensificateur. (Les photoélectrons issus d'un point image de la photocathode, sont multipliés entre l'ouverture d'entrée d'un microcanal, de quelques microns de diamètre, et sa sortie, sur une longueur n'excédant pas le millimètre, par un facteur

de plusieurs milliers, puis viennent bombarder l'écran d'observation de l'intensificateur).

Ces galettes multiplicatrices vont permettre de réaliser des Intensificateurs d'Images à grand gain (ajustable), mais à structure mono-étage, et par suite plus compacte et plus légère que celle de l'Incas à trois étages. Par ailleurs l'Incas de 1^{ère} génération est trop sensible à l'éblouissement créé par des sources lumineuses intenses qui perturbe la vision des zones sombres du champ au sein desquelles les points intenses sont distribués; la galette de microcanaux apporte une limite à ce défaut par une saturation locale du gain de multiplication.

A THOMSON-CSF, DTE réalisera plusieurs produits IIL 2^{ème} génération, en grande partie sur fonds propres.

Un premier, de type inverseur d'image (25-25, TH 9304) s'adaptera à une lunette SOPELEM, avec son alimentation associée. Un second de type inverseur- agrandisseur (25/40 TH 9311) permettra de réaliser pour les applications de conduite nocturne de véhicule, des lunettes plus économiques (400 tubes produits).

Les IIL, à focalisation électronique de proximité, de structure très compacte mais nécessitant la disponibilité (difficile) de fenêtres à fibres optiques inverseuses d'image, (produits aux USA et par PHILIPS en Europe), ne seront produits à DTE qu'ultérieurement, à l'occasion d'un nouveau développement. L'intérêt de la compacité des IIL de type 2 G est évident pour réaliser des lunettes aisément portables, en particulier sur casque.

Les tubes IIL de troisième génération

Les tubes IIL 2G, ainsi que les IIL 1G, utilisent une couche photosensible d'entrée de type « Antimoine-multiple alcalins », dont les performances de détection se sont améliorées considérablement depuis son invention en 1955. Dans les années 60, la connaissance en physique et technologie de l'état solide permet d'inventer à nouveau (Pays-Bas et USA) de nouvelles couches photosensibles, encore plus performantes à 800 850 nm (le très proche infrarouge), zone du

INDUSTRIE

D

Les tubes à images

spectre favorable en observation nocturne.

Ces couches photosensibles sont à base d'arséniure de gallium. A THOMSON-CSF, la maîtrise du matériau de base en est assurée grâce à l'expertise du LCR, à Corbeville. Un transfert de technologie d'épitaixie liquide est effectué vers le LRI sur le site de St-Egrève (fin des années 70), des moyens industriels créés pour permettre de réaliser des multicouches épitaixiées de ASA/Ga sur AsGa, ensuite collées sur la face interne de la fenêtre d'entrée d'un tube intensificateur.

Ces fenêtres sont planes et permettent une focalisation d'optique électronique de proximité avec une galette de microcanaux, ce qui rend le tube très compact. (TH9313)

Des lunettes de conduite de véhicules et d'hélicoptères, portables sur casque du conducteur ou du pilote peuvent être réalisées.

Entreprises dans les années 80, après une évolution technologique adoptant l'épitaixie par organométalliques de AsGa, plus flexible pour la production, ces fabrications complexes, nécessitant des assemblages

en ultravide sont perturbées industriellement par les transferts, de l'activité TTE-TIV, de St-Egrève à Moirans, et ne peuvent résister à la concurrence américaine, qui fabrique ces produits par milliers.

Les besoins français sont très modestes en comparaison, et l'importation du produit devient aisée. (Aujourd'hui aux USA il ne subsiste pratiquement plus que 2 fabricants). THOMSON-CSF en cessera la fabrication.

Alimentations Hautes tensions pour différents tubes intensificateurs (1972/1980)



Conclusions

L'évolution des besoins, des produits, du marché.

Comme pour beaucoup de tubes électroniques, les nouveaux produits IIL ont résultés d'une évolution extraordinaire des technologies. Couches photoémisives, fenêtres à fibres optiques, galettes de microcanaux, écrans luminescents, assemblage du tube sous ultravide, associés à des technologies classiques verre-métal ou céramique-métal ont permis des réalisations remarquables de tubes assurant la visibilité depuis quelques photons par élément d'image, la nuit, (et celle de leur fluctuation statistique), jusqu'à des éclairagements de plein jour.

Au niveau national, pour des raisons d'indépendance, des études et des développements ont permis de réaliser, partiellement, les fenêtres à fibres optiques, (dont l'importation et l'usage étaient classifiés), par la société SOVIS, filiale de SOVIREL, (et aux Pays-Bas par PHILIPS). Il en a été de même des galettes de microcanaux que seul le groupe PHILIPS, en Europe, a su produire avec un succès suffisant.

IIL 3G et IIL 3G couplé à un CCD par Fibres optiques (1980)

La difficulté d'approvisionnement de ces éléments stratégiques, a pénalisé la réalisation des tubes intensificateurs pour vision nocturne, par leur coût d'approvisionnement et les délais de disponibilité. La maîtrise des matériaux ou des sous-ensembles stratégiques n'est pas mineure pour la réalisation des tubes électroniques.

D'utilisation essentiellement militaire à l'origine, les lunettes d'observation, utilisant les tubes IIL à microcanaux sont devenues disponibles en 1996, pour quelques centaines de dollars, pour le public (d'origine russe ou américaine), à tout amateur d'observation nocturne. Par ailleurs, les fabrications des IIL de seconde génération ont été délocalisées en Inde et en Chine.

Les IIL de quatrième génération :

Quelques laboratoires continuent d'améliorer les performances de résolution d'image des IIL, en utilisant des plaques à fibres optiques plus fines, et des galettes à microcanaux plus étroits. Ceci permet d'accroître la définition de l'image (40 pl/mm) dans le champ utile de l'intensificateur (en nombre de pixels par diamètre). Dans le cas, par exemple, d'un examen au microscope en biologie moléculaire, on favorise le



rendement de transfert du rayonnement lumineux de molécules marquées. De militaire le marché est devenu plus scientifique et de fait plus modeste.

La recherche de photosensibilité vers l'IR, par des photocathodes III-V à plus faible largeur de bande, par champ assisté, ne semble pas avoir débouché au niveau industriel par suite du courant thermique associé réduisant le contraste d'image. La mise en œuvre de couches à puits quantiques est restée du domaine du laboratoire.

L'évolution technique de l'observation militaire

L'observation en plein jour ou à bas niveau de lumière est complétée par des produits fonctionnant dans l'infrarouge lointain, rayonnement émis naturellement par les objets observés, et non plus par rediffusion par ces objets d'un éclairage externe naturel ou auxiliaire. Il s'agit de l'observation dans l'infrarouge centré sur 5 et 10 microns, correspondant aux bandes de transmission atmosphériques favorables. Pour atteindre cet objectif, les tubes IIL ont laissé la place à des senseurs d'image, à balayage électronique et mécanique, version état solide des tubes caméras TV (remplacés dans le visible par les CCD).

Ces détecteurs d'image utilisent des rétines à semi-conducteurs quantiques refroidis, ou bolométriques, ou pyrosensibles. Ils délivrent un signal de sortie électronique, de type TV, numérisable et, par suite, d'intégration système (multi-senseurs) plus aisée, permettant un traitement de l'image plus souple. Cette orientation a été prise par les unités optroniques de THOMSON-CSF depuis plusieurs années. (mais certains équipements, moins coûteux et plus rapidement opérationnels incorporent toujours des IIL 3G, à SEXTANT).

DTE à St-Egrève a entrepris au LRI, à partir des années 73, la réalisation de tels détecteurs, en utilisant son expérience technologique et sa connaissance du domaine, afin de pouvoir assurer la maîtrise de composants stratégiques nécessaires à THOMSON-CSF. Abordés par les senseurs CCD en silicium monocristal-

lin (fonctionnant dans le visible et le proche infrarouge), dans la continuité de fabrication de cibles à mosaïques de diodes pour Vidicon VMS, de détecteurs quadrants pour localisation et pointage, ils ont été suivis de la réalisation de barrettes de PbS, de PbSnTe, de HgCdTe. (pour l'infrarouge lointain, de 2 à 10 microns), et de leurs enceintes de refroidissement.

Ces composants « état solide » pour le visible et l'infrarouge proche et lointain, ne sont plus réalisés dans TTE, et ont été transférées depuis plusieurs années, pour y être développés, dans d'autres unités du Groupe : à TCS, à St-Egrève pour les composants CCD, et à SOFRADIR (filiale à 40% THOMSON, SAT et CEA), pour les composants infrarouges.

TTE, aujourd'hui, assure la réalisation de produits intensificateurs et analyseurs état-solide d'image limités essentiellement à l'imagerie médicale, pour la détection du rayonnement X. ■



Détecteur DTE pour imagerie infra rouge 10 μ m
THX 702

5 - Les intensificateurs d'images radiologiques

Introduction

L'Intensificateur d'Image Radiologique

(IIR en abrégé), désigné également par Amplificateur de Brilliance, ou Renforceur d'image, est aujourd'hui incorporé à de nombreux équipements de diagnostic en imagerie radiologique médicale et industrielle. Il permet d'assurer la détection de l'image X émergeant du sujet observé, placé dans un champ de rayons X et de délivrer sur un écran d'observation, une image lumineuse homologue.

Ce tube électronique constitue à la fois, un détecteur d'image à très faible niveau de bruit intrinsèque, et un amplificateur à grand gain qui délivre une image à fort niveau, aisément exploitable, notamment par télévision.

Grâce à ces caractéristiques, complétées par un encombrement raisonnable, une facile mise en œuvre et une très grande fiabilité, il a été pratiquement le seul produit électronique permettant de constituer des systèmes d'imagerie assurant la détection d'images X en temps réel à faible ou forte dose de rayonnement, des années 50 jusqu'à ce jour, dans le domaine médical.

Il a permis la naissance, puis par des développements permanents, l'essor d'activités industrielles et commerciales importantes au sein de THOMSON Tubes Electroniques, lui conférant la place de leader mondial en ce domaine. Cette activité est aujourd'hui exercée, au plan industriel, sur le site de Moirans (Isère).

Les Rayons X et le diagnostic médical

Les premières bases (1895-1920)

La découverte des rayons X par W. C. Roentgen, dont le centenaire a été célébré en décembre 1995, a permis pour la première fois l'observation des structures internes du corps humain sans intervention traumatique. Dans les quelques années qui suivirent furent édités dans le monde entier des recueils anatomiques radiophotographiques aidant, tout en les formant, les médecins dans l'établissement de leur diagnostic. L'intérêt pour les physiciens ne fut pas moindre, pour la connaissance de la nature des rayonnements et de la structure de la matière.

L'essor en Radiologie fut rapide grâce à la disponibilité dès 1895 de sources X, constituées par le tube de Crookes (1879), (tube à cathode froide), de plaques photographiques et "d'écrans" fluorescents permettant de "visualiser" les rayons X.

Alors que la première radiographie spectaculaire, de la main de l'épouse de W. Roentgen, avait nécessité une durée d'exposition de 15 minutes, la source X étant très peu intense, une radiographie standard ne demandait plus que quelques dizaines de secondes, dans les années 1920. Ceci avait été rendu possible par l'adaptation d'une cathode chaude en tungstène (Coolidge 1913) au tube initial de Crookes, à l'émission électronique considérablement renforcée, et d'une anode appropriée résistant au bombardement d'électrons, également en tungstène, (et qui deviendra tournante afin de mieux la refroidir, avec Muller 1933), ainsi que par la disponibilité de plaques photographiques beaucoup plus sensibles.

Cette première période de 25 ans (1895-1920), d'intenses progrès technologiques s'était évidemment accompagnée d'un développement considérable des connaissances physiques sur la nature et les propriétés des rayons X, sur leur interaction avec la matière, connaissance culminant avec les travaux de Compton en 1922.

Toutes les bases de la radiologie moderne avaient été dégagées : la réalisation des sources X, la détection

des X par la plaque photo et les écrans fluorescents d'observation, les techniques de filtration en énergie et de renforcement de contraste (air, baryte, produits iodés, etc.), de soustraction d'image, etc., la dosimétrie des X, ainsi qu'également la connaissance des effets biologiques sur les cellules vivantes, rendant critiques, parfois critiquables les examens humains à forte dose d'irradiation.

Une seconde période de 25 ans (1920/1945)

Cette période de consolidation des connaissances, permet une optimisation remarquable des pratiques médicales radiologiques et des équipements d'examen, (générateurs et tables), sans cependant modifier notablement le constat d'insuffisance selon lequel les radiologues obtenaient d'excellentes radiographies, mais qu'en radioscopie (Fluoroscopy), - l'examen visuel direct sur un écran fluorescent - l'information acquise était de qualité médiocre, par suite de l'insuffisante sensibilité de l'œil humain et son inadaptation à observer cet écran. (Pendant certaines opérations chirurgicales, le radiologue s'enfermait dans un sarcophage placé en aval du patient afin que ses yeux s'accoutument à l'obscurité et puissent observer avec le maximum d'acuité l'image radiologique de niveau crépusculaire, qu'il décrivait oralement à son partenaire chirurgien).

Cependant cette même période voit se développer le principe et de multiples réalisations pratiques en télévision, fondées, pour la prise de vue, sur la détection photoélectrique des images et l'amplification du signal (années 1930-1940) et pour la visualisation sur le tube cathodique à grille modulable. Simultanément les connaissances des propriétés physiologiques et optiques de l'œil se précisent. Il en est de même pour les techniques de l'information et des communications en ce qui concerne en particulier, les notions de bruit et de fluctuation du signal etc. Ces avancées majeures permettent, à l'aube de la seconde guerre mondiale, de définir les structures des dispositifs de détection et d'amplification électronique des images, dont les réalisations les plus marquantes seront les Convertisseurs d'image en infrarouge proche pour l'observation nocturne, et les premières

caméras TV à bas niveau de lumière. (Notons comme avancée remarquable en astronomie, la caméra électronique de A. Lallemand, de l'Observatoire de Paris, en 1936, convertissant l'image lumineuse en image électronique, les électrons de celle-ci venant impressionner une plaque photographique avec une grande efficacité).

Une troisième période (après 1948)

Les premières réalisations d'intensificateur d'image radiologique (J. Coltman 1948) marquent le début d'une troisième période d'une vingtaine d'années, et l'approche électronique de l'imagerie médicale.

Chercheurs et techniciens vont tirer profit des techniques électriques et d'automatisme, et vont ainsi bouleverser ce demi siècle de pratique radiologique par des réalisations concrétisant souvent des propositions anciennes. Inventé dans les années 30 - mais non réalisé - l'Intensificateur d'Image Radiologique est un tube électronique incorporant sur la face d'entrée disposée à proximité du sujet dans le champ de rayonnement X, un écran fluorescent (scintillateur) accolé à une couche photoémissive (photocathode).

IIR - RBV-R1 (1952).



Celle-ci délivre une image électronique homologuée de l'image X incidente, obtenue en sortie du sujet; cette image électronique est transférée avec gain d'énergie vers un second écran luminescent d'observation qui restitue sur la face de sortie du tube intensificateur une image visible beaucoup plus brillante que celle obtenue par impact direct des X sur l'écran d'entrée (d'où le nom souvent donné au tube d'amplificateur de brillance).

Naissance en France de l'intensificateur d'image radiologique de 1^{ère} génération :

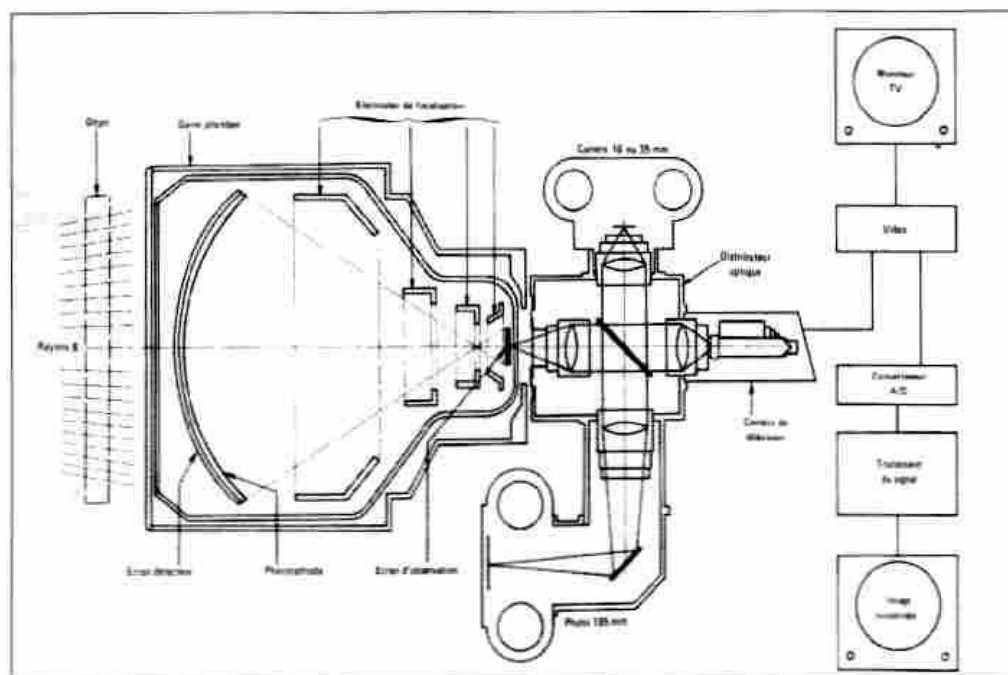
Le 1^{er} tube présenté par Coltman (1948) présentait un gain de luminance de 100, mesuré par rapport à un écran de radiologie de référence (CB2 Patterson, ou LW48 Levy West) utilisé en radioscopie. Il est suivi de réalisations européennes (PHILIPS-SIEMENS). Initié en France par L. Guyot à la société RBV Radio Industrie en 1951, (rue des Orteaux, Paris), un produit commercial est présenté pour la première fois au Congrès de Radiologie d'Europe latine à Rome en 1954, installé sur l'équipement d'observation Lynx des Etablissements Massiot : IIR VB150 de champ utile 11cm, et de gain 800.

A la suite de l'éclatement de RBV-RI, l'activité en intensification d'image radiologique est heureusement poursuivie par rachat de celle-ci, et rattachement en 1956, sur avis de P. Mestre et E. Courtillot, au Département A du Groupement Tubes Electroniques de la Compagnie Française THOMSON HOUSTON, afin notamment d'en faire bénéficier une filiale du groupe, la Compagnie Générale de Radiologie.

Considéré au début, par certains, comme curiosité de laboratoire, l'intensificateur d'image radiologique permet en fait l'observation aisée en direct, à faible dose d'exposition de rayons X, d'une image très lumineuse (jugée bruyante, car, par suite du niveau de brillance disponible, c'est la première fois que les radiologues peuvent découvrir visuellement, en temps réel, la nature quantique des rayons X et leur fluctuation associée, (un seul photon X détecté par l'intensificateur devient visible à l'œil !).

Les conditions d'observation sont cependant peu confortables, car l'œil est "rivé" sur un monoculaire mal commode; le champ de détection utile limité (10-12 cm), et l'axe de travail critique, (avec un patient qu'il faut mécaniquement déplacer par rapport à l'axe source rayons X - tube intensificateur afin de centrer l'organe examiné dans le champ disponible).

Une caméra TV devait pallier ces inconvénients d'ergonomie, mais les premiers essais de caméras à



Structure de l'intensificateur d'image radiologique.

L'évolution technique des produits IIR se poursuit

Des champs d'entrée plus universels

Les caractéristiques des images, très satisfaisantes en TV radioscopique, ne sont pas équivalentes malgré l'amplification, à celles obtenues en radiographie directe, en résolution et uniformité, au prix il est vrai en radiographie directe, d'une dose patient en rayonnement X bien supérieure et d'un coût d'exploitation également supérieur. Le champ d'entrée est notamment insuffisant pour de nombreuses applications. De nouveaux développements d'intensificateurs s'imposent. THOMSON-CSF confirme à l'ICR de Madrid (1973) un IIR de 32 cm (TH 9430), compact, à triple champ, dont l'intérêt en Europe et au Japon est immédiatement perçu par les milieux médical et industriel.

Cette évolution est suivie de l'IIR de 40 cm (TH 9440), annoncé à l'ICR de Rio (1977), et dont la bonne adaptation aux équipements, compte tenu de l'encombrement et du poids de ce produit grand champ, sera présentée au Japon et confirmée à l'ICR de Bruxelles (1981).

La période 1950-1975, par le développement de l'intensification radiologique-TV, a permis une évolution formidable des techniques de diagnostic et d'interventions en radiologie médicale. La vision en temps réel, associée aux enregistrements (film photographique, puis magnétoscope, disque) permet l'essor de la cardiologie, la conduite d'interventions immédiates (en traumatologie, en angiographie des différentes parties du corps, etc.) et sont à la base des techniques d'imagerie interventionnelle aujourd'hui utilisées avec les différentes modalités d'imagerie.

Au début des années 60, pour appuyer l'activité d'exploitation médicale des IIR, et faciliter l'évaluation objective des équipements, CFTH, MACHLETT, PHILIPS, SIEMENS établissent les bases de l'ensemble des définitions, procédures de mesure, recommanda-

tions d'utilisation des Produits intensificateurs, dans le cadre de la Commission Electronique International (ICRU Montreux). Une comité NEMA, d'objectif similaire verra le jour aux USA, avec la participation de THOMSON.

L'imagerie électronique numérisée : les IIR de 4^{ème}, 5^{ème}, 6^{ème} génération

Les opérations de traitement du signal, déjà pratiquées en TV (renforcement de contour, correction de gamma, fenêtrage) vont s'affirmer dans la période suivante de 1975 à nos jours. La numérisation des images et leur traitement, rendus possibles par la disponibilité de processeurs rapides et de mémoires suffisantes, développés, entre autre pour le tomodesitomètre (le "scanner" - Hounsfield 1970), va permettre l'obtention d'une qualité en imagerie de plus en plus performante. Cette tendance nécessite en contre partie un effort incessant d'amélioration des performances de l'intensificateur d'image radiologique (résolution, contraste, facteur de bruit, absence d'artefacts). Ceci est atteint par une évolution continue des technologies d'écrans d'entrée et de sortie, d'optique électronique du tube : ainsi sont introduites successivement de nouvelles générations d'IIR, permettant une interchangeabilité sur équipements sans difficulté majeure avec d'anciens produits.

Table d'Angiographie avec IIR de champ 40 cm (1977)

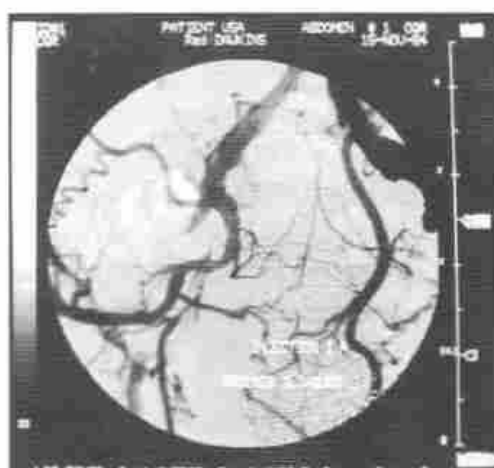


Ce sont les IIR "4^{ème} génération" présentés à l'ICR de Rio (1977), la "Technologie E" (ICR Bruxelles 1981), la "5^{ème} génération" et "Technologie F" (ICR Hawaii 1985). Ces derniers produits supportent des puissances instantanées de doses d'exposition importantes et présentent une efficacité de détection améliorée des X incidents, l'ensemble étant imposé par les techniques numérisées en cardiologie, par les procédures DSA, etc...

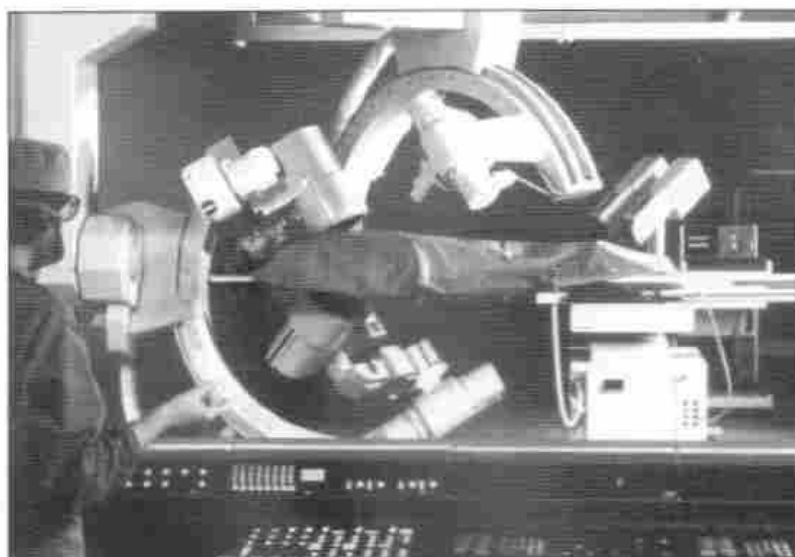
Des développements nombreux sont nécessaires pour permettre à l'équipementier une facilité accrue d'adaptation de ces produits afin de moderniser les leurs. Ce sont les gains d'utilisation client dans lesquelles le tube intensificateur est incorporé qui voient le jour, les alimentations à haute fiabilité fournissant les sources haute tension assurant le zoom électronique : ceci permet de renforcer le service auprès de l'utilisateur. Une avancée technologique marquante d'écrans va permettre l'annonce d'une « 6^{ème} génération - technologie G », présentée par THOMSON-CSF au RSNA (1990) : ces produits à très haute résolution et fort contraste, permettent des graphies photo-numériques de qualité similaires à celle des radiographies directes. Bien évidemment, les méthodes industrielles de production et de diffusion des produits de par le monde, ont dû simultanément évoluer pour permettre de satisfaire en des temps courts la fourniture par milliers

de plusieurs centaines de types de produits développés, voisins de conception, mais néanmoins différents par la spécificité de chacun des équipementiers utilisateurs.

Par une action permanente des équipes de recherche et de développement, à l'écoute des desiderata des constructeurs de matériel, mais également des utilisateurs radiologues, médicaux et industriels, dans tous les pays d'exploitation, c'est à dire pratiquement dans le monde entier, THOMSON-CSF a su opiniâtrément adapter de nouveaux produits au marché, en constituant des lignées d'IIR mécaniquement interchangeables aux produits TH 9410-9420-9430-9440, des années 60.



Imagerie numérique Artériographie



*Equipe radiologique
numérisée pour examen bi-plan
(1980)*

Les applications industrielles et scientifiques ; d'autres projets pour le médical

A côté de l'exploitation en imagerie médicale classique, l'intensificateur d'image est utilisé en radiologie industrielle pour le contrôle non destructif des matériaux et des composants mécaniques (pneumatiques par exemple). Les intensificateurs réalisés doivent parfois fonctionner à des énergies de rayonnement et des doses beaucoup plus élevées qu'en imagerie médicale, ce qui nécessite certaines modifications de structure. (un IIR robuste fut utilisé pour adaptation sur des centrifugeuses, pour l'observation de déplacements d'organes, par exemple).

Des produits de conception et de structures similaires à celles des produits radiologiques ont été réalisés pour des applications scientifiques : citons les intensificateurs à rayons X de faible énergie, (IIR à fenêtre d'entrée en glucinium, envisagé pour la cristallographie, mais également pour la mammographie), ou incorporant un scintillateur d'entrée permettant la détection de neutrons de faible énergie, autorisant l'examen de structures à faible numéro atomique, tels que les matériaux plastiques.

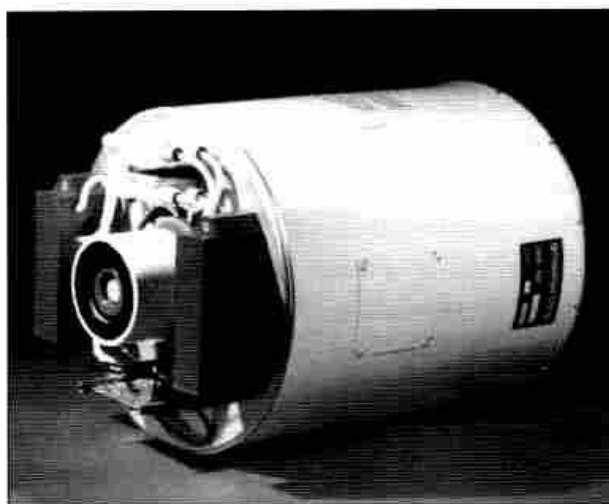
Un développement (hélas sans lendemain), avait conduit dans les années 75 à réaliser un intensificateur de 40 cm de champ pour scintigraphie, avec localisateur, (suite à un tube de 22 cm réalisé quelques années avant).

Ce produit, associant un monocristal de CsI, et une structure IIL, devait permettre d'atteindre une meilleure résolution spatiale et en énergie que la caméra de Anger utilisée en médecine nucléaire (NSS San Francisco).

Les premiers résultats furent encourageants. L'apparition sur le marché du microprocesseur ruina ces espérances en permettant le réglage automatique des nombreux canaux à photomultiplicateurs de cette caméra dont l'instabilité antérieure et la difficulté du réglage manuel avaient suscité ce développement.

La nécessité d'une voie vidéo très performante

La qualité de l'image radiologique dépend en premier lieu de l'IIR qui détermine le facteur de bruit à l'entrée de la chaîne image, mais en couplage TV la qualité globale d'image est fortement conditionnée par la caractéristique de la chaîne TV couplée optiquement.



Intensificateur d'image pour scintigraphie (IIS) de champ 40 cm (1975)

C'est pour cette raison que les IIR multichamps ont été introduits dès 1962 (Guyot Rochester) pour mieux satisfaire aux problèmes de limitation de bande passante.

La chaîne TV a été optimisée en qualité d'image par l'emploi de tubes caméras à haute résolution, certains tubes plus rémanents permettant de minimiser la visibilité du bruit de fluctuation des photons X par intégration d'image, d'autres non rémanents, à très haute résolution (Vidicons et Primicons THOMSON) utilisés en radiologie numérique. Ce n'est cependant que depuis quelques années que l'on trouve sur le marché des caméras au standard de balayage 1000 lignes, pouvant les incorporer et assurer une meilleure qualité de vision à l'observateur, alors qu'un tube intensificateur de 30 ou 40 cm de champ présente dès 1980-1985 au champ nominal plus de 2000 lignes TV. (Néanmoins la qualité des images numérisées, en «mode graphie» comme en «mode scopie» est jugée excellente!).

film, et permettant de plus la détection des images radiologiques aussi bien en mode radiographique qu'en mode radioscopique. La technologie de réalisation utilise entre autres des acquis nombreux développés pour la réalisation des IIR classiques, et des dispositifs à l'état solide développés à TTE.

Après plusieurs voies analysées, les travaux se sont orientés vers la réalisation de structures associant par contact un scintillateur CsI (analogue à celui de l'IIR) avec une matrice de photodiodes en silicium amorphe. Chaque site (pixel) est lu après excitation par un flux de rayons X, soit par une diode, soit par un transistor également réalisé en silicium amorphe hydrogéné. L'importance des investissements d'étude a conduit à rechercher des alliances avec des partenaires du domaine radiologique, permettant ainsi une meilleure vision du futur, dans un contexte international très concurrentiel. Les performances atteintes à ce jour sur des produits non encore commercialisés, mais expérimentés cliniquement laissent à penser que la radiographie électronique grand champ, que le Tube intensificateur d'image a permis d'aborder dans les années 50, se matérialisera dans un avenir très proche avec ce nouveau produit. Le coût de possession de la chaîne complète d'imagerie, et d'exploitation numérique en réseau en sera un élément déterminant. La création de la société TRIXELL (constituée de THOMSON TUBES ELECTRONIQUES, SIEMENS ET PHILIPS), annoncée en mars 97 au Congrès Européen de Radiologie, s'est consolidée par l'utilisation de laboratoires et moyens industriels sur le site de Moirans, dans de nouveaux locaux, investis en 1998. L'annonce des premières réalisations (RSNA 1997 17" x 17" Flat panel X-ray detector for Radiography), est suivi de la présentation du produit Pixium 4600, d'une définition de 3000 x 3000 pixels, d'épaisseur 45 mm.

L'intensificateur d'image classique s'est avéré incontournable en radioscopie médicale et en radiographie numérisée, et permet de travailler avec des doses de rayonnement faibles.

La cassette X électronique, la filiale Trixell

Un développement très important, de plus de 10 années, a été engagé à TTE pour réaliser des imageurs grands champs de faible épaisseur, à l'état solide, visant au remplacement des cassettes classiques à

