

**PREMIER MINISTRE  
COMMISSARIAT A  
L'ÉNERGIE ATOMIQUE**

# **GAMMAGRAPHIE ET TECHNIQUES ANNEXES**

par

**G. COURTOIS**

**Rapport C.E.A. n° 1709**

**CENTRE D'ÉTUDES  
NUCLÉAIRES DE SACLAY**

# GAMMAGRAPHIE ET TECHNIQUES ANNEXES

par G. COURTOIS

Commissariat à l'Énergie Atomique, Centre d'Étude Nucléaires de Saclay (France)

## RÉSUMÉ

*Après présentation de la gammagraphie et de la radiographie, l'auteur compare ces deux techniques, montrant plus particulièrement l'utilité plus grande de la gammagraphie comme outil de chantier.*

*Les problèmes plus particuliers des radioéléments utilisables et des sécurités à prendre sont étudiés. Les figures montrent notamment deux appareils conçus pour la gammagraphie et respectant les normes de sécurité prescrites par la Commission Interministérielle des Radioéléments.*

*Dans une deuxième partie, les techniques annexes de la gammagraphie sont décrites brièvement ; on peut citer : la xéroradiographie, la neutrographie, la fluoroscopie et amplificateur d'image, la tomographie, bêtatrons et accélérateurs linéaires.*

*Quelques considérations d'ordre économique forment la conclusion de cet article.*

## Définition et historique

Le rayonnement X et le rayonnement  $\gamma$  sont semblables : ils possèdent tous deux même nature et mêmes propriétés. Leur différence de dénomination provient de la différence dans le processus d'émission. Les premiers (Rayons X) prennent naissance dans le cortège électronique du noyau de l'atome ; les deuxièmes sont émis par le noyau lui-même.

Si l'on s'en tient à la définition précédente, on comprend qu'il eût été logique d'appeler radiographie toute photographie obtenue à l'aide de rayons X et par contraste gammagraphie, toute photographie obtenue avec un rayonnement  $\gamma$ . En fait, la coutume, qui se veut ici plus pratique que rationnelle, fait que l'on entend par gammagraphie : toute radiographie réalisée à l'aide de radioélément naturel ou artificiel, qu'il soit émetteur  $\gamma$  ou X.

La gammagraphie fut la plus ancienne des applications des radioéléments. Elle fit son apparition en France avec la source de radium que Mme Curie rapporta des États-Unis et donna toute satisfaction aux quelques laboratoires qui eurent le privilège de posséder ce radioélément. Mais le radium est rare et cher et la gammagraphie, ce nouveau perce-muraille, n'aurait guère dépassé le stade de simple curiosité scientifique si l'après-guerre n'avait amené l'utilisation des réacteurs nucléaires,

susceptibles de fournir d'autres éléments radioactifs inconnus dans la nature : les radioéléments artificiels. Le radium se trouva éclipsé par ces derniers, moins coûteux et d'approvisionnement plus facile.

Dès cette apparition, l'industrie se trouva donc nanti de deux outils a priori semblables, radiographie et gammagraphie, et suivant la terrible loi de la concurrence, seul le plus économique des deux devait subsister, à moins que n'apparaissent des possibilités d'utilisation différentes entre les deux techniques.

## Radiographie et gammagraphie

Or, il se trouve que ces deux techniques ont entre elles suffisamment de différence pour pouvoir vivre côte à côte en sœurs amies.

Certes, les avantages de la radiographie sont indiscutables :

1. Les temps de pose nécessaires à l'obtention du cliché sont plus élevés en gammagraphie. De l'ordre de quelques minutes pour la radiographie, ils peuvent atteindre plusieurs heures, voire plusieurs jours pour la gammagraphie.
  2. L'impossibilité de faire cesser le rayonnement d'un émetteur radioactif entraîne un problème de protection plus important pour la gammagraphie : le poste à rayons X peut être stoppé, la source de rayonnement  $\gamma$  doit être stockée.
  3. Enfin, sur un poste à rayons X, la possibilité d'agir, d'une manière continue, sur l'énergie maximum des photons X émis permet d'ajuster au mieux l'énergie de ces photons à l'épaisseur de la pièce à radiographier. Une telle possibilité n'existe pas en gammagraphie où, naturellement, on doit utiliser les quelques photons le plus souvent monoénergétiques émis par les sources de rayonnement. Cette dernière caractéristique est en grande partie responsable du fait que les clichés gammagraphiques sont de qualité inférieure aux clichés radiographiques correspondants.
- Par contre, un avocat de la « défense gammagraphique » mettra en valeur :
1. L'appareillage robuste, de manipulation aisée, permettant la réalisation d'engins facilement transportables.
  2. L'indépendance d'une source de courant électrique.
  3. La possibilité de radiographier plusieurs objets à la fois ou une grande surface (ce que

le technicien appelle irradiation panoramique), la facilité d'introduction de la source de rayonnement dans les endroits d'accès difficile (fig. 1). Dans certains cas, il est



Fig. 1. Gammagraphie de la cuve de la pile EDF2 à l'aide d'un gammatron de capacité 2000 Curies de  $^{60}\text{Co}$ . Photo Decker Saumur, aimablement prêtée par la Société Gamma-Industrie.

possible de propulser la source jusqu'à 15 à 20 mètres au-dessus de la coque de l'appareil de gammagraphie.

4. Les faibles frais d'entretien de l'appareillage et frais d'achat peu élevés des sources. Le remplacement des sources, dû à leur décroissance, s'obtient également à bon marché. Le gain réalisé permet ainsi d'adapter aux moyens des petites entreprises une technique de contrôle jusqu'alors réservée aux grosses firmes.

Les figures 2a et 2b montrent une étude comparative des prix de revient radiographie et gammagraphie. Cette étude due à G. C. Carlstrom (cf. par ex. *Journal de Fonderie*, février 1954, p. 3791) est déjà ancienne. Il est certain que les prix actuels des sources gammagraphiques favorisent encore plus la gammagraphie par rapport à la radiographie.

5. La possibilité de radiographier de fortes épaisseurs de métaux (jusqu'à 20 cm d'acier

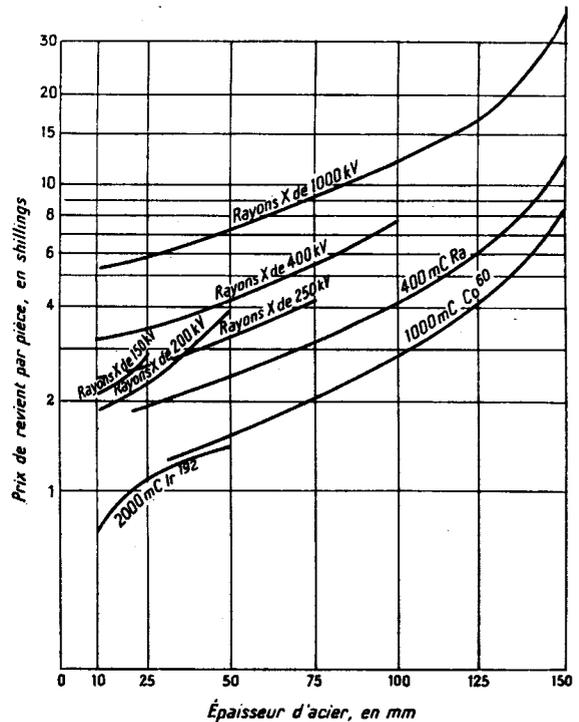
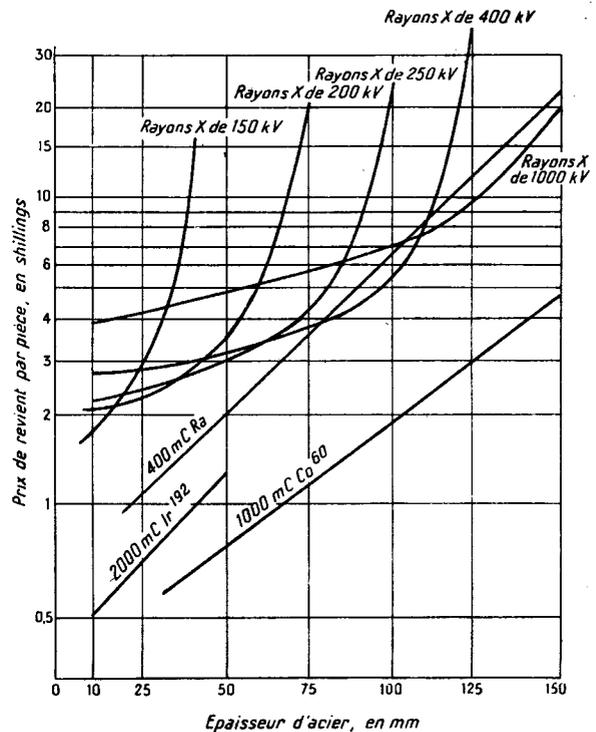


Fig. 2a et b. Etude comparative des prix de revient gammagraphie et radiographie.

Extrait de J. de Fonderie 1954, p. 3791.

2a : Utilisation intermittente de l'installation.

2b : Utilisation en continu de l'installation.



avec une source de  $^{60}\text{Co}$  et guère plus de 1 ou 2 cm avec un poste à rayons X de tension maximale 250 kilovolts).

Bref, la gammagraphie est à la radiographie ce que le char d'assaut est au fantassin : tous deux, gammagraphie et char d'assaut, se caractérisent par un pouvoir de pénétration et une « mobilité d'action » plus élevés.

Les divers points précédents expliquent pourquoi la radiographie est restée avec succès un outil de contrôle en usine, tandis que la gammagraphie a débordé pour s'installer sur le chantier. Elle ne reviendra à l'usine que pour le contrôle de pièces de forte épaisseur (en fonderie notamment) ou d'accessibilité difficile (ponts roulants, tuyauterie d'échangeurs, chaudières, etc.).

### Les émetteurs et la sécurité

L'impossibilité de faire ici un cours de gammagraphie nous oblige à limiter l'exposé à un bref aperçu de deux chapitres essentiels de la gammagraphie : les émetteurs et la sécurité. D'ailleurs, les autres questions essentielles (plan ; contraste, définition et qualité d'image ; calcul des temps de pose <sup>1</sup>, traitement des films, etc.) se traitent de la même manière en radiographie et en gammagraphie, et un personnel déjà rodé aux techniques radiographiques n'éprouve guère de difficultés à passer de l'une à l'autre technique.

#### 1. Les émetteurs

Bien qu'environ 30 radioéléments aient été proposés pour la gammagraphie, seuls 4 d'entre eux sont d'une utilisation courante.

<sup>1</sup> Il existe pour le calcul des temps de pose une règle à calcul que l'on peut se procurer chez Falk and Co. Ltd., 5, Victoria Street, London SW 1.

Le tableau I donne les caractéristiques essentielles de ces éléments. Encore faut-il constater que 95 % des gammagraphies se font à l'aide des deux émetteurs  $^{60}\text{Co}$  et  $^{192}\text{Ir}$ , dédaignant le  $^{137}\text{Cs}$ , qui du haut de ses quelques 30 ans de période, allèche l'éventuel utilisateur. Mais l'industriel est un homme pressé ; il veut travailler vite et, harcelé par la concurrence, il veut travailler bien. Pour travailler vite, il doit utiliser des sources de fortes activités ; pour travailler bien, il doit utiliser des sources de dimensions aussi faibles que possible. Il s'ensuit qu'une « forte activité spécifique » (c'est-à-dire par unité de poids de l'émetteur) est un critère de choix d'une source gammagraphique. Or, les activités spécifiques disponibles en  $^{192}\text{Ir}$  sont considérablement plus élevées que celles obtenues avec le  $^{137}\text{Cs}$ .

Le tableau I montre également une carence d'émetteurs « mous » (c'est-à-dire  $< 100$  Kev.). Certes, le  $^{170}\text{Tm}$  est utilisable, mais outre sa courte période, il possède trop d'autres défauts (possibilités d'impuretés activables, spectres de rayonnement de freinage d'énergie élevée, faibles activités spécifiques) pour qu'il ait réel droit de cité au monde des gammagraphes. Des études sont actuellement en cours pour combler ce vide, et divers émetteurs ( $^{153}\text{Gd}$ ,  $^{153}\text{Sm}$ ,  $^{145}\text{Sm}$ ...) ont été proposés et même utilisés avec succès, entraînant la conception de sources nouvelles particulièrement précieuse en aéronautique et dans le contrôle des fonderies d'alliages légers. La figure 3 présente un type d'utilisation de ces sources au contrôle de zones brasées d'une pale d'hélice, problème qui ne peut être résolu avec succès que par ce procédé.

#### 2. La sécurité

Rayons X et  $\gamma$  sont dangereux. Les physiciens et radiologues qui en usèrent inconsidérément

Tableau I  
Emetteurs utilisés en France

Emetteur	Rayonnement		Période	Domaine courant d'utilisation
	Energie	Proportion		
Cobalt 60	1,17 MeV 1,33 MeV	0,5 0,5	5,3 ans	5 à 12 cm acier
Césium 137	0,66 MeV	—	33 ans	2 à 7 cm acier
Iridium 192	spectre complexe 0,31 MeV 0,84 0,47 MeV 0,14 0,60 MeV 0,02		74 jours	0,5 à 4 cm acier
Thulium 170	0,084 MeV 0,053 MeV + Bremsstrahlung	— —	127 jours	0 à 6 cm d'aluminium

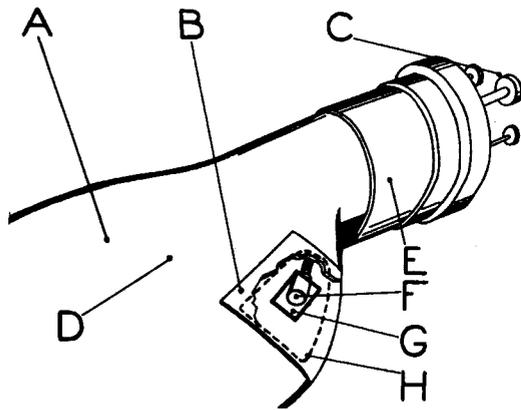


Fig. 3. Exemple de gammagraphie faite avec du  $^{58}\text{Gd}$ , sur une pale d'hélice.

- A = Structure de la pale
- B = Cassette flexible en position à l'extérieur
- C = Mécanisme de positionnement
- D = Pale d'hélice
- E = Attache de la pale
- F = Source en position d'exposition
- G = Position du pénétromètre à l'intérieur
- H = Région radiographie

Extract of J. of Nondestructive Testing, Nov. Dec. 1960, p. 385.

ne sont pas des exemples à suivre. Ce danger, mieux connu de nos jours, ne doit pas être sur-estimé, ni sous-estimé.

En dehors des normes internationales de sécurité<sup>2</sup>, valables dans toute application de radioélément ou d'appareillage émetteur de rayonnement dangereux, la Commission Interministérielle des Radioéléments a, en France.

décidé des conditions particulières d'emploi des radioéléments en gammagraphie<sup>3</sup>, auxquelles doit se conformer tout utilisateur de cette technique.

Outre ces conditions, le constructeur d'appareils de gammagraphie doit résoudre un problème d'ordre le plus souvent mécanique qui se pose ainsi :

« Pouvoir à tout instant manipuler, sans danger, une source de rayons  $\gamma$  de plusieurs curies, pour lui faire adopter une position d'utilisation absolument quelconque dans l'espace. Pouvoir faire irradier cette source aussi bien dans un angle solide déterminé (exposition dirigée) que dans tout l'espace (exposition panoramique). Pouvoir stocker cette source lors de sa non-utilisation dans un appareil portatif. Concevoir cet appareil de façon à ce qu'il ne puisse être utilisé que par un nombre restreint de personnes averties. Enfin, avoir la possibilité, lorsque la source a décréu, de la changer contre une neuve, sans irradiation excessive des manipulateurs ».

Ce problème délicat et le respect des conditions précédentes aboutissent à la construction, par des firmes spécialisées, d'un appareillage conçu le plus souvent avec beaucoup de conscience professionnelle et d'ingéniosité. Les figures 4 et 5 représentent deux appareils de gammagraphie dont l'un est plus particulièrement conçu pour radiographier les soudures de pipe-line.

<sup>2</sup> Cf. par ex. Manuel de protection contre les radiations dans l'industrie, Bureau International du Travail, Genève, 1959.

<sup>3</sup> Code de la Santé publique, art. 5235 § 4 et 5237 § 2 et 3.



Fig. 4. Appareil de gammagraphie (projecteur G 1700) destiné à l'utilisation de source  $^{60}\text{Co}$ . Photo de la Société SIAR.



Fig. 5. Appareil de gammagraphie destiné aux contrôles de soudures sur pipe-line.  
Photo Gamma-Industrie.

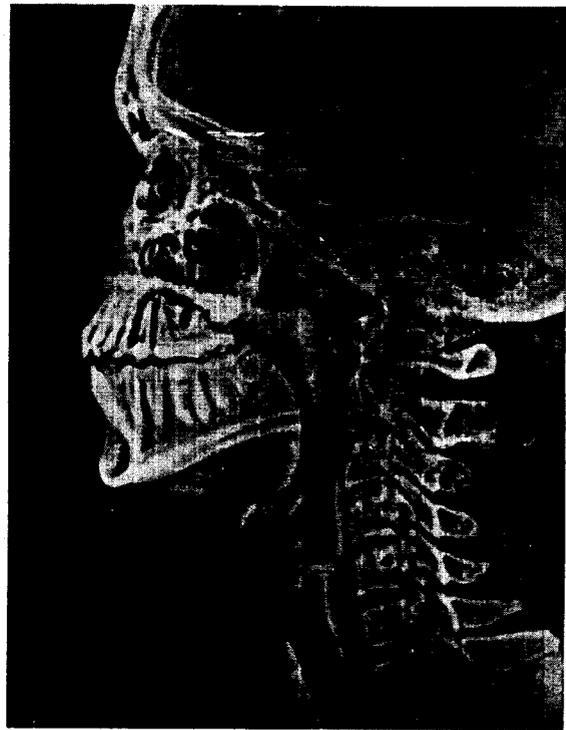


Fig. 6. Xéroradiographie d'une tête.

### Techniques spéciales

Radiographie et gammagraphie sont les moyens les plus classiques de contrôle non destructif. Cependant, des techniques voisines sont parfois utilisées; nous n'en présentons ici que les principales, ne donnant d'ailleurs pour chacune que la définition et les caractéristiques essentielles; la bibliographie qui suit donne une référence pour chacune de ces techniques permettant au lecteur intéressé de compléter les très élémentaires notions qui sont données ici.

#### 1. Xéroradiographie

Elle utilise comme détecteur non plus une plaque photographique, mais une plaque semi-conductrice (selenium amorphe en général) chargée uniformément par influence. Le rayonnement traversant la pièce à examiner décharge la plaque et, à la fin du temps d'exposition, une image électrostatique latente existe sur le semi-conducteur. Pour révéler cette image, on saupoudre la plaque d'une fine poussière chargée de signe contraire à celui du semi-conducteur. Cette technique évite le développement (obtention d'une image une minute après la fin de l'exposition) et évite également le stockage des films, la même plaque pouvant servir plusieurs centaines de fois (cf. fig. 6).

#### 2. Neutrographie

Si l'on utilise une source de neutrons, à la place de source X ou  $\gamma$ , la radiographie prend alors le nom de neutrographie.

La source de neutrons peut être soit :

- un réacteur nucléaire
- une source de radioéléments (sources radium-beryllium, plutonium-beryllium, polonium-beryllium ou antimoine-beryllium)
- un accélérateur de neutrons (ici un radioélément, le tritium, intervient en tant que constituant de la cible)

Les avantages d'une telle technique sont :

- possibilité de radiographier des pièces constituées de métaux de nature très différente (par exemple, gainage en alliage léger de barres d'uranium)
- possibilité d'étudier la répartition de certains corps de faible numéro atomique (H, B, Li) dans un milieu absorbant fortement le rayonnement électromagnétique X ou  $\gamma$
- possibilités de radiographier de fortes épaisseurs de métaux.

Les plaques photographiques étant très peu sensibles aux neutrons, la technique la plus couramment utilisée consiste à déposer sous la pièce à radiographier un film d'or qui s'active sous l'action des neutrons. Ce film est alors déposé sur une plaque photographique (technique appelée auto-radiographie).

### 3. Fluoroscopie et amplificateur d'image

La fluoroscopie (terme industriel pour radioscopie) consiste à exciter la fluorescence d'un écran enduit d'une composition spéciale (tungstate de calcium) ou, mieux, d'un cristal de grande taille.

Malheureusement, la fluoroscopie nécessite l'obtention d'un flux photonique intense, et donc de sources de rayonnement  $\gamma$  de très fortes activités. D'autre part, les qualités d'images sont faibles.

Ainsi utilise-t-on le plus souvent un intensificateur d'image, dans lequel les photons de l'écran fluorescent libèrent des électrons d'une photocathode. Ces électrons sont focalisés à l'aide d'un champ intense (par une tension de 20 à 25 kV) sur un deuxième écran fluorescent. Les réductions optiques sont de l'ordre de 10 pour une amplification totale de brillance de l'ordre de 1000.

Il est bon de noter que ces techniques sont plus utilisées avec des postes à rayons X et des bétatrons, ou des accélérateurs linéaires, qu'avec des radioéléments (cf. fig. 7 pour le schéma de principe d'un amplificateur d'image).

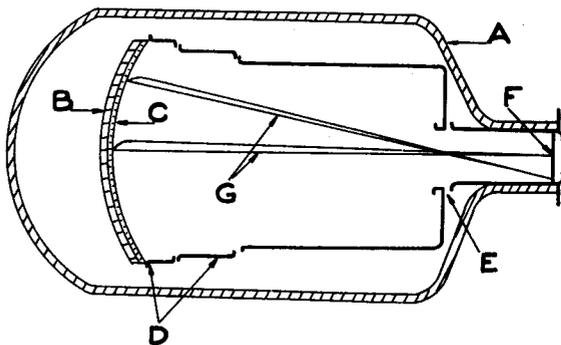


Fig. 7. Schéma de principe d'un amplificateur d'image.

- A = Enveloppe en verre
- B = Ecran fluorescent
- C = Photocathode
- D = Lentilles auxiliaires
- E = Lentille principale
- F = Ecran fluorescent arrière
- G = Trajectoire type des électrons

### 4. Tomographie

La tomographie est une technique radiographique, développée initialement à des fins médicales, dans laquelle les mouvements relatifs du film, de la source et de l'objet sont étudiés de sorte qu'une section bien définie de l'objet soit enregistrée d'une façon nette en surimpression sur un fond diffus dû au reste de l'objet (cf. fig. 8 pour le principe).

On considère que l'emploi de la tomographie est particulièrement efficace pour l'examen d'assemblages dans lesquels l'objet à examiner

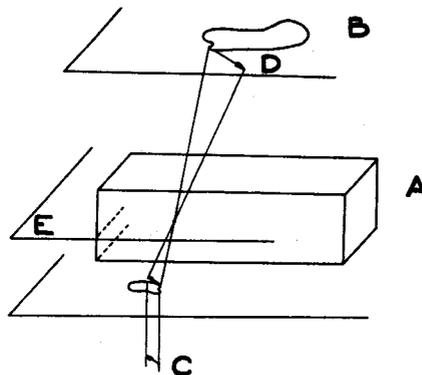


Fig. 8. Schéma de principe de la tomographie.

- A = Pièce à examiner fixe
- B = Trajectoire de la source
- C = Vecteur de translation instantanée du film
- D = Vecteur de la vitesse de la source
- E = Plan favorisé

est masqué par des objets voisins de même nature (tuyaux d'échangeurs de températures).

### 5. Bétatrons et accélérateurs linéaires

Les accélérateurs de particules fournissent un moyen d'avoir un rayonnement X de forte énergie (plusieurs Mev), donc à fort pouvoir de pénétration.

Certes, l'équipement qui en résulte est encombrant et coûteux, il nécessite une source d'alimentation électrique puissante et la souplesse d'utilisation est relativement faible, mais les excellentes qualités d'images obtenues pour les fortes épaisseurs ouvrent des possibilités nouvelles pour la radiographie des pièces épaisses.

La figure 9 représente le Bétatron portatif utilisé en France par le L.C.I.E.

### Conclusion

Etant la plus ancienne des applications de radioéléments, la gammagraphie n'évolue pas aussi vite que durant l'apparition des premiers réacteurs nucléaires. Néanmoins, elle est toujours en progrès. Ainsi, les travaux de recherches sont conduits par des sociétés nationales ou privées (Centre Technique des Industries de la Fonderie, Laboratoires Centraux des Constructions et Armes Navales, Institut National de la Soudure, Gaz de France, etc.), travaux dont bénéficient les utilisateurs. D'autre part, il est normal de compter sur les progrès des sciences nucléaires, susceptibles d'amener sur le marché mondial de nouvelles sources gammagraphiques ( $^{241}\text{Am}$  de 470 ans de période, par exemple) à des prix moindres. Il semble à peu près certain que le rapport prix de revient gammagraphie/prix de revient radiographie ne puisse aller qu'en diminuant.

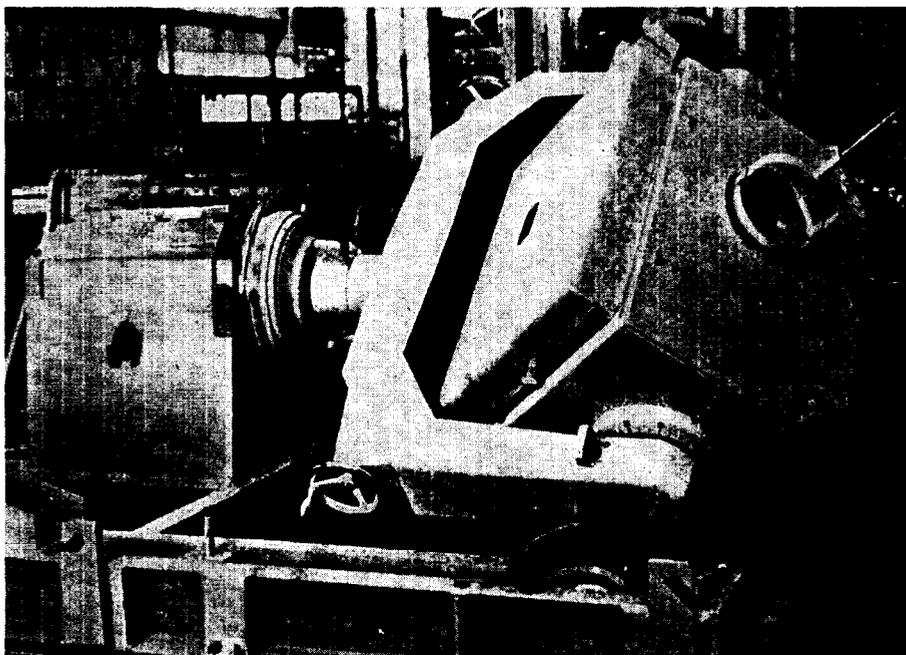


Fig. 9. Bétatron mobile LCIE. Vue montrant l'orientation de l'émetteur dans une direction quelconque, grâce à sa rotation sur une fourche orientable.

Photo extraite du Bulletin No 26 (mars 1960) du Laboratoire Central des Industries Electriques.

Ces perspectives d'avenir permettent d'affirmer que la gammagraphie sera bientôt dotée d'outils nouveaux permettant d'envisager un accroissement des possibilités de cette technique.

#### BIBLIOGRAPHIE

Note : Une bibliographie complète des articles sur la gammagraphie est impossible à donner. Ce sont, soit des articles de vulgarisation comme celui qui vient d'être écrit, soit des articles s'adressant à des spécialistes et qui sortent du cadre de cet exposé. Nous nous limiterons donc à citer quelques ouvrages spécialisés traitant d'une façon assez complète de la technique envisagée.

Blondel A. : Le contrôle non destructif par gammagraphie. Ed. Dunod, 1959.

Anonyme : Radiography in modern industry. Eastman Kodak Company, Rochester 4, N. Y., 1957.

Mc Master R. C. : Non destructive testing Handbook. The Ronald Press Company, N. Y., 1959.

#### Références concernant les « techniques spéciales »

1. *Xéroradiographie*, W. D. Oliphant. Xerography Research, nov. 1956, TR. C.E.A. No B 86.
2. *Neutrographie*, J. Thewlis. Neutron Radiography. British Journal Applied Physics. Vol. 7, No 10, oct. 1956, p. 345—350.
3. *Fluoroscopie et amplificateur d'images*, W. Luckcrath, K. Fink et R. Flossmann. Durchstrahlen von heissen Blöcken aus Stahl mit einem Betatron und Sichtbarmachen des Durchstrahlungsbildes mit einem Röntgenbildverstärker und einer Fernscheinrichtung. Stahl und Eisen 789, 1637. 1959, No 22.
4. *Tomographie*, D. Charles. Tomograph for industrial radiography, Journal of Scientific Instruments, Vol. 37, 06 38, August 1960, p. 257.
5. *Bétatrons et accélérateurs linéaires*, G. Chanty et E. Mencarelli. Qualité d'image obtenue en radiographie des fortes épaisseurs d'acier avec des rayonnements de grande énergie, Revue de Métallurgie, L V, No 3, 1958, p. 218—225.