

**EUR 4292 f**

**COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES**

**ÉTUDE DES ASPECTS RADIOLOGIQUES  
LIÉS A LA FABRICATION ET A L'UTILISATION  
DE PARATONNERRES RADIOACTIFS**

par

**J. DELHOVE**

(Controlatom)

**LIBRARY**  
EUROPEAN COMMUNITY  
INFORMATION SERVICE  
WASHINGTON, D. C.

1970



Rapport établi par **CONTROLATOM a.s.b.l.**

Association pour le contrôle des applications de l'énergie atomique  
(Controlatom)

Bruxelles (Belgique)

Contrat EURATOM N° 035-67-7 PSTB

## AVERTISSEMENT

Le présent document a été élaboré sous les auspices de la Commission des Communautés Européennes.

Il est précisé que la Commission des Communautés Européennes, ses contractants, ou toute personne agissant en leur nom :

ne garantissent pas l'exactitude ou le caractère complet des informations contenues dans ce document, ni que l'utilisation d'une information, d'un équipement, d'une méthode ou d'un procédé quelconque décrits dans le présent document ne porte pas atteinte à des droits privés;

n'assument aucune responsabilité pour les dommages qui pourraient résulter de l'utilisation d'informations, d'équipements, de méthodes ou procédés décrits dans le présent document.

Ce rapport est vendu dans les bureaux de vente indiqués en 4<sup>e</sup> page de couverture

au prix de FF 9,—	FB 100,—	DM 7,—	Lit. 1250	Fl. 7,25
-------------------	----------	--------	-----------	----------

Prière de mentionner, lors de toute commande, le numéro EUR et le titre qui figurent sur la couverture de chaque rapport.

Imprimé par Snoeck-Ducaju et Fils

Bruxelles, janvier 1970

**EUR 4292 f**

**COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES**

**ÉTUDE DES ASPECTS RADIOLOGIQUES  
LIÉS A LA FABRICATION ET A L'UTILISATION  
DE PARATONNERRES RADIOACTIFS**

par

**J. DELHOVE**

**EUR 4292 f**

**A STUDY OF THE RADIOLOGICAL ASPECTS OF THE MANUFACTURE  
AND USE OF RADIOACTIVE LIGHTNING CONDUCTORS by J. DELHOVE  
(Controlatom)**

European Atomic Energy Community - EURATOM  
Report prepared by Controlatom s.a.b.l.

Association pour le contrôle des applications de l'énergie atomique - Brussels  
(Belgium)

Euratom Contract No. 035-67-7 PSTB  
Brussels, January 1970 - 76 Pages - 47 Figures - BF 100

The Report gives an outline of the development of radioactive lightning  
conductors. An investigation showed that they are in fairly common use in se-

**EUR 4292 f**

**A STUDY OF THE RADIOLOGICAL ASPECTS OF THE MANUFACTURE  
AND USE OF RADIOACTIVE LIGHTNING CONDUCTORS by J. DELHOVE  
(Controlatom)**

European Atomic Energy Community - EURATOM  
Report prepared by Controlatom s.a.b.l.

Association pour le contrôle des applications de l'énergie atomique - Brussels  
(Belgium)

Euratom Contract No. 035-67-7 PSTB  
Bruxelles, janvier 1970 - 76 pages - 47 figures - FB 100

The Report gives an outline of the development of radioactive lightning  
conductors. An investigation showed that they are in fairly common use in se-

omique

## RESUME

Le rapport fait l'histoire des paratonnerres radioactifs. Une enquête sur leur utilisation a montré que celle-ci était relativement fréquente dans plusieurs pays de la Communauté; sur huit fabricants répertoriés, six se trouvent en France, Belgique et Italie. Les différents modèles produits sont décrits.

Les risques radiologiques liés à leur fabrication et leur utilisation sont présentés. Sur une dizaine de modèles, neufs ou usagés, on a mesuré le champ de rayonnement et la résistance des matières radioactives aux intempéries.

Quelques incidents illustratifs ainsi que des aspects particuliers de la législation des pays de la Communauté de même que du Royaume-Uni sont passés en revue.

## MOTS CLÉS

LIGHTNING ARRESTER  
RADIOISOTOPES  
FABRICATION  
HAZARDS  
RADIOACTIVITY  
ACCIDENTS  
LEGAL ASPECTS

## TABLE DES MATIERES

PREFACE . . . . .	4
1. INTRODUCTION . . . . .	5
2. SITUATION DU MARCHÉ DES PARATONNERRES RADIOACTIFS . . . . .	6
2.1. Fabricants . . . . .	6
2.2. Nombre d'installations en service . . . . .	6
3. TECHNIQUES DE FABRICATION . . . . .	7
4. EVALUATION THEORIQUE DU RISQUE RADIOLOGIQUE . . . . .	8
4.1. Risques liés à la fabrication et à la manutention . . . . .	8
4.2. Risques liés à l'utilisation de paratonnerres radioactifs . . . . .	9
5. MESURES RADIOLOGIQUES . . . . .	10
5.1. Mesures de rayonnement . . . . .	10
5.2. Mesure de la dispersion des matières radioactives . . . . .	10
6. INSTALLATIONS EN SERVICE — INCIDENTS . . . . .	12
7. LEGISLATION — APPLICATIONS PARTICULIERES . . . . .	14
7.1. Directives de la Communauté Européenne . . . . .	14
7.2. Législation dans les pays de la Communauté . . . . .	14
7.3. Autres pays . . . . .	15
8. RESUME ET CONCLUSIONS . . . . .	15
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	16
Annexe I: Fabricants et caractéristiques des sources . . . . .	18
Annexe II: Méthodes de mesure et résultats . . . . .	22
Annexe III: Calcul des doses externes . . . . .	28
Illustrations . . . . .	30-76

## PREFACE

Les paratonnerres munis de sources radioactives représentent l'un des plus anciens domaines d'application de la radioactivité; en effet, vingt ans à peine après la découverte de la radioactivité naturelle par Becquerel, les premiers paratonnerres radioactifs ont été conçus. Suivant une technologie empirique, ils ont jusqu'à ce jour été perfectionnés et mis sur le marché, encore que dans une mesure variable selon les pays.

Au vu des nombreuses études entreprises au cours des dernières décennies pour se faire une idée de l'exposition de la population aux rayonnements ionisants, il est normal que l'on se rende compte des aspects de protection sanitaire liés à un tel emploi de radionucléides et laissés quelque peu dans l'oubli.

La présente étude élaborée par M. Delhove, de Controlatom, à la demande de la direction de la Protection sanitaire, comblera sans doute certaines lacunes quant à la connaissance de l'exposition de la population et donnera une idée des risques que la fabrication et l'utilisation de paratonnerres radioactifs peuvent comporter. A ce titre, elle attirera certainement l'attention aussi bien des producteurs de paratonnerres radioactifs que des autorités compétentes de qui relève le contrôle de telles installations.

Dr. P. RECHT

# Étude des aspects radiologiques liés à la fabrication et à l'utilisation des paratonnerres radioactifs \*

## 1. INTRODUCTION

La découverte de la radioactivité par Becquerel à la fin du siècle dernier et les travaux de Pierre et Marie Curie, parvenant à séparer des quantités importantes de sel de radium, ont été à l'origine des recherches sur la nature et les propriétés des nouvelles substances et de leurs rayonnements.

Depuis cette époque, d'innombrables applications médicales et industrielles du radium ont vu le jour; certaines sont encore en usage telles que la curiethérapie, les peintures lumineuses, etc.

Le paratonnerre radioactif a été inventé en 1914 par Szillard, physicien hongrois, à cette époque collaborateur de Marie Curie [1]. Celui-ci le décrit comme un disque recouvert d'un émail contenant le sel de radium placé à proximité de la tige métallique du paratonnerre. Il soutient que l'ionisation de l'air produite par les rayonnements du radium renforce l'« Effet de Pointe » du paratonnerre de Franklin.

En 1932, le professeur G.P. Capart reprend les travaux de Szillard et fait breveter en France et aux Etats-Unis un paratonnerre radioactif muni d'un « excitateur électrostatique » [2].

La société française « Helita » s'intéresse à l'invention et, dès cette époque, fabrique et vend ces paratonnerres sous le nom commercial « Helita ». Différents modèles sont successivement développés par la firme [5, 11].

En 1947, les brevets pris en Belgique par Noël Capart, décrivent un paratonnerre muni d'un excitateur magnétique [3, 4]. Ces paratonnerres sont fabriqués en Belgique à partir de 1950. Une société « Kapton » est fondée en 1952 pour poursuivre l'exploitation commerciale du brevet. Les paratonnerres « Kapton » sont également fabriqués en France à partir de 1955 par la Société Milde. La société « Kapton » cesse pratiquement son activité vers 1960.

Sur la lancée commerciale du « Kapton », deux nouveaux paratonnerres sont fabriqués en Belgique; l'un par Madame Horemans-Souply sous son propre nom [9, 10], l'autre par la société « Paratonnerres W. Van Droogenbroeck » sous le nom de « Combinator » [16].

---

\* Manuscrit reçu le 5 mai 1969.

En 1952, Alphonse Capart prend également un brevet pour un paratonnerre [6]. Celui-ci est fabriqué en France et en Belgique sous le nom commercial de « Preventor » [18]. La diffusion est assurée dans ces deux pays et en Angleterre.

En 1957, deux types de paratonnerres sont brevetés en Italie. L. Donelli prend un brevet pour un paratonnerre radioactif [7], commercialisé sous le nom « EF » par la société Saref. La fabrication est assurée par la société General Protection du Liechtenstein. La Société Protector fait breveter [8] et commercialise un paratonnerre radioactif sous ce nom.

En 1966, la Société « General Protection » déjà nommée, prend un brevet pour l'utilisation de sources d'américium-241 [12]

Plus récemment sont apparus, en France, un paratonnerre « Parasphère Messien » et, en Espagne, un paratonnerre « Ionocaptor ».

Les paratonnerres radioactifs représentent une application ancienne des radioéléments, jugée a priori peu dangereuse par les promoteurs. Le développement de cette activité s'est fait, en grande partie, antérieurement aux diverses réglementations en matière de protection et une certaine hésitation apparaît quant au respect des obligations légales.

Les paratonnerres radioactifs sont tout particulièrement fabriqués et utilisés dans les pays de la Communauté. Ce rapport, établi à la demande de la Commission des Communautés Européennes, procède à une évaluation de l'importance du risque radiologique basée sur le nombre d'appareils, l'environnement et l'exposition des personnes.

Les directives de l'EURATOM en matière de radioprotection et les dispositions légales des pays sont examinées du point de vue de la fabrication, de l'importation, de la distribution et de l'utilisation des paratonnerres radioactifs.

Le rapport n'aborde pas l'étude du fonctionnement et de l'efficacité du paratonnerre radioactif.

## **2. SITUATION DU MARCHÉ DES PARATONNERRES RADIOACTIFS**

### **2.1. Fabricants**

Notre enquête a dénombré huit fabricants de paratonnerres radioactifs actuellement en activité et répartis dans quatre pays.

Pour la Communauté Européenne, on compte deux fabricants en Belgique, trois fabricants en France et un fabricant en Italie.

En dehors de la Communauté, on note un seul fabricant en Espagne, et un au Liechtenstein; l'Angleterre, la Suède, la Suisse et les Etats-Unis, n'auraient pas de fabricant [23 - 25].

Les renseignements détaillés concernant les fabricants, les distributeurs ainsi que les modèles fabriqués sont consignés dans l'Annexe I.

### **2.2. Nombre d'installations en service**

Le recensement des utilisateurs de paratonnerres radioactifs risque d'être fort incomplet étant donné la dispersion des applications: bâtiments publics, buildings, usines, entrepôts, dépôts, gares, églises, châteaux d'eau, châteaux, villas, fermes, etc., et le manque d'information des utilisateurs. A titre d'exemple, l'enquête réalisée pour le Commissariat



à l'Énergie Atomique \* en France en 1966 sur les applications des radioisotopes n'a fait apparaître que cinq utilisateurs de paratonnerres radioactifs et cent soixante dix installations [13].

Nous nous sommes donc référés aux listes d'installations communiquées par les fabricants, renseignements qui peuvent être aisément vérifiés.

En France, un fabricant donne plus de 3.000 adresses d'utilisateurs; certaines références couvrent un très grand nombre d'appareils dont le total n'est pas cité, par exemple: pylones des lignes électrifiées Paris-Chartres; Angers-Nantes [14].

Certaines installations ne sont pas reprises dans la brochure ou sont postérieures, par exemple: ligne électrifiée Lyon-Marseille, etc.

En Belgique, nous dénombrons plus de huit cents installations pour trois fabricants [13 - 15].

Aux Pays-Bas, cinquante installations sont citées par un fabricant [14].

Parmi les autres pays de la Communauté, des paratonnerres radioactifs sont installés, dans une moindre mesure, en Italie, au Grand-Duché de Luxembourg, en Allemagne.

En dehors de la Communauté, les paratonnerres sont installés en Angleterre, en Espagne, au Portugal, en Grèce. Leur diffusion s'étend également à l'Afrique, à l'Asie, à l'Amérique du Sud. Il n'y aurait pas ou peu d'applications en Suisse, en Suède et aux États-Unis [23 - 25].

En conclusion, nous estimons entre 5.000 et 10.000 le nombre d'installations dans les pays de la Communauté. Aucune estimation n'est faite en ce qui concerne le nombre en dehors de la Communauté; toutefois il semble limité.

### 3. TECHNIQUES DE FABRICATION

Nous n'abordons pas la description des éléments constitutifs conventionnels du paratonnerre et ne considérons que la partie radioactive.

La matière radioactive est disposée en-dessous de la pointe du paratonnerre sur un support ayant la forme d'un disque, d'une calotte ou d'une couronne. Des petites sources sont parfois disposées en bout de tiges secondaires (aigrettes).

La substance radioactive utilisée est en général un sel de radium, sulfate ou carbonate; l'américium-241 est également employé par un fabricant.

Plusieurs techniques sont utilisées pour le conditionnement de la source.

La première technique consiste à incorporer le sel de radium dans un émail. Le mélange est déposé sur un support en porcelaine vitrifiée (fig. 1) et cuit au four à haute température. L'activité incorporée varie entre 0,3 et 0,9 millicurie par calotte selon les modèles. Un autre fabricant a utilisé un support en tôle émaillée au lieu de porcelaine (fig. 2) mais cette variante n'est plus fabriquée.

La seconde technique consiste à mélanger le sel de radium à de la poudre de métal noble (or ou argent). La poudre est ensuite comprimée à 900° C dans une matrice d'argent.

\* Enquête par « L'atome industriel » (D. Benchetrit et H. Cohen).

La surface active est protégée par une feuille d'argent et une feuille de platine minces (fig. 3) [26a]. Les sources sont fabriquées sous forme de rubans aux Etats-Unis par la U.S. Radium Corporation sous le nom « Ionotron » et en Angleterre par le Radiochemical Center à Amersham sous le code RAM [26]. Les activités sont, par exemple, de 48 à 60 microcuries par centimètre courant pour le RAM 7. Les rubans sont découpés à longueur voulue par le fabricant de paratonnerres et fixés sur le support, soit:

- par agrafes (fig. 3a),
- par mâchoires pincées (fig. 3b),
- par un cadre vissé sur le support (fig. 3c),
- entre une tige et un anneau de serrage (fig. 29).

## 4. EVALUATION THEORIQUE DU RISQUE RADIOLOGIQUE

### 4.1. Risques liés à la fabrication et à la manutention

#### 4.1.1. Rayonnement externe

Les travailleurs affectés à la fabrication et à la manutention des paratonnerres radioactifs sont susceptibles de recevoir des doses de rayonnement externe non négligeables. On prendra particulièrement en considération les doses au corps entier, les doses au visage, c'est-à-dire pour les organes critiques tels que le cristallin de l'œil et la peau ainsi que les doses aux mains des travailleurs.

Pour fixer un ordre de grandeur, un travailleur occupé 40 heures par semaine à 0,5 mètre d'une source de 1 millicurie de radium avec les mains à 15 cm de la source recevrait par semaine (voir annexe III.1.):

Dose \* gamma au corps: 156 mrem.  
Dose gamma au cristallin: 156 mrem.  
Dose gamma aux mains: 1.850 mrem.  
Dose bêta au cristallin (sous 300 mg/cm<sup>2</sup>): 1.000 mrem.  
Dose bêta à la peau du visage: 8.620 mrem.  
Dose bêta aux mains: 96.000 mrem.

Le personnel affecté régulièrement à des travaux avec les paratonnerres radioactifs devra donc être considéré comme professionnellement exposé eu égard aux doses susceptibles d'être reçues. Les dispositions habituellement prises pour le travail avec des sources radioactives scellées lui seront appliquées de manière à respecter les Doses Maximales Admissibles fixées par les normes Euratom.

L'utilisation d'américium-241 réduit sensiblement le risque d'irradiation externe par suite du faible rayonnement gamma et de l'absence de rayonnement bêta [29] (voir annexe III.2).

#### 4.1.2. Risque d'irradiation interne

La préparation des sources, dans le cas d'un émail, présente un risque particulier

\* Plus exactement l'«Equivalent de dose». Le terme «Dose» sera systématiquement utilisé dans ce rapport.

d'inhalation de poussières radioactives ou d'ingestion pendant la manipulation de la substance radioactive: mélange de la poudre, malaxage, peinture.

Des quantités infimes de radium sous forme de fines particules dispersées dans l'air présentent déjà un risque considérable pour le travailleur puisque la quantité maximale admissible dans le corps humain est de  $0,1 \mu\text{C}$  (ou  $0,1 \mu\text{g}$ ) [30] soit, dans l'hypothèse avancée au point 4.1.1., un dix millième de l'activité manipulée.

L'inhalation de radon et de ses descendants solides doit également être prise en considération pour l'estimation du risque.

Des installations particulières: hottes ventilées, boîtes à gants, un contrôle physique et médical des activités, etc., sont nécessaires pour éliminer le risque. Ces techniques sont couramment utilisées.

Après que le radium a été fixé soit sous forme d'émail, soit sous forme frittée, les risques sont sensiblement réduits; le risque de dispersion accidentelle de substances, bien que faible, ne peut être totalement exclu et justifie la mise en œuvre d'une ventilation suffisante, de mesures d'hygiène, d'un contrôle physique, etc.

## 4.2. Risques liés à l'utilisation de paratonnerres radioactifs

### 4.2.1. Irradiation externe

Lorsque le paratonnerre est monté sur son mât, la distance entre la source et la population avoisinante est, en général, suffisante pour réduire la dose à des valeurs largement admissibles. Dans l'exemple d'une source de 1 millicurie, la dose au-delà de 5 mètres tombe rapidement en-dessous de 6,7 mrem par semaine de 168 heures, soit à des valeurs acceptables, or les valeurs mesurées en pratique sont encore plus faibles. Cependant, en cas de démontage, de chute, etc., des personnes de la population peuvent s'exposer pendant des temps plus longs à faible distance du paratonnerre. La dose gamma au corps d'une personne séjournant à 0,5 mètre de la source 40 heures par semaine atteint 156 mrem par semaine; la dose bêta au visage, dans les mêmes conditions, atteint 8.620 mrem. Les doses susceptibles d'être reçues, dans des cas plus défavorables, dépasseraient fort largement les normes admissibles pour la population et peuvent constituer un risque non négligeable pour ces personnes.

### 4.2.2. Irradiation interne

Pour autant que la substance radioactive reste emprisonnée indéfiniment dans l'émail ou le ruban, il n'y aura pas de risque de pollution de l'air et des surfaces environnantes. Cependant, sous une action extérieure: pluie gel, chaleur, oxydation, corrosion par des vapeurs industrielles, chocs, etc., la structure du matériau peut être affectée et produire un relâchement de substance radioactive. Ce point est plus particulièrement examiné au chapitre 5.2.

Le démontage et la destruction mécanique ou par le feu de la source pourraient avoir des conséquences encore plus graves. On ne peut totalement exclure la possibilité de fixer dans l'organisme une fraction de l'activité des sources, ce qui pourrait provoquer un dépassement des charges corporelles admissibles.

## 5. MESURES RADIOLOGIQUES

### 5.1. Mesures de rayonnement

Des mesures ont été effectuées en laboratoire sur une dizaine de modèles de paratonnerres neufs ou usagés en notre possession. La mesure est faite en rayonnement gamma, bêta et alpha.

#### 5.1.1. *Mesure du rayonnement bêta et gamma*

L'intensité de rayonnement bêta et gamma est mesurée à différentes distances et dans différentes directions autour de chaque paratonnerre.

Les appareils de mesure utilisés pour couvrir toute la gamme de sensibilité sont: une chambre d'ionisation et électronique associée (Victoreen 444), un compteur Geiger (Victoreen I B 85) et échelle de comptage Vemi Electronics, une sonde scintillateur NaI et échelle comme ci-dessus.

#### *Résultats et commentaires*

Les résultats des mesures sont consignés à l'annexe II.

Les activités nominales sont données par le fabricant pour les paratonnerres 1, 2 et 3 U. L'activité gamma mesurée est sensiblement plus faible que l'activité nominale, ceci aussi bien pour les calottes non usagées — 0,03 millicurie pour 0,3 millicurie nominal — que pour la calotte usagée — 0,2 à 0,3 millicurie pour 0,9 millicurie nominal.

Pour les paratonnerres 4 et 5, l'activité gamma apparente est respectivement de 0,8 et 0,4 millicurie. Pour le paratonnerre 6, l'activité apparente est de 0,3 millicurie.

L'activité déduite de la mesure bêta (à 10 cm de la source) est nettement plus faible que l'activité nominale pour les paratonnerres 1, 2 et 3 (émail sur porcelaine); on a, p. ex., pour le n° 2 une activité bêta apparente de 0,01 millicurie soit 1/3 de l'activité gamma mesurée et 1/30 de l'activité nominale. Pour les modèles 4 et 5 (émail sur tôle), on observe une activité apparente bêta correspondant à 0,1 et 0,04 millicurie respectivement, soit 1/8 et 1/10 de l'activité gamma mesurée. L'absorption du rayonnement bêta dans la masse d'émail justifie ces valeurs.

#### 5.1.2. *Mesure de l'émission alpha*

La mesure alpha est faite au moyen d'une sonde scintillateur au sulfure de zinc associée à l'échelle de comptage. La mesure est faite au contact de chaque source.

L'absorption du rayonnement alpha dans le support d'émail est plus sensible encore que pour le bêta.

Les paratonnerres 1, 2 et 3 ont une activité alpha apparente correspondant à une source de 2, 2,3 et 10 microcuries respectivement, soit 1/15, 1/13 et 1/20 de l'activité gamma mesurée. Les modèles 4 et 5 ont une activité équivalente à 75 et 43 microcuries respectivement, soit 1/10 environ de l'activité gamma mesurée. Les sources « ruban » ont un rendement alpha atteignant 25 % de l'activité.

### 5.2. Mesure de la dispersion des matières radioactives

Des essais standardisés sont définis pour le contrôle des sources alpha fabriquées par le Radiochemical Center-Amersham [34] et pour le contrôle des sources aux Etats-Unis [35].

Ces essais ne nous ont pas paru refléter entièrement les conditions pratiques d'utilisation des paratonnerres. Nous avons complété les essais classiques: examen visuel, frottis, immersion, etc., par des épreuves caractéristiques: ruissellement, abrasion et cycle thermique visant à mettre en évidence une exposition prolongée aux agents atmosphériques. Ces essais sont décrits à l'annexe II et résumés succinctement ci-dessous.

L'*examen visuel* de la surface des sources a été effectué au moyen d'un microscope stéréoscopique Nikon, type S M Z 2 ou d'un microscope Reichert type MEF (grossissement  $\times 135$  et  $\times 370$ ).

Les *frottis* sont faits avec du papier filtre sec, humide ou imprégné de trichloreéthylène. L'activité du frottis est mesurée au compteur alpha.

Le *test d'émanation* est fait comme pour un contrôle d'aiguilles de radium. Le paratonnerre est enfermé 24 heures dans une enceinte fermée. On mesure l'activité du dépôt actif sur un papier filtre déposé sur le paratonnerre.

Pour le *test d'immersion*, la source est trempée 8 heures dans de l'eau de pluie à température normale. L'activité de l'eau est ensuite mesurée.

*Essai Pluie — Ruissellement*: la source est exposée pendant 24 heures sous une pluie artificielle. L'acidité (pH 6) de l'eau de pluie et la charge en poussières reproduisent les conditions naturelles de corrosion et d'abrasion. L'installation est décrite en annexe et représentée schématiquement à la fig. 4. En fin d'essai, l'activité de l'eau est mesurée. L'essai correspond à la chute de 36.000 mm d'eau, soit à raison de 700 mm par an en moyenne, à environ 50 ans.

L'*effet d'abrasion par le vent* et les poussières de l'atmosphère est reproduit par un jet de sable. Le dispositif d'essai a été réalisé par l'Association des Industriels de Belgique (A.I.B.) pour des essais normalisés de peinture; il est décrit en annexe et reproduit à la fig. 5. A la fin de l'essai, le sable est soigneusement lavé et l'activité de l'eau est mesurée. L'essai est estimé correspondre à environ 10 années de fonctionnement comme le montre la comparaison d'une porcelaine usagée et d'une porcelaine neuve ayant subi l'essai.

### Résultats et commentaires

Les résultats des mesures sont consignés à l'annexe II.

#### *Examen visuel*

L'examen visuel et sous fort grossissement est révélateur de l'état de surface de la source et permet de comprendre le comportement de celle-ci. En particulier, l'examen de sources sous forme d'émail sur porcelaines usagées, fait apparaître une érosion très nette de la couche d'émail (figs. 17, 18 et 19). Un émail neuf soumis à l'essai d'abrasion apparaît semblable à un émail usagé (fig. 20).

Des traces de corrosion apparaissent fort nettement sous faible grossissement sur des tôles couvertes d'un émail radioactif (figs. 7, 8 et 9).

#### *Frottis*

Si on fixe le niveau admissible de contamination des frottis à  $5.10^{-6}$   $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  intégré sur une surface de  $100 \text{ cm}^2$ , soit environ 20 dps par  $100 \text{ cm}^2$  (valeur appliquée au C.C.R. Ispra), on constate que les sources neuves satisfont au critère imposé tandis que les sources usagées dépassent d'environ un facteur 10 ce niveau. Il y a donc toujours un risque de contamination lors de la manipulation de paratonnerres radioactifs usagés.

### *Test d'émanation*

Des essais ont montré que l'émanation de radon des sources « rubans » est faible, même s'ils n'ont pas été poussés plus avant, compte tenu de la faible sensibilité de notre méthode de mesure.

### *Test d'immersion*

On a mesuré l'activité des produits en suspension (filtre) et du filtrat (résidu sur coupelle séchée).

Pour tous les essais, l'activité de l'eau dépasse sensiblement celle de l'eau de pluie de départ. Les mesures les plus basses, 3 à  $13 \cdot 10^{-4} \mu\text{Ci}$  correspondent à des calottes radioactives (émail déposé sur porcelaine). Les mesures obtenues pour des sources « rubans » de différentes origines sont légèrement plus élevées, 14 à  $108 \cdot 10^{-4} \mu\text{Ci}$ . La mesure faite sur un disque (tôle couverte d'un émail actif) est nettement plus élevée,  $844 \cdot 10^{-4} \mu\text{Ci}$ .

### *Pluie — Ruissellement*

On remarque que, pour l'essai « Pluie », l'activité sur le filtre est plus élevée, la pluie ayant aussi un effet mécanique d'arrachement ou d'abrasion de la surface. Le résultat global (filtre + filtrat) est du même ordre de grandeur que celui obtenu pour l'essai d'immersion précédent à l'imprécision de la mesure près. Le niveau d'activité absolu est élevé. Toutefois, si l'on admet que l'activité est diluée dans un volume d'eau considérable (l'essai correspond à 720 litres d'eau de ruissellement) et que l'eau collectée au total par un toit représente un volume au moins cent fois supérieur, l'activité de l'eau atteignant le voisinage resterait inférieure à 1/100 de l'activité admissible pour des travailleurs.

### *Abrasion par le vent*

L'essai d'abrasion s'est révélé particulièrement sévère si l'on considère que la surface frappée par le sable n'est que de  $1 \text{ cm}^2$ . L'activité extrapolée à la surface totale des sources est élevée. Il faut cependant considérer que le volume d'air de dilution pris arbitrairement égal au flux d'air balayant une surface de  $1 \text{ m}^2$  en 10 ans est de  $5 \text{ m/s} \times 3.600 \times 8.640 \times 10$ , soit  $1,56 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ . La concentration moyenne resterait, dans le cas le plus défavorable, en dessous de 1/100 de la concentration maximale admissible pour les travailleurs.

## **6. INSTALLATIONS EN SERVICE — INCIDENTS**

Une trentaine d'installations seulement ont été examinées représentant un faible échantillonnage de l'ensemble des installations en service. Neuf rapports sont résumés ci-dessous et illustrent les observations faites dans les paragraphes précédents (4 et 5).

### *Rapport n° 1*

Le paratonnerre (n° 13) a été installé en 1958 sur le bâtiment principal de la Société S. à Uccle (Belgique). L'examen visuel à distance ne présente aucune défectuosité. Cependant, une légère contamination a été observée sur la plate-forme au pied du mât (10 à 200 des/sec/100  $\text{cm}^2$ ).

### *Rapport n° 2*

Le paratonnerre (n° 14) est installé depuis 1950 sur les bâtiments de la Société L. à

Forest (Belgique). Aucune contamination n'a été décelée au pied du mât. Nous avons demandé aux intéressés de faire procéder à un examen complémentaire de la tête radioactive.

#### *Rapport n° 3*

Le paratonnerre (n° 12) est installé sur un bâtiment des charbonnages — siège de M. (Belgique). Le siège ayant été désaffecté une entreprise a été chargée de la démolition des bâtiments. Ceux-ci ont été abattus avec le paratonnerre en place.

Notre expert a prévenu le chef de chantier que le paratonnerre, du type métallique émaillé, était radioactif; celui-ci a été dégagé nous a été remis et nous avons constaté qu'il avait été fortement endommagé (fig. 6). Les disques en tôle émaillée supportant l'émail actif sont déformés. Les tôles montrent de nombreuses traces d'oxydation, la couche d'émail radioactif se détachant très facilement au contact.

#### *Rapport n° 4*

Des disques en tôle émaillée (n° 4, 5, 7 et 8), ont été conservés dans un local de stockage. L'examen visuel et sous grossissement 11,5 fait apparaître des points de corrosion (fig. 7); des plaques fortement oxydées (fig. 8) et une oxydation continue du bord du disque avec disparition de l'émail actif (fig. 9) sont observées.

#### *Rapport n° 5*

Le paratonnerre (n° 15) est installé sur les bâtiments administratifs des Abattoirs de H. (Belgique). Peu après son installation, le mât du paratonnerre s'est brisé à la base (fig. 10). La tête du paratonnerre, constituée d'un disque d'aluminium portant trois morceaux de ruban radifère, n'a pas été endommagée par la chute (fig. 11) et la plate-forme n'était pas contaminée. Le mât brisé est resté à l'endroit de sa chute jusqu'à ce que l'installateur vienne le replacer.

#### *Rapport n° 6*

Lors d'une visite de routine chez un de nos affiliés, l'expert a été amené à contrôler une série de paratonnerres. Un des paratonnerres (n° 6 U), en fonctionnement depuis environ 6 ans dans cette usine de fabrication d'éléments en Asbesth-Ciment, avait été récemment démonté en vue d'une nouvelle installation et stocké à l'air libre sans précaution particulière (fig. 12). Le paratonnerre se trouvant à l'écart des locaux occupés, il ne semble pas que du personnel ait été irradié.

L'aspect des sources paraissant anormal (fig. 13), un contrôle de l'état de la surface de la source a été fait sous grossissement  $\times 135$ . La surface apparaissait altérée par rapport à une source neuve (fig. 14 et fig. 15). On n'a pu déterminer la nature de l'altération. Un contrôle par frottis a été fait et a montré une nette contamination alpha. Le sol n'était pas contaminé à l'endroit de stockage et à l'endroit d'utilisation du paratonnerre. Etant donné la manière dont le paratonnerre a été démonté, il est peu probable que du personnel ait été contaminé. L'installation a été mise hors service.

#### *Rapport n° 7*

Le paratonnerre était monté sur le bâtiment de l'Institut S. à Bruxelles. Le paratonnerre ayant été démonté par le service entretien de l'Institut, a été placé à même le sol dans le hall d'entrée près de la table des huissiers en attendant que d'autres services vien-

nent le chercher. C'est à l'occasion du contrôle des laboratoires que notre expert a remarqué, par hasard, ce paratonnerre.

#### *Rapport n° 8*

Le paratonnerre (n° 3 U) a été installé sur un bâtiment à Liège, où il a séjourné pendant douze ans avant d'être repris par le fournisseur.

A l'examen visuel, l'émail était terni et noirci (fig. 16). Sous grossissement  $\times 370$ , on observe que la surface est érodée (fig. 17 et fig. 18) par comparaison avec la surface d'une calotte neuve (fig. 19).

#### *Rapport n° 9*

Le paratonnerre (n° 17) est placé depuis 5 ans au sommet de la cheminée d'un four à chaux.

Il est complètement rongé par les vapeurs corrosives. Les sources, de type « ruban », et leur support ont presque totalement disparu (fig. 33).

## **7. LEGISLATION. APPLICATIONS PARTICULIERES**

### **7.1 Directives de la Communauté Européenne**

Les directives de la Communauté Européenne fixent des normes de base en matière de Protection des Travailleurs et de la Population contre le danger des Radiations Ionisantes [37]. Les normes sont impératives pour les pays de la Communauté et sont reprises dans les législations de chaque pays en matière nucléaire [42 - 47].

La fabrication, l'importation, l'installation et la détention de paratonnerres radioactifs sont soumises aux directives de la Communauté [37]. L'exercice de ces activités doit faire l'objet d'une déclaration sinon d'une autorisation selon les pays [36]. Les paratonnerres ne peuvent être exemptés du régime de déclaration: les limites fixées sont dépassées soit que l'on considère l'activité totale par appareil soit la dose débitée à 0,1 m [38]. Les législations nationales reprennent toutes ces dispositions. Signalons tout particulièrement l'obligation que nous retrouvons dans la loi allemande et belge de ne livrer les appareils qu'à des personnes autorisées [48].

### **7.2 Législation dans les pays de la Communauté**

La fabrication et l'importation de paratonnerres sont généralement autorisées lorsque les conditions, déterminées par chaque pays, sont respectées. Cependant, aux Pays-Bas, l'importation de paratonnerres radioactifs est refusée depuis 1960 par le ministère compétent. L'interdiction est confirmée par un arrêté [39]. Il ressort de l'exposé des motifs « qu'il n'a pu être établi que les paratonnerres radioactifs puissent être nuisibles à la Santé Publique mais que l'importation de matières radioactives inutiles doit être prohibée car il n'a pas été démontré une supériorité des paratonnerres radioactifs sur les paratonnerres ordinaires ».

Au niveau de la distribution et de l'utilisation, on a pu constater la méconnaissance fréquente des dispositions réglementaires. Celle-ci résulte de l'exemple de la législation



anglaise (voir ci-après) interprétée dans un sens trop large et des habitudes prises avant la mise en application des dispositions légales.

### 7.3. Autres pays

En Angleterre, le risque lié à certaines « applications diverses » a fait l'objet d'une évaluation particulière [40].

Dix-huit articles, dont le paratonnerre radioactif, font l'objet d'« Ordres d'Exemption » [41] dispensant les utilisateurs de l'obligation de Déclaration et d'Enregistrement prévus par le Radiation Substances Act - 1960. Les textes officiels insistent cependant sur la nécessité de revoir périodiquement ces mesures.

## 8. RESUME ET CONCLUSIONS

L'application de la radioactivité aux problèmes de protection contre la foudre est connue depuis plus d'un demi-siècle. Les premières réalisations commerciales remontent à plus de 30 ans. Huit firmes assurent la fabrication des paratonnerres et quelques dizaines d'autres firmes assurent l'installation d'une grande variété de modèles. Le nombre d'appareils en service dans les pays de la Communauté est estimé entre 5.000 et 10.000.

Les risques liés à la *fabrication* sont connus des fabricants et généralement maîtrisés par des techniques de protection adéquates: confinement des poussières radioactives et du radon, mesure de l'exposition du personnel, etc. Ces mesures rentrent dans le cadre des Directives de l'EURATOM et des législations nationales.

Dans les conditions normales d'*utilisation*, c'est-à-dire avec des appareils en bon état et convenablement installés, les risques pour la population sont faibles, sinon négligeables. Les doses d'irradiation externe susceptibles d'être reçues au voisinage des installations tombent rapidement à des valeurs négligeables au-delà de 5 mètres. Le risque de pollution de l'air et de l'eau est tel qu'il ne dépasserait pas les valeurs admissibles pour la population. Les sources fabriquées actuellement offrent à cet égard une résistance convenable aux agents atmosphériques (pluie, vents, etc.), ce qui n'était pas toujours le cas pour les paratonnerres anciens.

Cependant, dans des cas particuliers et pour des conditions de travail anormalement dures, les installateurs n'ont pas pris de précautions particulières, ce qui a augmenté le risque de dispersion d'activité.

Enfin, le cas de nombreuses installations d'un type ancien résistant mal aux agents atmosphériques doit être particulièrement considéré. L'élimination de ces installations devrait être envisagée.

Le *mauvais usage* des paratonnerres: démontage, manipulation, destruction, élimination par des personnes ignorantes du risque apparaît comme le danger le plus important d'irradiation et de contamination de la population.

L'oubli des distributeurs d'avertir les utilisateurs des risques et de leurs obligations, l'absence de symbole des radiations sur les appareils, etc., augmentent, dans une proportion importante, la probabilité d'un incident.

Les directives de l'EURATOM et les législations nationales s'appliquent sans restriction à la fabrication, la manipulation, la distribution et l'utilisation des paratonnerres

radioactifs. La déclaration ou l'autorisation de l'établissement et les mesures de contrôle physique au niveau de la fabrication sont généralement respectées.

Un contrôle des paratonnerres avant la mise en service apparaît indispensable. On ne pourrait, en effet, tolérer que des appareils ne répondant pas à des critères minima de sécurité soient mis en service. Ce contrôle serait le plus efficace au niveau de la distribution. Certaines législations exigent des distributeurs une description des caractéristiques des appareils mis en vente. Un dossier technique comportant une étude de la sécurité des appareils, des essais, etc., devrait être joint à la demande. Il est nécessaire que cette procédure assure une sélection du matériel et ne constitue pas un simple enregistrement.

La situation existant actuellement au niveau de l'utilisation laisse parfois à désirer. La dispense de déclaration de la législation anglaise a fait tache d'huile sur le continent en dépit des dispositions nationales contraires. Certains installateurs, loin d'attirer l'attention des utilisateurs sur les précautions à prendre, minimisent ou ignorent les risques.

L'assainissement de la situation peut être obtenu par un rappel des obligations des installateurs et des utilisateurs.

Les points suivants nous paraissent essentiels: marquage des appareils du symbole des radiations, information des utilisateurs sur les risques et l'obligation de déclarer les installations.

Le contrôle des appareils en service, le déclassement des installations vétustes et l'élimination par un service qualifié peuvent seuls prévenir des accidents.

Ces dispositions sont prévues par les directives et les dispositions nationales. Notre avis est de ne pas y déroger.

## BIBLIOGRAPHIE

- [ 1 ] Szillard. Communication à l'Académie des Sciences de Paris, 19 mars 1914.
- [ 2 ] G.P. Capart. Brevet français en 1932 et U.S 2025 du 24.12.1935.
- [ 3 ] Brevet Belge n° 486.679 du 7 janvier 1949.
- [ 4 ] Brevet Belge n° 439.556 du 10 juin 1949.
- [ 5 ] Helita. Brevet Français n° 1.016.625 déposé le 24 avril 1950.
- [ 6 ] Alphonse Capart. Brevet Belge en 1952 et U.S. n° 2.854.499 du 30.9.1958.
- [ 7 ] L. Donelli. Brevet n° 588.088 du 6.11.1957 et 1.12.1959.
- [ 8 ] Brevet Italien n° 527.731 en 1957.
- [ 9 ] Monsieur Pattyn. Brevet Français n° 1.245.798 du 19 novembre 1959.
- [10] Madame Horemans-Souply. Brevet Français n° 1.311.861 du 19 septembre 1961.
- [11] Helita. Brevet Français n° 1.357.827 du 2 mars 1964.
- [12] General Protection - Liechtenstein. Brevet Français n° 1.478.527 du 11 mars 1966.
- [13] Commissariat à l'Energie Atomique. *Bulletin d'Informations Scientifiques et Techniques* n° 128 - juillet 1968 - p. 60.
- [14] La protection contre la foudre. Principales références Helita (brochure publiée par la société Helita - France). Sans date.
- [15] Le paratonnerre Helita à sels radioactifs et grand rayon d'action. Références en Belgique, etc... (brochure publiée par la société Helita, France). Sans date.
- [16] Liste de références des installations Combinator en Belgique, etc... (communiquée par la firme « Paratonnerres Willy Van Droogenbroeck », Bruxelles 18).
- [17] Paratonnerres Horemans-Souply à Marchienne-au-Pont (liste de références communiquée par Madame Horemans-Souply). Sans date.
- [18] Paratonnerre Preventor (communication personnelle), 15 mai 1968.

- [19] Kapton. Paratonnerre radio-actif à excitation magnétique provoquant une ionisation constante de l'air. (Brochure publiée par Kapton - sans date).
- [20] Le nouveau paratonnerre Messien à chambre d'ionisation parasphère. (Brochure des Ets. Messien, 103. Bd. Malesherbes, Paris 8<sup>e</sup>), février 1968.
- [21] Protector: il parafulmine a raggi gamma che sfida la tempesta. (Brochure de la société Protector, via Belfiore, 61, 10126 Torino). Sans date.
- [22] Communication personnelle de Monsieur Invernizzi, Président de la U.S. Radium Corporation Europe, 31 mai 1968.
- [23] Communication personnelle de Monsieur K.Z. Morgan, décembre 1967.
- [24] Communication personnelle de Monsieur Lindell, Directeur du « Statens Stralsky Institut », 5 novembre 1968.
- [25] Communication de la Chambre Suisse de Commerce, 13 mars 1968.
- [26] Radioactive Products - catalogue 1965-1966. Radiochemical Center - Atomic Energy Research Establishment - Amersham - England (p. 123).
- [26a] Communication personnelle de Monsieur F. Andrews (Amersham) M.B.L.E. Bruxelles, 13 septembre 1967.
- [27] Price. Nuclear Radiation Detection - Mac Graw Hill, 1958 (p. 96).
- [28] Safe Handling of Radioisotopes. Health Physics Addendum - Safety Serie, n° 2, p. 29 A.I.E.A. - Vienne, 1960.
- [29] R. Pannetier et al. Vade-Mecum du technicien, tome 2, 1965.
- [30] I.C.R.P., Publication 2. Report of Committee II on Permissible Dose for Internal Radiation, 1959.
- [31] Hollander. Table of Isotopes. *Review of Modern Physics*, vol. 25, n° 2, 1953.
- [32] Lapp - Andrews. Nuclear Radiation Physics - Prentice Hall, 2<sup>e</sup> édition, mai 1955 (p. 86).
- [33] Handbook of Chemistry and Physics - 39th Edition, 1957-1958 (pp. 590-591).
- [34] Radiochemical Center - Amersham - Atomic Energy Research Establishment. Catalogue 1965-1966, p. 120.
- [35] Source Safety Testing Program. Isotopes and Radiation Technology. A quarterly technical Progress Review - Oak Ridge National Laboratory, p. 281 - Vol. 4, n° 3 - printemps 1967.
- [36] *Journal officiel des Communautés Européennes* - 20 février 1959 - 2<sup>e</sup> année - n° 11 - art. 3.
- [37] Idem - art. 1 - p. 225/59.
- [38] Idem - art. 4 - p. 225/59
- [39] *Koninklijk Besluit*, 27 juillet 1962, n° 32.
- [40] The hazards to man of nuclear and allied radiations. Report to the Medical Research Council, décembre 1960, p. 26, paragraphe 93.
- [41] Street and Frame. Law relating to nuclear energy - 1966 - p. 95 - 96.

*Autres références*

- [42] E. Jacchia. Atome et Sécurité. Le risque des radiations à l'âge nucléaire, 1964.
- [43] Premier Décret sur la Protection contre les Radiations, texte modifié, 15 octobre 1965, République fédérale d'Allemagne.
- [44] Règlement général pour la Protection du Travail, Ministère du Travail, 4<sup>e</sup> édition 1959, Belgique. En particulier, annexe D.
- [45] Arrêté Royal du 28 février 1963 portant Règlement Général de la protection de la population et des travailleurs contre le danger des radiations ionisantes. Belgique.
- [46] Législation, nomenclature et réglementation des établissements dangereux. France Journal Officiel n° 1001, 1967.
- [47] Décret du 24 octobre 1967. France. Modifications à la Nomenclature.
- [48] Voir (43) art. 12

Annexe I

FABRICANTS ET CARACTERISTIQUES DES SOURCES

**1. Paratonnerre Helita**

*Fabricant:* Société Helita, 11 à 15, rue de la Planche, Paris VII<sup>e</sup> (France).

*Distribution:*

- 1) Société Helita, France
- 2) S.A. Cetel, Importateur en Belgique.
- 3) S.A. Teldis, Installateur.

*Types:* modèles P, M et G.

*Description de la source:* émail actif sur une calotte hémisphérique en porcelaine vitrifiée (fig. 21 et fig. 22).

- nouveau modèle en 1963: support constitué par des billes de porcelaine,
- nouveau modèle en 1968: support constitué par des segments de calotte en porcelaine au lieu d'une calotte circulaire.

*Substance radioactive:* Radium-226.

*Forme physico-chimique:* sulfate de radium (insoluble) incorporé dans un émail cuit à chaud sur le support en porcelaine.

*Activité:*

- modèle P: 0,3 millicurie.
- modèle M: 0,6 millicurie.
- modèle G: 0,9 millicurie.

**2. Paratonnerre Kapton**

*Fabricant:* Madame Horemans-Souply, 21, rue Carlo Bastin, Marchienne-au-Pont (Belgique).

*Distribution:* Arrêtée depuis 1960 — Willy Van Droogenbroeck.

*Type:* Kapton 1949.

*Description des sources:* Disques en tôle émaillée noire couverts d'un émail radioactif (fig. 23).

*Substance radioactive:* Radium-226.

*Forme physico-chimique:* Carbonate de radium (insoluble) incorporé dans un émail sur plaque métal et cuit au four.

*Activité:* Inférieure à 1 millicurie.

### **3. Paratonnerre Horemans-Souply**

*Fabricant:* Madame Horemans-Souply, 21, rue Carlo Bastin, Marchienne-au-Pont (Belgique).

*Distribution:* Madame Horemans-Souply.

*Type:* Horemans-Souply.

*Description de la source:* Platine en aluminium comportant trois rubans radioactifs soudés (fig. 24 et fig. 25).

*Substance radioactive:* Radium-226 (n° catalogue Amersham, Alpha Foil RAM 7).

*Forme physico-chimique:* Sulfate de radium mélangé avec de la poudre d'or. Aggloméré sous pression et température de 900° C. L'ensemble se trouve sur un support en métal noble (argent) et recouvert d'une feuille de métal (p. ex. 0,002 mm d'argent et 0,002 mm de platine).

*Source:* Les sources sont reprises au catalogue général du Radiochemical Center-Amersham

*Activité:* 48 à 60 microcuries par cm<sup>2</sup>.

3 × 2 cm de ruban par paratonnerre, soit 0,360 mCi.

### **4. Paratonnerre Préventor**

*Fabricant:*

Société Indelec, Rue de Ferin, 33, Douai, (France).

et, jusqu'en 1962, pour la Belgique:

S.A. Apradel, Rue des Jardins, 20, Limal (Belgique).

*Distribution:*

1) Indelec, France.

2) S.A. Les Paratonnerres Charles Van Droogenbroeck, avenue de la Pinède, 56, Bruxelles (Belgique).

3) British Lightning Preventor Ltd, Longe Clawson Manor, Melton Mowbray, Leicestershire, (Angleterre).

*Types:* P1, P2, P3, P4.

*Description de la source:* Couronne en acier, trois ou six supports de source en acier inox soudés sur la couronne et enserrant un ruban radioactif (fig. 26).

*Substance radioactive:* Radium-226 ou américium-241.

*Forme physico-chimique:* Feuille colaminée, The Radiochemical Center, Amersham.

*Activité:* par ex.: type P4: 0,625 millicurie.

N.B. Un ancien modèle avec support de la source en tôle et radium incorporé dans l'émail a également existé.

## 5. Paratonnerre Saref ou EF (Energie froide)

*Fabricant:* General Protection, Hauptstraße 539, Vaduz (Liechtenstein).

*Distribution:*

- 1) Saref, 26, Via Pergolesi, Milan (Italie).
- 2) Ets. Messien, Paris (France).
- 3) Activité arrêtée: S.A. Houart, 14 Quai Timmermans, Sclessin (Belgique).

*Type:* EF.

*Description de la source:* Support massif hexagonal. Six cadres vissés enserrant un ruban Ionotron (fig. 27).

*Substance radioactive:* Radium-226 (anciennement), americium-241 (depuis 1966).

*Forme physico-chimique:* Ruban Ionotron, U.S. Radium Corp.

*Activité:*  $6 \times 600 \mu\text{Ci}$ , soit 3,6 mCi.

## 6. Paratonnerre Combinator

*Fabricant:* Société « L'Aigrette », Willy Van Droogenbroeck, Rue Joseph Bens, 177, Bruxelles 18 (Belgique).

*Distribution:* Idem.

*Types:* SC A, SC 1, SC 2, SC 3, SC 4, SC 6, SC 5, SC 350, etc.

*Description des sources:* Rubans Ionotron (1,5 cm longueur) serrés entre une tige d'acier et une bague comportant une fenêtre. Trois tiges identiques (fig. 28 et fig. 29).

*Substance radioactive:* Radium-226.

*Forme physico-chimique:* Ruban « Ionotron », U.S. Radium Corp.

*Activité:* par. ex.: 1,25 millicurie pour le SC 350.

## 7. Paratonnerre Messien

*Fabricant:* Société Messien, 103, boulevard Malesherbes, Paris (France).

*Distribution:* Idem.

*Type:* Parasphère Messien.

*Description de la source:* pas publiée (fig. 30).

## 8. Paratonnerre Protector

*Fabricant:* Protector, Via Belfiore 61, 10126 Torino (Italie).

*Distribution:* Idem.

*Type:* Protector.

*Description de la source:* Conteneur en matériau transparent au rayonnement gamma contenant une quantité de radium; un écran en plomb limite le rayonnement vers le bas (fig. 31).

*Substance radioactive:* Radium-226.

### **9. Paratonnerre Ionocaptor**

*Fabricant:* Nuclear Iberica, 15, Apdo 555, Madrid (2) (Espagne).

*Distribution:* Idem.

*Types:* modèles FC 1, FC 2, FC 3, FC 4, FC 5.

*Description de la source:* Ruban de radium fixé à la face extérieure d'un cylindre support (fig. 32).

*Substance radioactive:* Radium-226.

*Forme physico-chimique:* Ruban.

*Activité:* 0,5 mCi.

## Annexe II

### METHODES DE MESURE ET RESULTATS

#### 1. Mesure du rayonnement gamma

La mesure du rayonnement gamma est effectuée au moyen d'un détecteur Victoreen 444 (chambre d'ionisation et électronique associée).

Pour les plus faibles niveaux de rayonnement, l'installation suivante a été utilisée: sonde G.M. type I B 85 Victoreen associée à une Echelle de comptage Vemi Electronics ou une sonde NaI (Tl) de 1".

Les appareils ont été étalonnés avec une source de radium 0,1 mg fournie par l'Union Minière.

Intensité à 0,3 m (théorique):	0,935 mR/h
Détecteur Victoreen 444:	0,95 mR/h
Sonde I B 85 — tension:	880 volts
— sensibilité:	43 cps par mR/h
Sonde NaI (Tl) — 1" × 1"	
— sensibilité:	2.580 cps par mR/h.

#### 2. Mesure du rayonnement bêta

Les mesures ont été faites avec les détecteurs Victoreen 444 et une sonde G.M. type I B 85 Victoreen associée à l'Echelle de comptage Vemi Electronics. Le détecteur Victoreen 444 a été étalonné avec une source bêta Sr 90 - Y 90 de 20 millicuries.

Les rayonnements bêta du Sr 90 - Y 90 soit deux bêta de respectivement 2,18 MeV et 0,545 MeV, représentent une approximation suffisante du spectre bêta du radium.

Mesure à 25 cm de la source de 20 mCi: 16 rad/h.

Dose théorique: 2.700 mrad/h par millicurie à 10 cm.

Dose radium théorique:

$$2 \times 2.700 \times 0,02 \times \frac{(0,1)^2}{(0,25)} = 17,2 \text{ rad/h.}$$

La sonde I B 85 Victoreen a été étalonnée au moyen d'une source de strontium-90 BP standard du C.E.A. Saclay.

Activité: 186.000 cpm ( $4\pi$ ).



Dose théorique (à 10 cm):

$$2 \times 2.700 \times \frac{186.000}{60} \times \frac{1}{3,7 \cdot 10^{10}} = 0,450 \text{ millirad/h.}$$

Mesure à 10 cm: 13,4 cps.

Sensibilité de la sonde: 30 cps/millirad/h.

### 3. Mesure alpha

La mesure est faite au moyen d'une sonde à scintillateur ZnS associée à l'Echelle de comptage Vemi Electronics. La sonde est étalonnée au moyen d'une source standard BP — plutonium-239 — du C.E.A. Saclay.

Activité théorique: 10.970  $\alpha$ /m ( $2\pi$ )

Mesure (au centre du compteur): 63,4 cps.

$$\text{Rendement: } \frac{63,4 \times 60}{10.970} = 34 \% (2\pi).$$

Les mesures des sources réparties sont effectuées dans des conditions de géométrie semblables à celles de l'étalonnage, soit pour une fenêtre de 3 cm de diamètre ( $7 \text{ cm}^2$ ).

La mesure des « rubans » est effectuée au moyen d'une fenêtre de  $0,26 \text{ cm}^2$  seulement de façon à ne pas saturer l'échelle.

### Mesures de la dispersion

#### 1. Frottis

Les frottis ont été effectués avec du papier filtre (n° 795). Trois essais ont été faits:

- a) avec papier sec,
- b) avec papier légèrement humide (eau),
- c) avec papier humecté de trichlore-éthylène.

#### 2. Test d'émanation

Le test est calqué sur le test de contrôle d'étanchéité des aiguilles de radium. La source est couverte d'une feuille de papier filtre et placée dans une enceinte fermée pendant 24 heures. Un comptage du dépôt actif est ensuite effectué sur la feuille de papier filtre.

#### 3. Test d'immersion

La source est plongée pendant 8 heures dans une cuve d'eau à température normale. L'activité de l'eau est ensuite mesurée. On effectue préalablement une filtration pour séparer les matières en suspension. Le filtrat est évaporé jusqu'à 10 ml environ puis séché sur une coupelle en inox de  $100 \text{ cm}^2$ . Les activités des filtres et du filtrat sont mesurées et additionnées.

Pour cet essai, comme pour l'essai de ruissellement, repris plus loin, on a préféré utiliser une eau de pluie sensiblement plus corrosive. Cette eau se caractérise par une légère acidité (pH 6,2) et par une teneur en poussières.

#### 4. Pluie - Ruissellement

Les sources sont exposées à l'effet de ruissellement d'eau de pluie. Nous avons monté un bac d'essai dans lequel la source est soumise à une chute de gouttes d'une hauteur de 1 mètre. L'installation comprend une pomme d'arrosoir comportant 21 orifices de 1 mm de diamètre alimentée par une pompe ayant un débit de 0,56 l/min. Après 24 heures de fonctionnement, l'activité de l'eau est mesurée. De l'eau de pluie est utilisée pour cet essai, de manière à combiner l'action corrosive due au pH de l'eau et l'action abrasive des poussières en suspension. L'essai correspondrait à une exposition de 50 ans dans les conditions de pluies normales en Belgique.

Les deux facteurs pH et teneur en poussières caractérisent l'eau utilisée. Une eau artificielle (eau distillée) contenant un degré d'acidité équivalent ( $H_2SO_4$ ) et une teneur équivalente en poussière standard pourrait être définie pour un essai normalisé.

#### 5. Abrasion par le vent

Les sources sont soumises à un effet d'abrasion par le vent et les poussières en suspension dans l'air.

Nous avons utilisé un dispositif à chute de sable pour reproduire cet effet. Ce dispositif est normalisé par l'Association des Industriels de Belgique (A.I.B.) pour les essais de peinture. L'ensemble consiste en un réservoir supérieur contenant le sable, une canalisation de 1,3 m de haut et 10 mm de diamètre projetant le sable sur la surface de la source.

A la fin de l'essai correspondant à la chute de 4 kg de sable, un lavage de sable et une mesure de l'activité de l'eau est faite .

#### RESULTATS DES FROTTIS

(exprimés en dps par  $cm^2$  de surface frottée)

Paratonnerres n°	Frottis sec (dps)	Frottis humide (dps)	Frottis trichlore (dps)
2	0,35	0,1	0,8
3	0,3	0,3	0,7
6 N	2,5	15	17,5
6 U	260	12,5	62,5
7	250	100	—
8	625	610	—
10	3,8	3	4
11 (sur pastille)	1,6	3,2	4
12	138	62,5	—
16	260	80	—

N.B.: Les mesures ont été effectuées après 24 heures et 10 jours de manière à ne tenir compte que des produits à longue demi-vie.

Mesure de l'activité alpha au contact

(mesures faites avec Echelle Veni et sonde scintillateur Zn.S)  
Surface fenêtre 7 cm<sup>2</sup> (0,26 cm<sup>2</sup> pour mesures 9 - 10)

Paratonnerres n°	Activité mesurée			Surface active	Activité totale apparente	
	dps	dps/cm <sup>2</sup>	dps/cm		dps	μCi
1	3.785	541			80.000	2
2	4.060	580		147 cm <sup>2</sup>	85.000	2,3
3	18.740	2.677			400.000	10
4 partie sup.	56.890 53.830 72.420 54.200	8.127 7.690 10.345 7.742		347 cm <sup>2</sup>	2.750.000	75
partie inf.	56.280 41.985	8.050 5.998				
5 partie sup.	50.430 77.490 48.560 46.130	7.204 11.070 6.931 6.590		226 cm <sup>2</sup>	1.600.000	43
partie inf.	30.670 26.540	4.381 3.791				
7 partie sup.	27.230 33.070 34.710 31.400	3.890 4.724 4.958 4.485		347 cm <sup>2</sup>	1.620.000	44
partie inf.	17.750 14.380	2.535 2.054				
8 partie sup.	35.475 35.590 32.950 35.200	5.068 5.084 4.707 5.028		226 cm <sup>2</sup>	1.130.000	30
partie inf.	20.330 22.275	2.904 3.182				
9 1 source total			2.200.000	3 sources long. 45 mm	10.082.000	270 810
10 1 source total			5.700.000	3 sources long. 13,5 mm	7.700.000	218 624
16 1 source total			2.900.000	6 sources long. 35 mm	10.052.000	270 1620

ESSAI : IMMERSION

	Mesure filtres c/100 sec	Activité filtres 10 <sup>-4</sup> µCi	Mesure filtrat c/100 sec	Activité filtrat 10 <sup>-4</sup> µCi	Activité totale 10 <sup>-4</sup> µCi
Eau de pluie (référence)	160	2,0	228	2,8	4,8
Paratonnerres n°					
1	648	8,0	928	11,0	19,0
3	383	4,7	243	3,0	7,7
2	253	3,1	65	0,8	3,9
5	379	4,6	212	2,6	7,2
4	11.071	144	58.979	700	844
9	1.056	13	7.808	95	108
6	1.136	14	2.542	31	45
10	468	5,7	3.178	38	43,7
17	1.881	23	161	1,9	24,9

ESSAI: PLUIE - RUISSELLEMENT

	Mesure filtres c/100 sec	Activité filtres 10 <sup>-4</sup> µCi	Mesure filtrat c/100 sec	Activité filtrat 10 <sup>-4</sup> µCi	Activité totale 10 <sup>-4</sup> µCi
Eau de pluie (référ.)		2,0		2,8	4,8
Paratonnerres n°					
2	562	6,8	305	3,7	10,5
3	578	7	211	2,6	9,6
5	22.693	275	511	6,2	281,2
7	35.045		35.045		
9	3.963	48,5	4.889	59,5	108,0
6	1.901	23	1.557	19	42
6 U	867	10,6	1.997	24	34,6
10	44.765	545	3.793	46	591
17	1.646	20	498	6,1	26,1

ESSAI: ABRASION - VENT (Surface 1 cm<sup>2</sup>)

	Mesure filtres c/100 sec	Activité filtres 10 <sup>-4</sup> µCi	Mesure filtrat c/100 sec	Activité filtrat 10 <sup>-4</sup> µCi	Activité totale par cm <sup>2</sup> 10 <sup>-4</sup> µCi	Activité totale par paratonnerre 10 <sup>-4</sup> µCi
Paratonnerres n°						
2	1.293	16	242	3	19	2.800
3	7.422	91	5.150	63	154	23.000
9	3.807	47	420	5,1	52	705
10	17.453	213	25.097	306	519	5.500
16	4.141	51	425	52	103	2.100

### Annexe III

## CALCUL DES DOSES EXTERNES

### 1. Source de radium

#### 1.1. Dose gamma au corps

En négligeant l'absorption dans les tissus non critiques.

$$E = \frac{K \cdot t}{d^2}$$

$E$  = Exposition en milliröntgen.

$K$  = émission spécifique du radium en mR/h à 1 m, soit 0,979 mR/h à 1 m par millicurie radium non filtré [27].

$t$  = temps d'exposition en heure, soit 40 heures par semaine pour un travailleur.

$d$  = distance en mètre.

$$E = \frac{0,979 \times 40}{(0,5)^2}$$

= 156 mR par semaine soit une dose  $D$  environ égale à 156 mrem par semaine (on admet pour simplifier que 1 mR correspond à 1 mrem).

#### 1.2. Dose gamma au cristallin

Par un développement analogue on obtient

$$D \cong 156 \text{ mrem/semaine}$$

#### 1.3. Dose gamma aux mains

$$E = \frac{K \cdot t}{d^2} \\ = \frac{0,979 \times 40}{(0,15)^2}$$

$E$  = 0,0165 mR/heure à 1 m par millicurie

La forme des sources (ponctuelles ou réparties) ne change pas sensiblement le résultat du calcul. L'erreur commise en prenant la loi du carré de la distance restant inférieure à 25 % à une distance supérieure à une fois le plus grand diamètre de la source.

#### 1.4. Dose bêta à la peau du visage

$$D = \frac{2 K' \cdot t}{d^2}$$

$D$  = dose en millirad

avec 2 : nombre de particules bêta significatives dans la chaîne de désintégration.

$K'$  : dose bêta à 10 cm = 2.700 C rad/heure [28] (dépend peu de l'énergie bêta)

$C$  activité en curies

soit 2.700 mrad/heure pour 1 millicurie.

$d$  : distance en dm

$$D = \frac{2 \times 2,700 \times 40}{(5)^2}$$

= 8.620 millirad (ou mrem) par semaine.

### 1.5. Dose bêta au cristallin

$$D = \frac{K' t \sum \beta_i e^{-\mu_i x}}{d^2}$$

$\beta_i$  = rendement de l'émission bêta considérée.

On ne retient que l'émission bêta du radium C —

1,65 MeV — 77 %

3,26 MeV — 23 %.

L'énergie des bêta émis par le radium B, etc. est insuffisante pour pénétrer jusqu'au cristallin.

$$D = \frac{2.700 \times 40}{(5)^2} \times \left( \frac{77}{100} \times 0,175 + \frac{23}{100} \times 0,6 \right)$$

= 1.000 mrad (ou mrem) par semaine.

### 1.6. Dose bêta à la peau des mains

$$D = \frac{2 K' t}{d^2}$$

$$= 2 \frac{2.700 \times 40}{(1,5)^2}$$

= 96.000 millirad (ou mrem) par semaine.

## 2. Source d'américium

L'intensité due au rayonnement gamma est calculée par la formule classique [27].

On obtient:

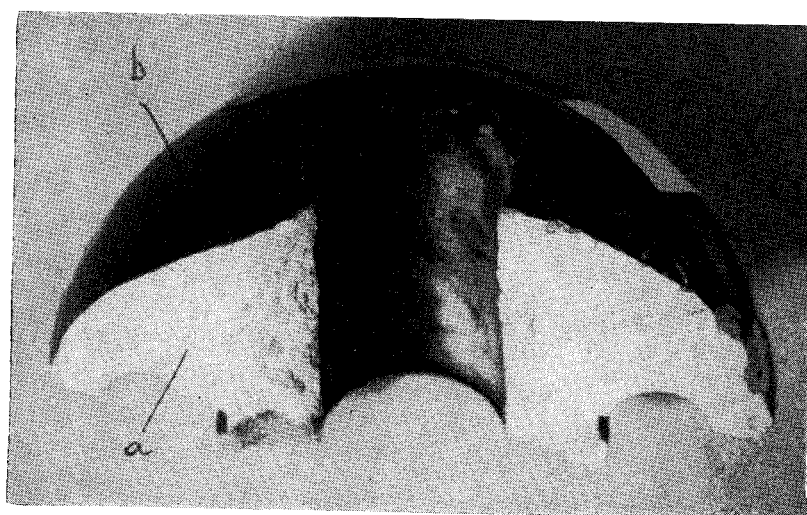
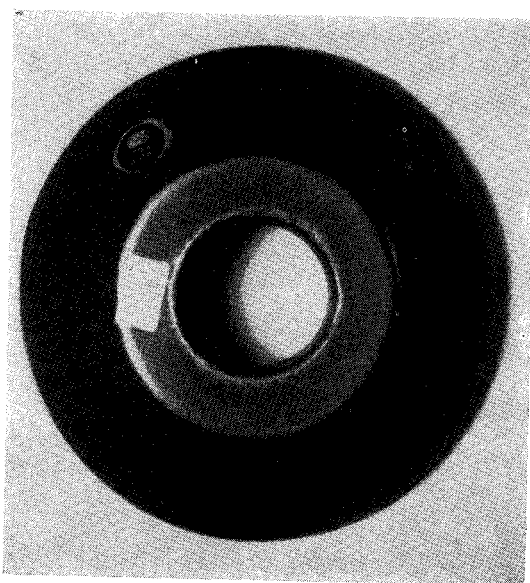
$E = 0,0165$  mR/heure à 1 m par millicurie d'américium.

Les doses gamma seraient donc:

$$\frac{0,979}{0,0165} \text{ ou } 60 \text{ fois plus faibles que celles dues au radium.}$$

Cependant, l'américium émet quatre fois moins de particules alpha par millicurie que le radium. On devra, en pratique, utiliser des sources quatre fois plus actives pour obtenir la même densité d'ionisation. Le rapport des doses est alors ramené à:

$$\frac{0,979}{4 \times 0,0165} = 15.$$

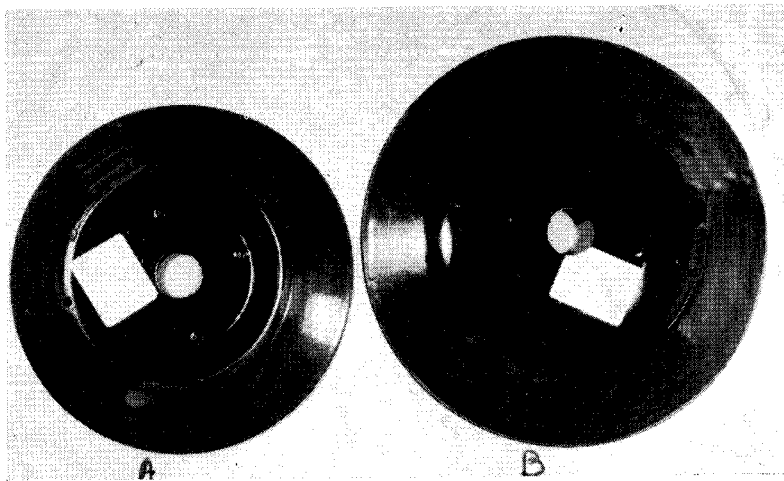


- a) *Support en porcelaine vitrifiée*
- b) *Email contenant le sel de radium*

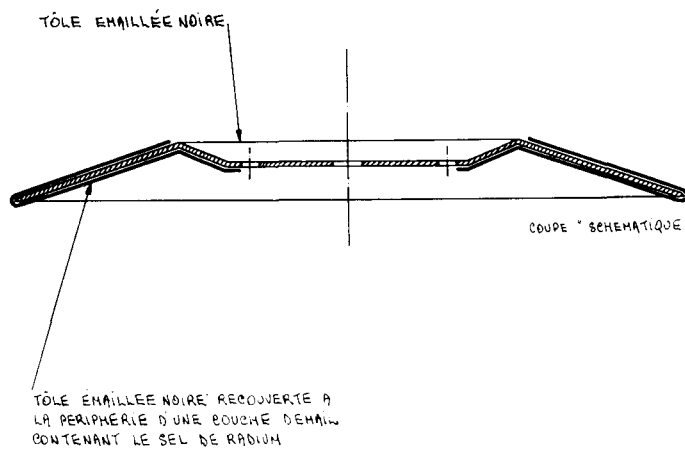
Figure 1

*Support en porcelaine vitrifiée*





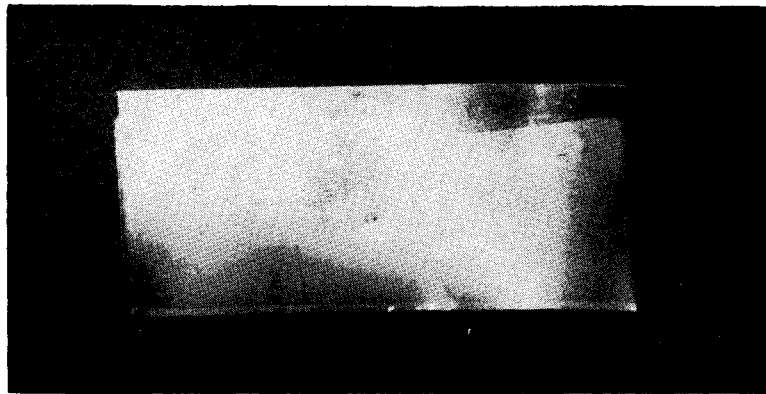
A — *petit modèle*  
B — *grand modèle*



*Coupe schématique d'un disque*

Figure 2

*Support en tôle émaillée*



*Détail (reproduit du catalogue de matières  
radioactives du Radiochemical Center -  
Amersham)*

### Alpha Foils and Sources

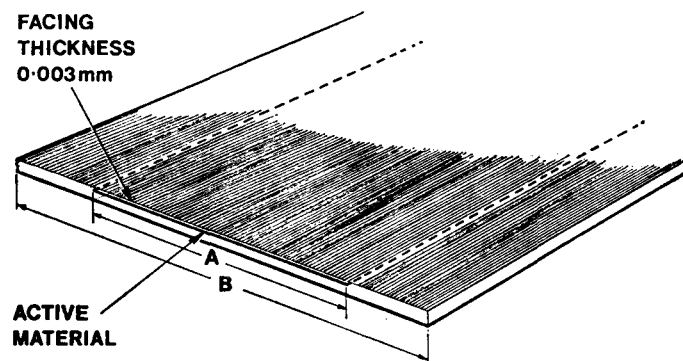


Figure 3

*Ruban de radium*

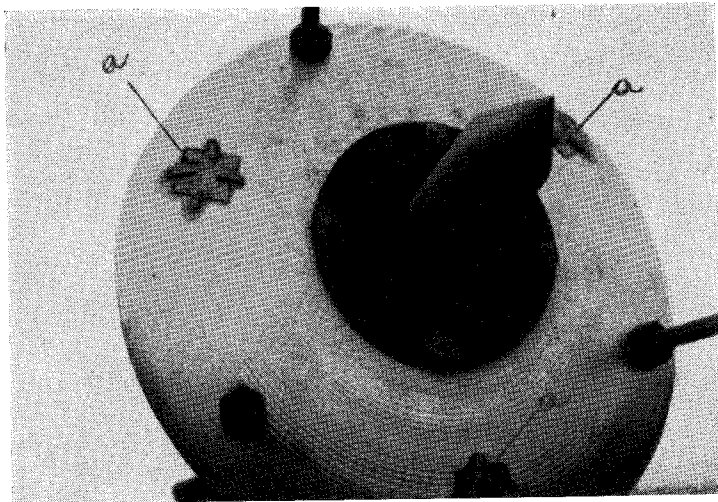


Figure 3 a

a) ruban fixé par des agrafes

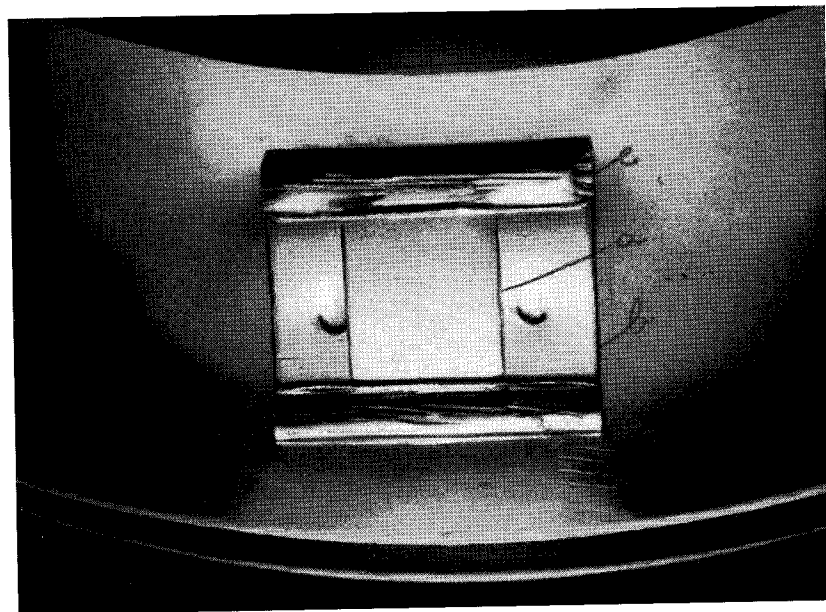


Figure 3 b

Ruban fixé à l'aide  
de mâchoires pincées

- a) bande contenant  
la matière  
radioactive
- b) support en acier  
soudé par point sur  
la couronne du  
paratonnerre
- c) mâchoire serrant  
la source

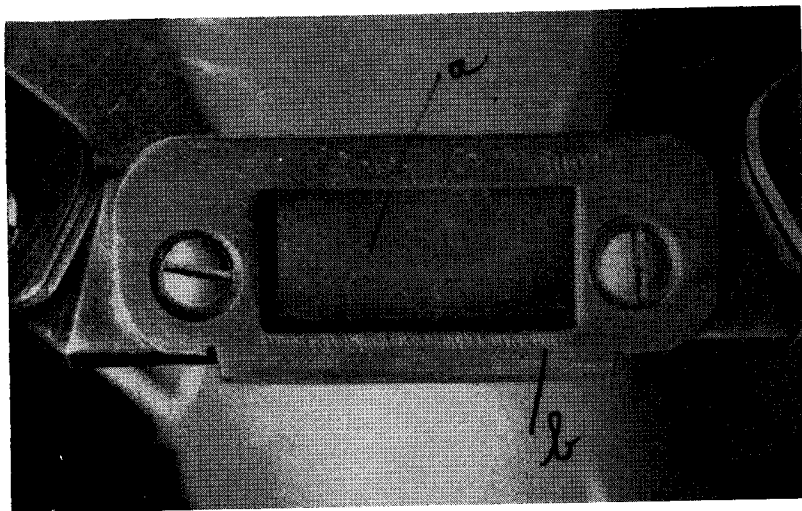
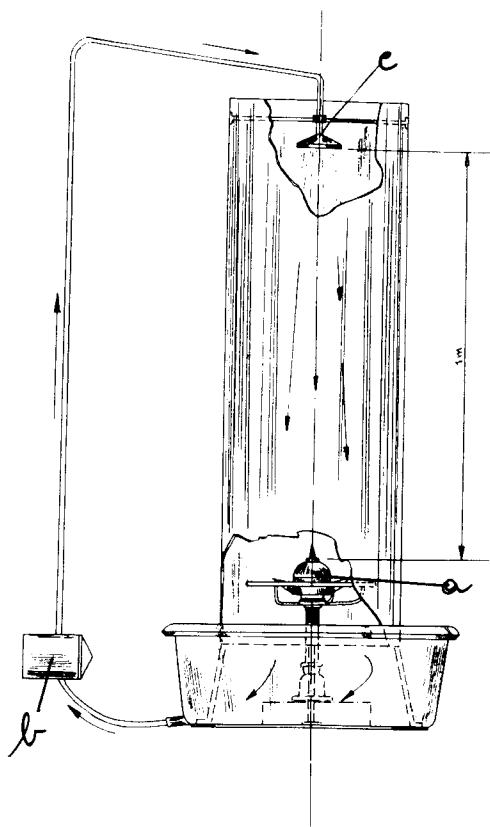


Figure 3 c

Ruban fixé à l'aide  
de pièces de fixation

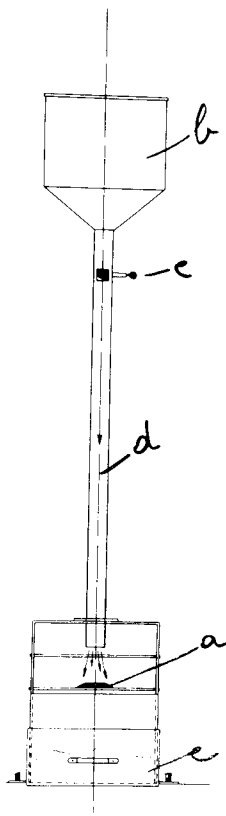
- a) bande contenant la  
matière radioactive
- b) pièces de fixation



- a) paratonnerre à l'essai
- b) pompe de circulation d'eau
- c) pomme d'arrosoir

Figure 4

*Dispositif expérimental pour l'essai de pluie et ruissellement*



- a) disque de paratonnerre à l'essai
- b) réservoir supérieur contenant le sable
- c) clapet d'interruption du débit
- d) tube guide
- e) réservoir inférieur

Figure 5

*Dispositif expérimental pour l'essai d'abrasion par le vent*

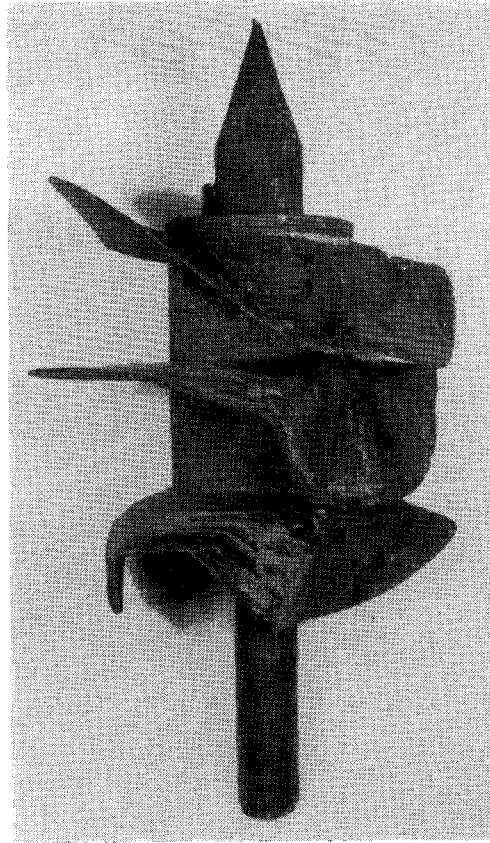


Figure 6

*Paratonnerre après démolition du bâtiment  
Les trois disques en tôle supportant  
l'émail radioactif sont déformés*

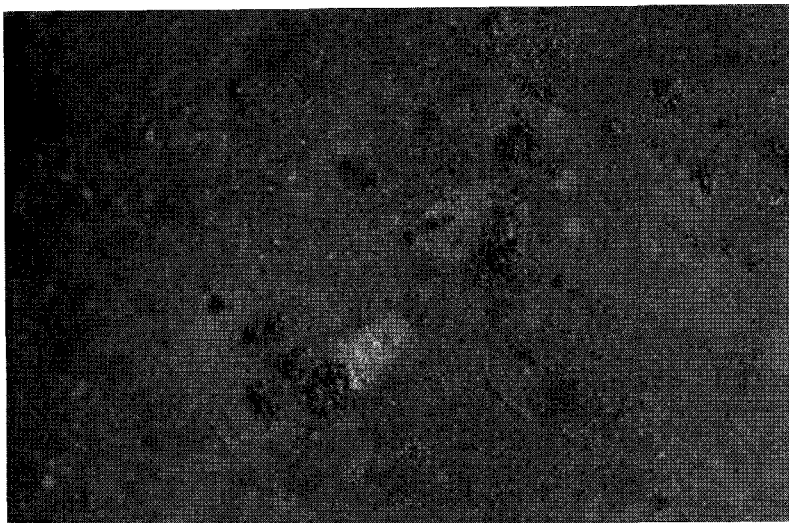


Figure 7

*Disque en tôle émaillée  
Points de corrosion (grossissement  $\times 11,5$ )*

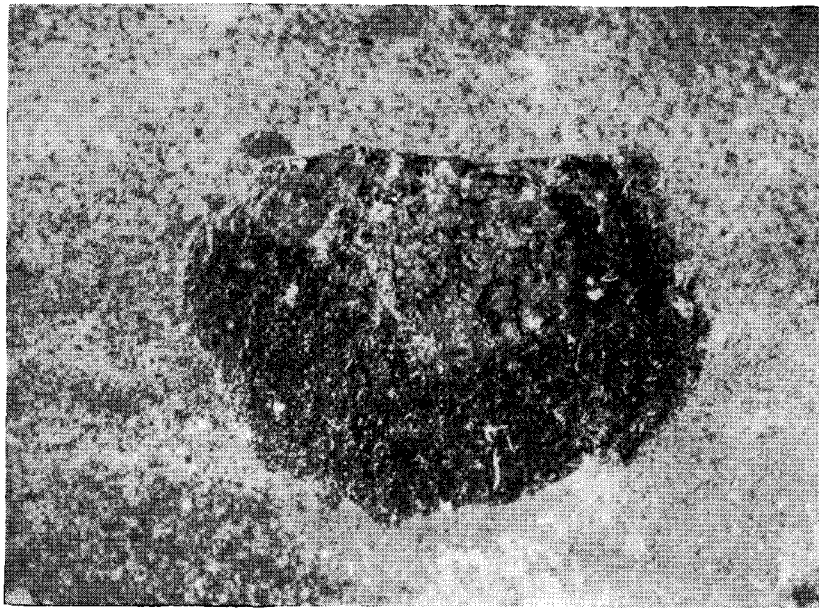
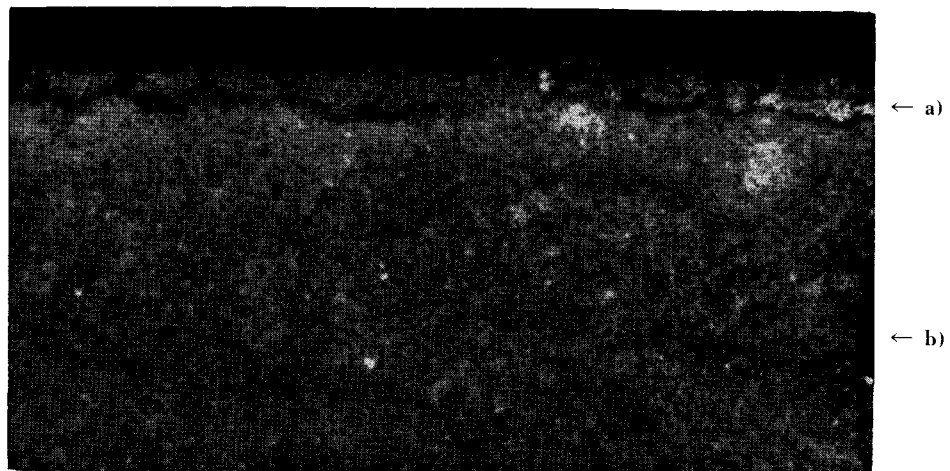


Figure 8

*Disque en tôle émaillée  
Plaque de corrosion avec disparition  
de l'émail actif  
(grossissement  $\times 11,5$ )*



*a) disparition de l'émail actif  
b) partie encore couverte d'émail actif (grossissement  $\times 11,5$ )*

Figure 9

*Disque en tôle émaillée  
Traces de corrosion sur le bord du disque*

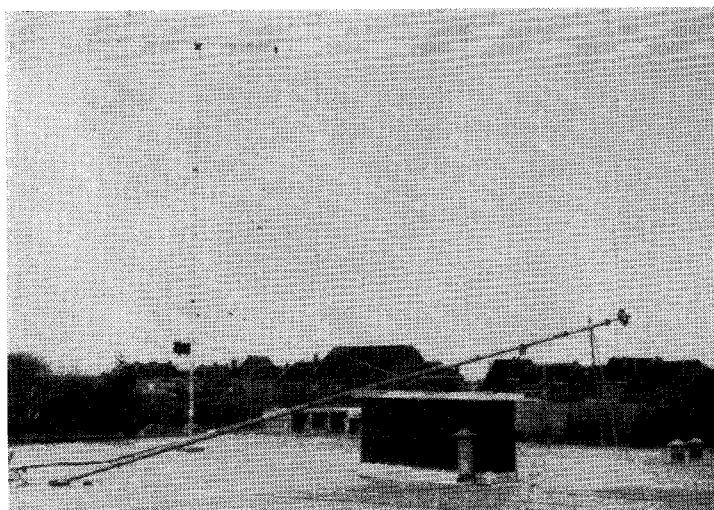


Figure 10

*Paratonnerre après sa chute  
consécutive au bris du mât*

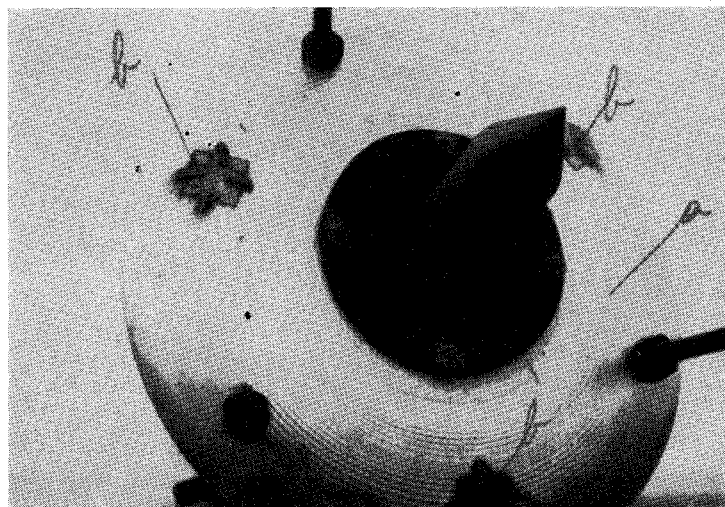


Figure 11

*Détail de la figure 10  
Le support des sources  
(a) et les trois sources (b)  
sont intacts après la chute*

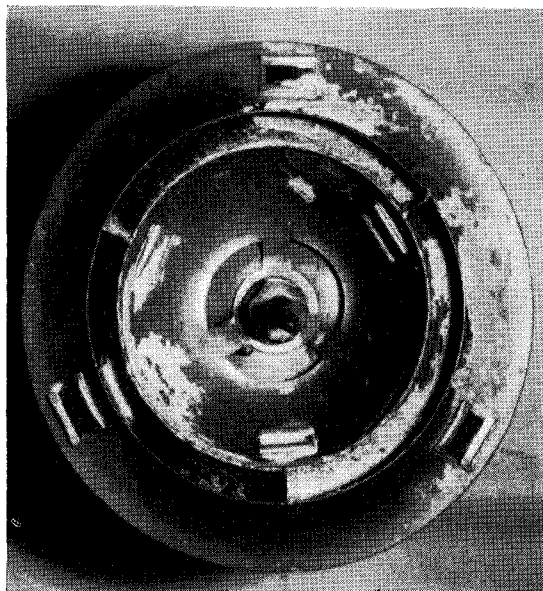


Figure 12

*Paratonnerre après six ans d'utilisation  
dans une fabrique de matériau en  
Asbesth-Ciment*

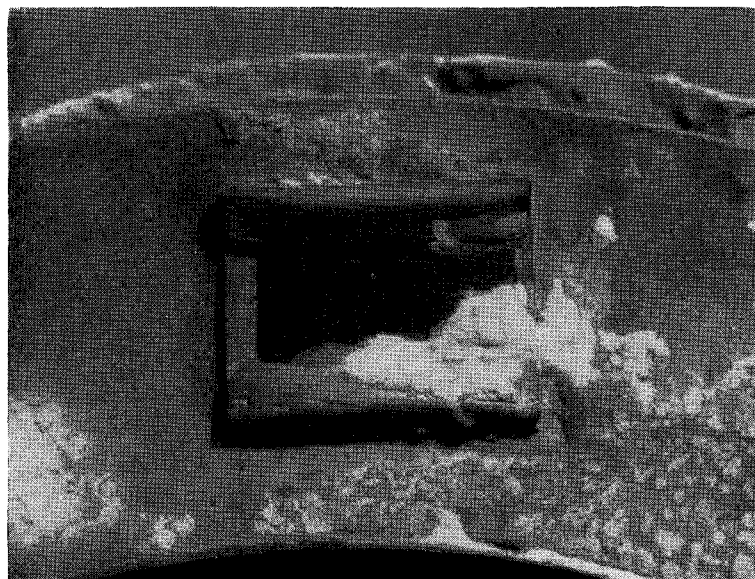


Figure 13

*Détail de la source  
(figure 12)  
(grossissement  $\times 135$ )*



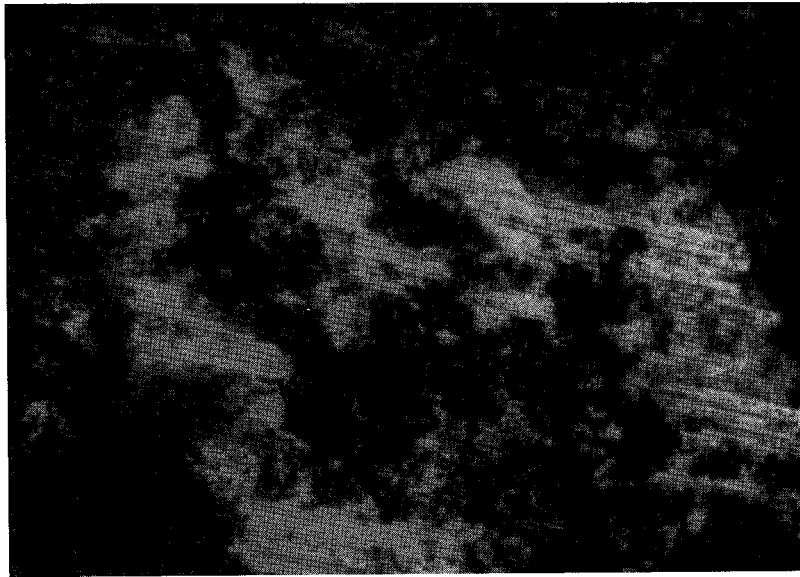


Figure 14

*Surface d'un ruban après six ans d'exposition*  
*Traces d'altération (grossissement  $\times 135$ )*

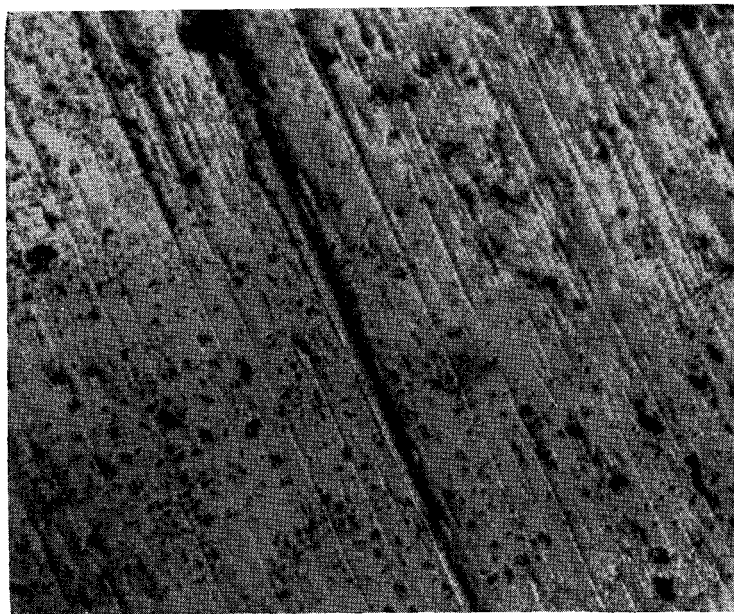


Figure 15

*Surface d'un ruban neuf*  
*(grossissement  $\times 135$ )*

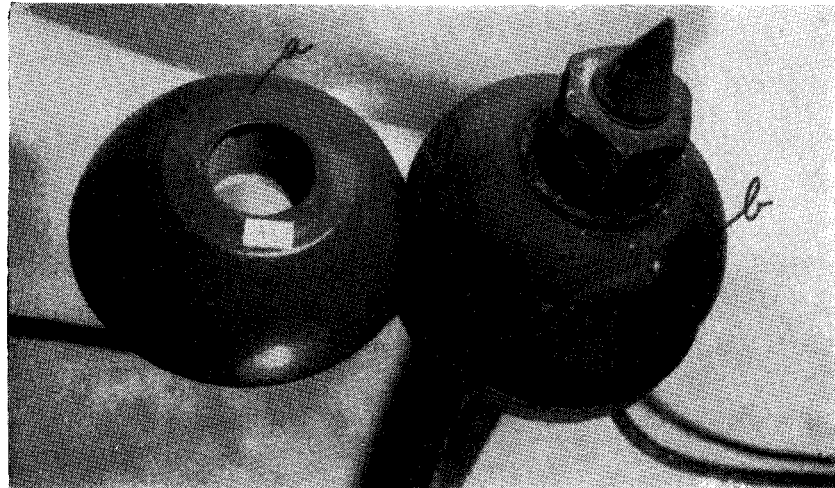


Figure 16

- a) *calotte neuve*
- b) *calotte après douze ans d'installation*

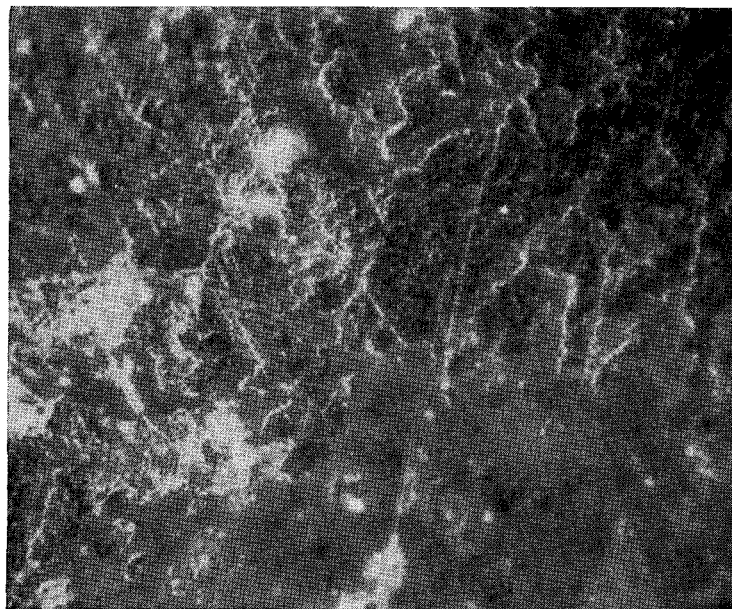


Figure 17

*Porcelaine usagée*  
(grossissement  $\times 370$ )

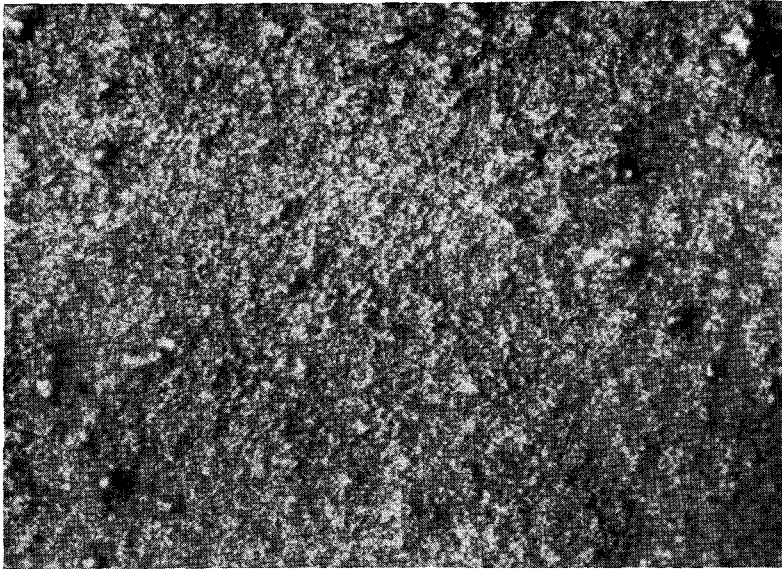


Figure 18

*Porcelaine usagée*  
(grossissement  $\times 370$ )

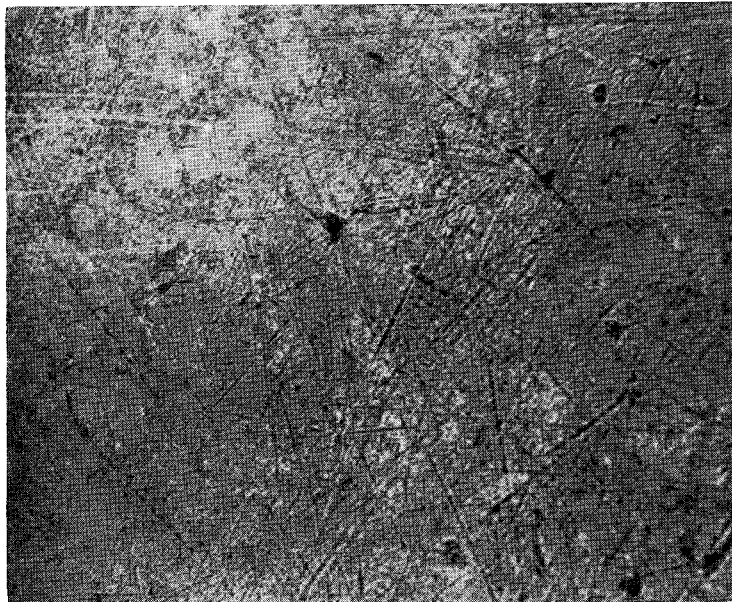


Figure 19

*Porcelaine neuve*  
(grossissement  $\times 370$ )

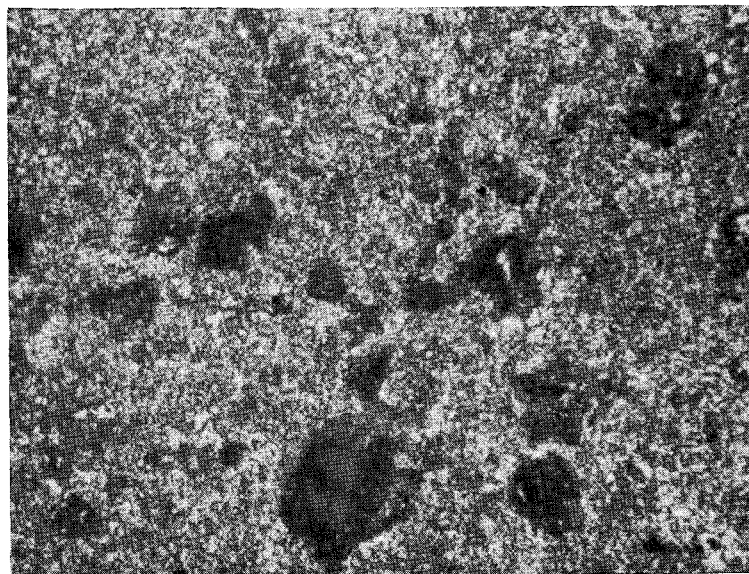
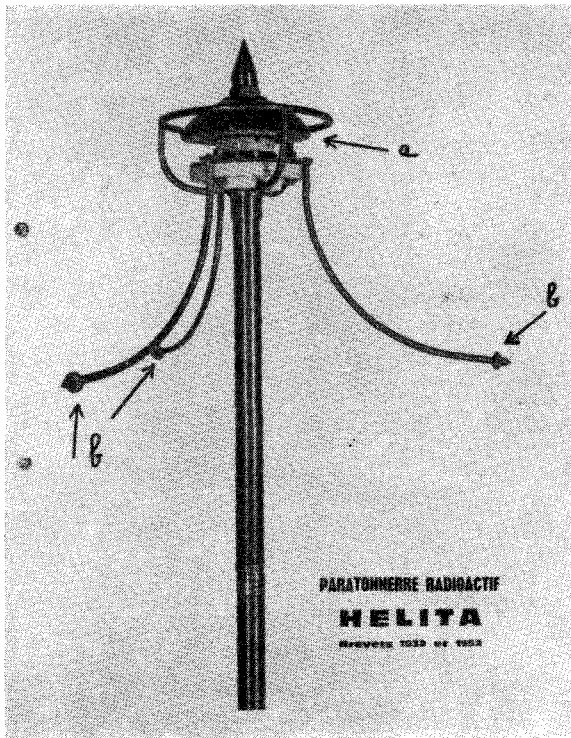


Figure 20

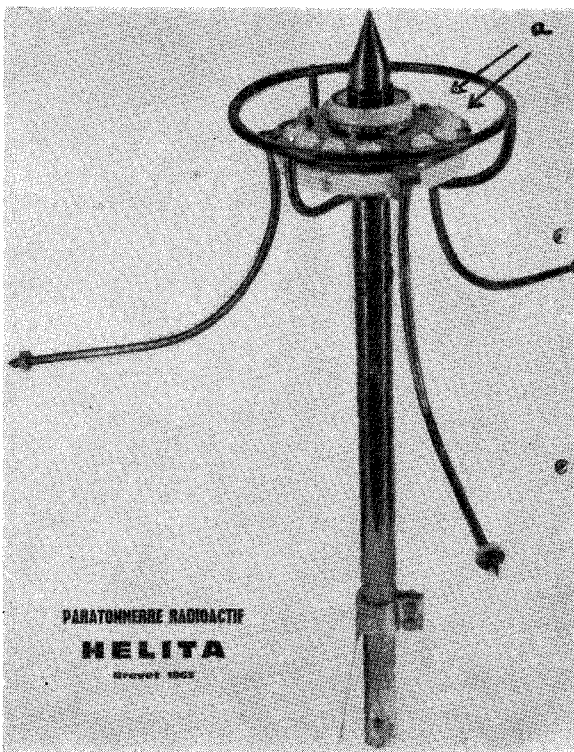
*Porcelaine neuve après essai*  
*« abrasion par le vent »*  
(grossissement  $\times 135$ )



- a) *calotte de porcelaine recouverte extérieurement d'une couche d'émail radioactif*
- b) *anneau recouvert d'une couche d'émail actif*

Figure 21

Paratonnerre Helita  
Modèle 1932



- a) *billes de porcelaine recouvertes d'une couche d'émail radioactif*

Figure 22

Paratonnerre Helita  
Modèle 1963

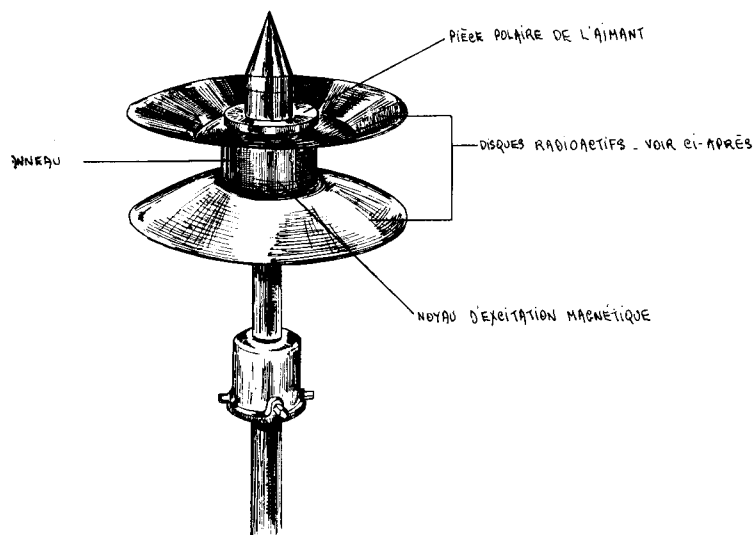


Figure 23

Paratonnerre Kapton

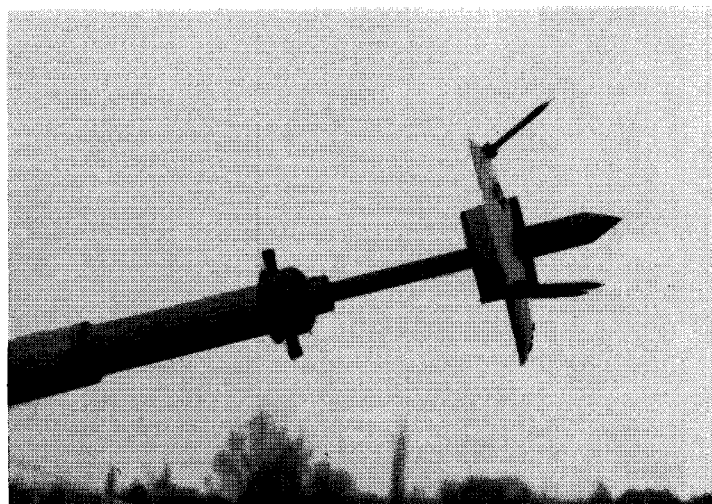


Figure 24

Paratonnerre Horemans-Souply  
Paratonnerre en cours de montage

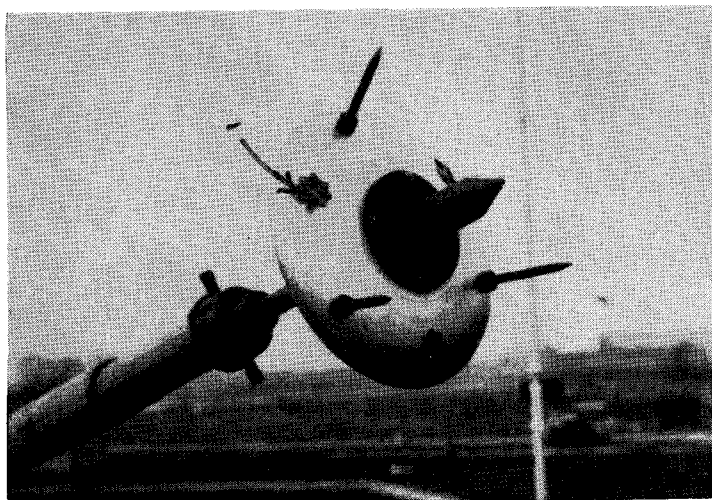


Figure 25

Paratonnerre Horemans-Souply  
Sources radioactives  
sous forme de ruban

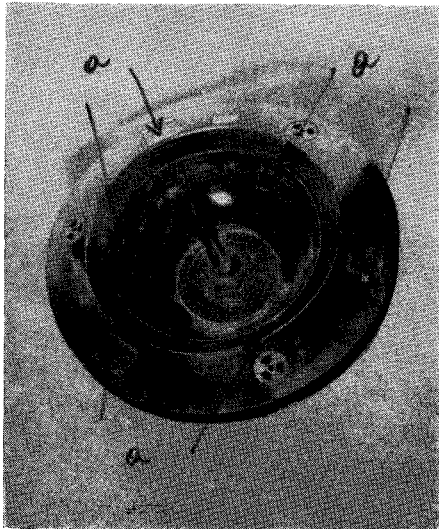


Figure 26

Paratonnerre Preventor

*Six sources radioactives sous forme de ruban (a)*

*Pour détail de montage voir figure 3 b*

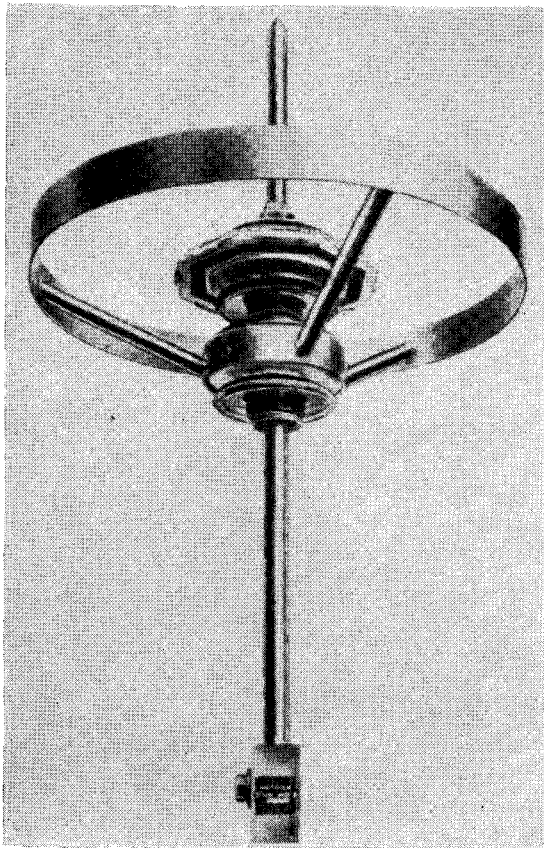


Figure 27

Paratonnerre Saref ou EF

*Support massif hexagonal*

*Six sources radioactives sous forme de ruban (a)*

*Pour détail de montage voir figure 3 c*

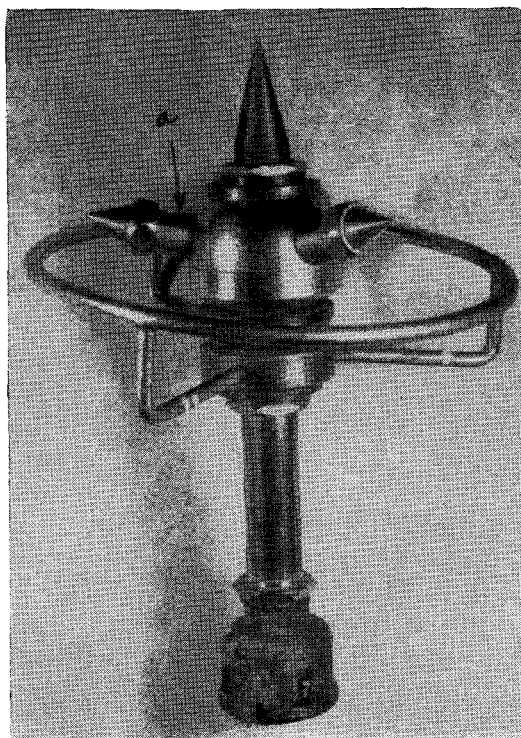


Figure 28

Paratonnerre Combinator

a) *Source sous forme de bande fixée entre la tige et un anneau de serrage*



Figure 29

*Détail du support de la source*

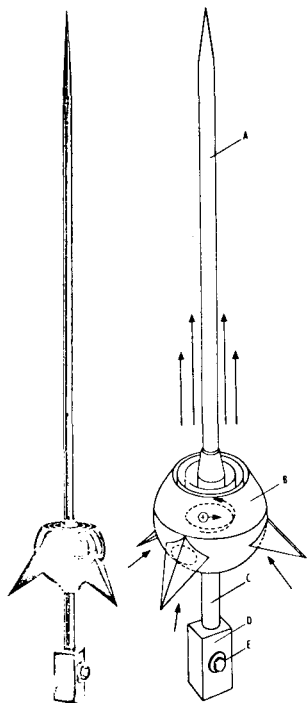


Figure 30

Paratonnerre Messien  
Type Parasphère

- A, B, C, D, E: parties conventionnelles du paratonnerre
- La source est appliquée à l'intérieur de la sphère (B).  
Ce point n'est pas précisé par le fabricant

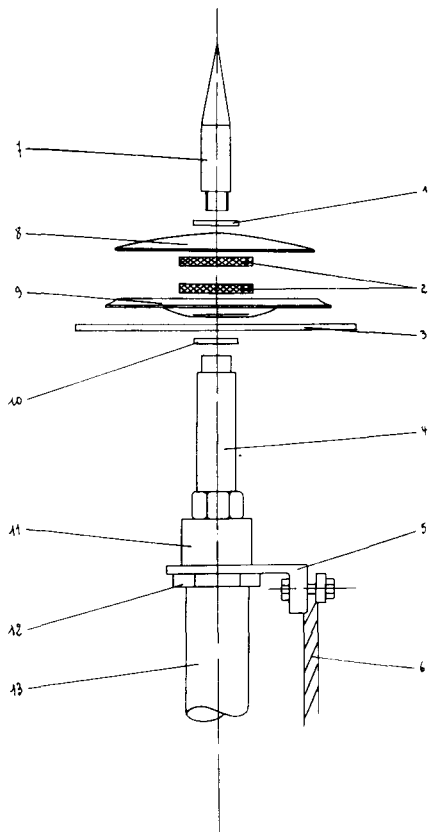


Figure 31

Paratonnerre Protector

- 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13: parties conventionnelles du paratonnerre
- 2. Conteneur de la dose de radium-élément, proportionnée au rayon d'action en matériau « transparent » aux radiations gamma
- 3. Disque de protection en plomb



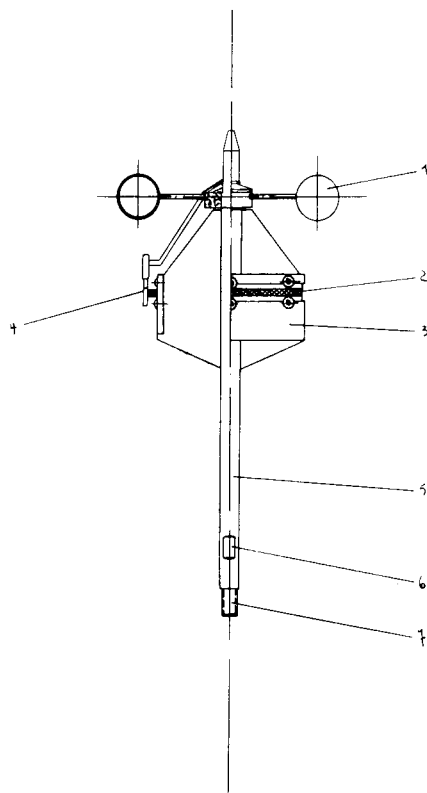


Figure 32

Paratonnerre Ionocaptor

- 1. Système giratoire du type anémomètre
- 2. Source radioactive
- 3. Support cylindrique

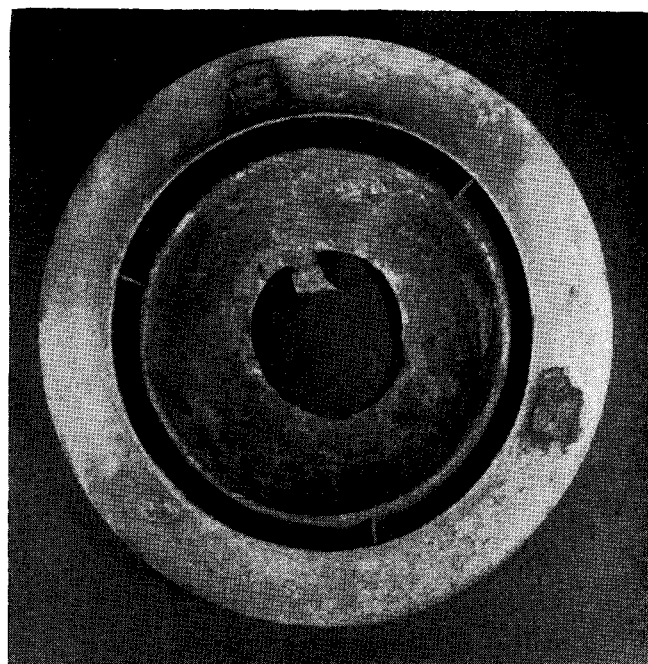
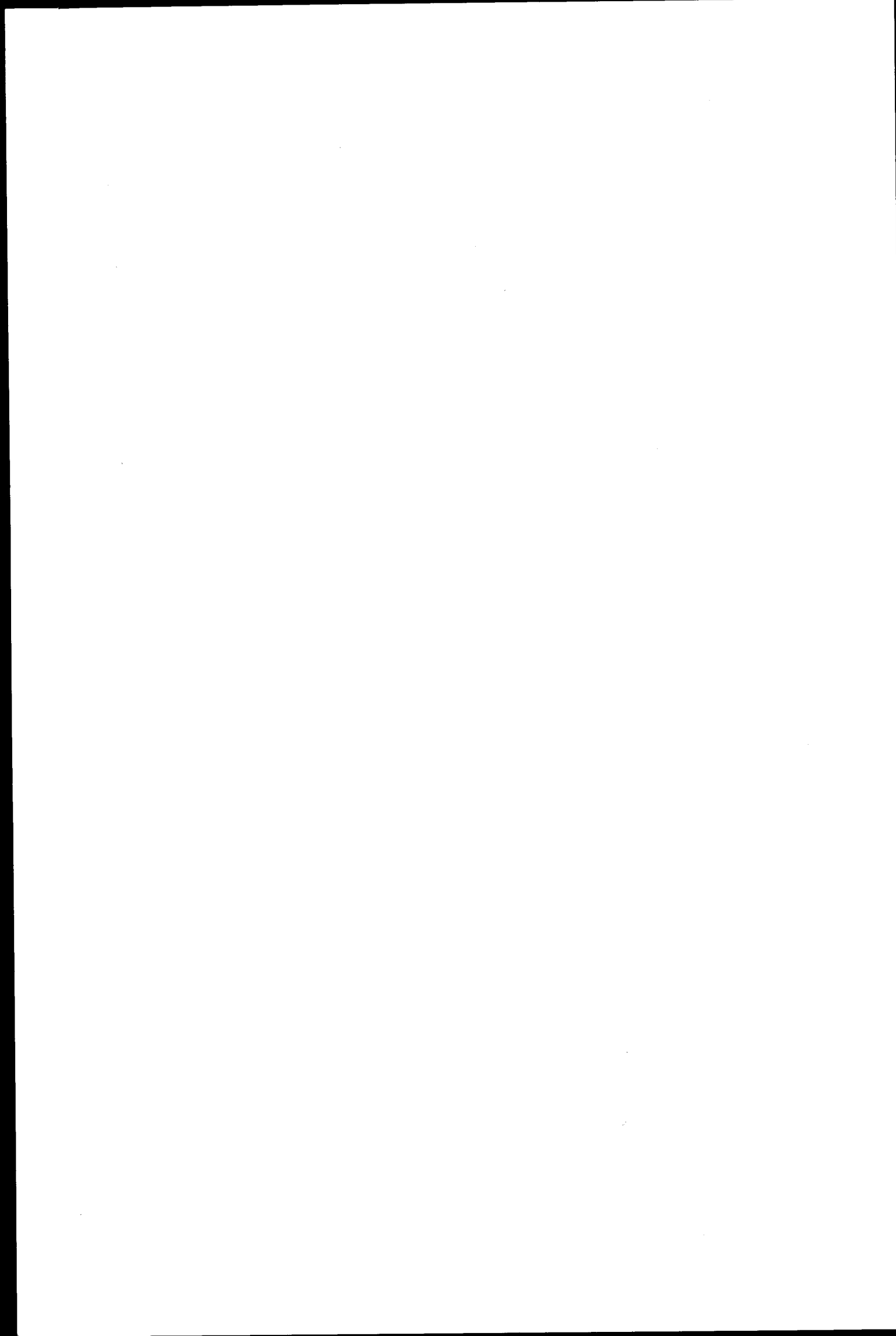


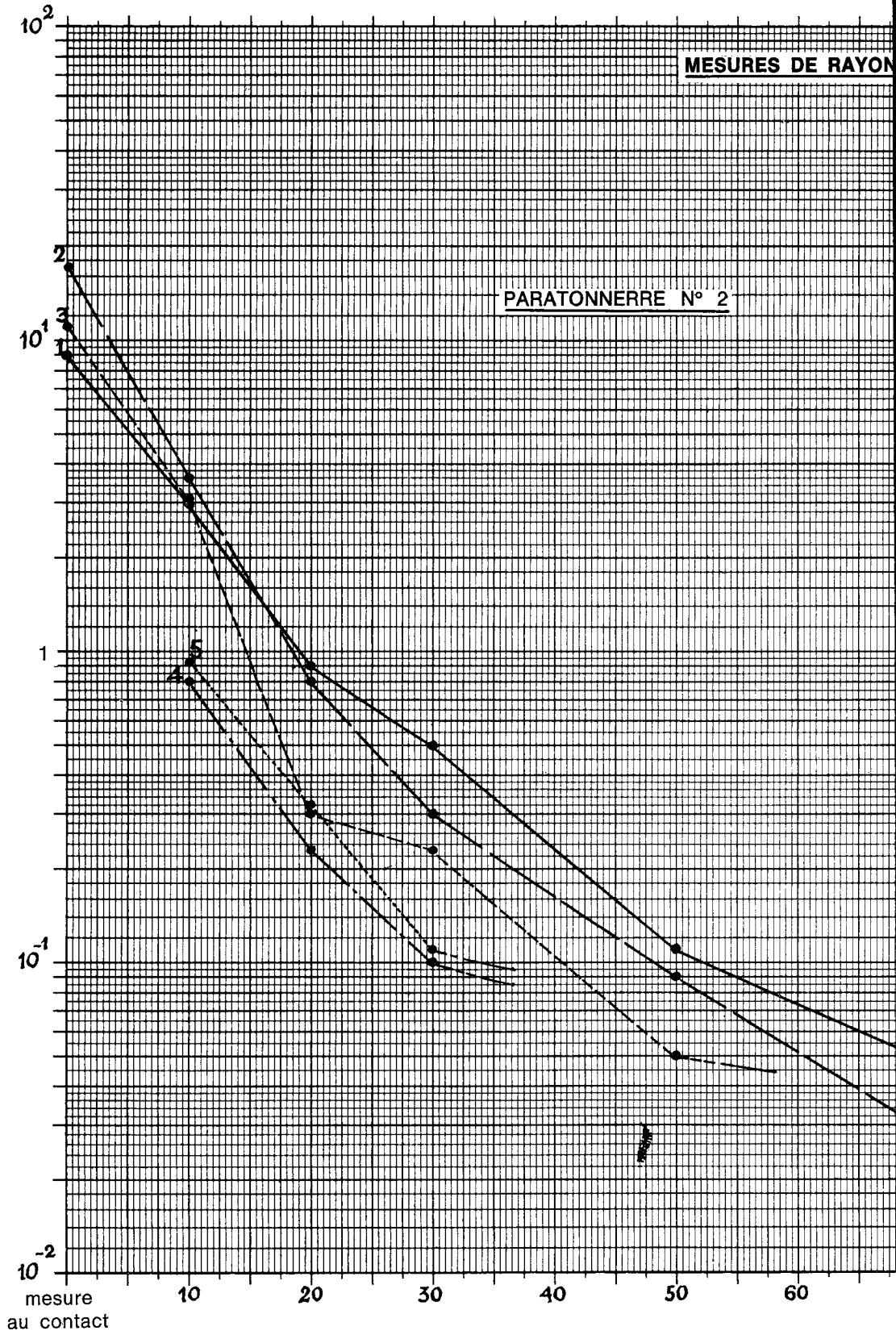
Figure 33

Aspect d'un paratonnerre installé pendant 5 ans au sommet d'une cheminée d'un four à chaux



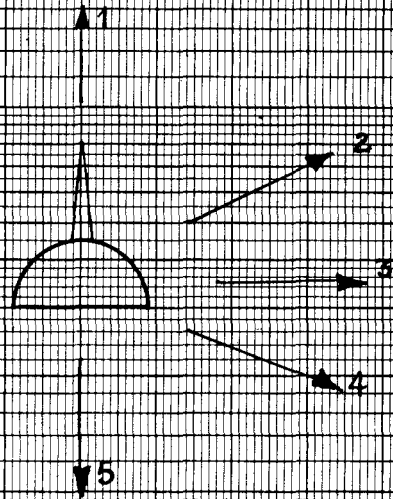
MESURES DE RAYON

PARATONNERRE N° 2



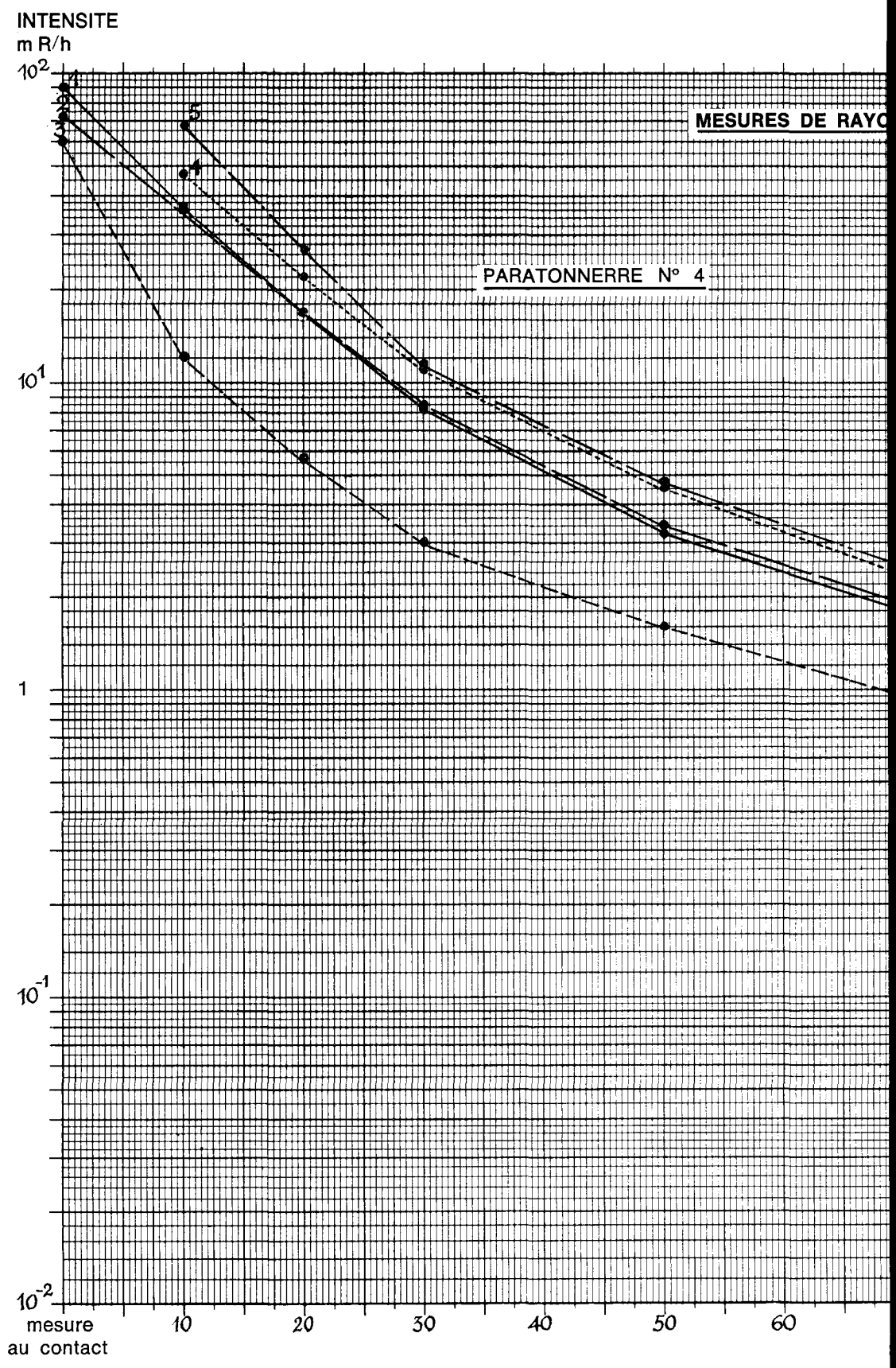
**INEMENT GAMMA**

- 1. DIRECTION NORMALE VERS LE HAUT
- 2. DIRECTION A 45° VERS LE HAUT
- 3. DIRECTION HORIZONTALE
- 4. DIRECTION A 45° VERS LE BAS
- 5. DIRECTION NORMALE VERS LE BAS



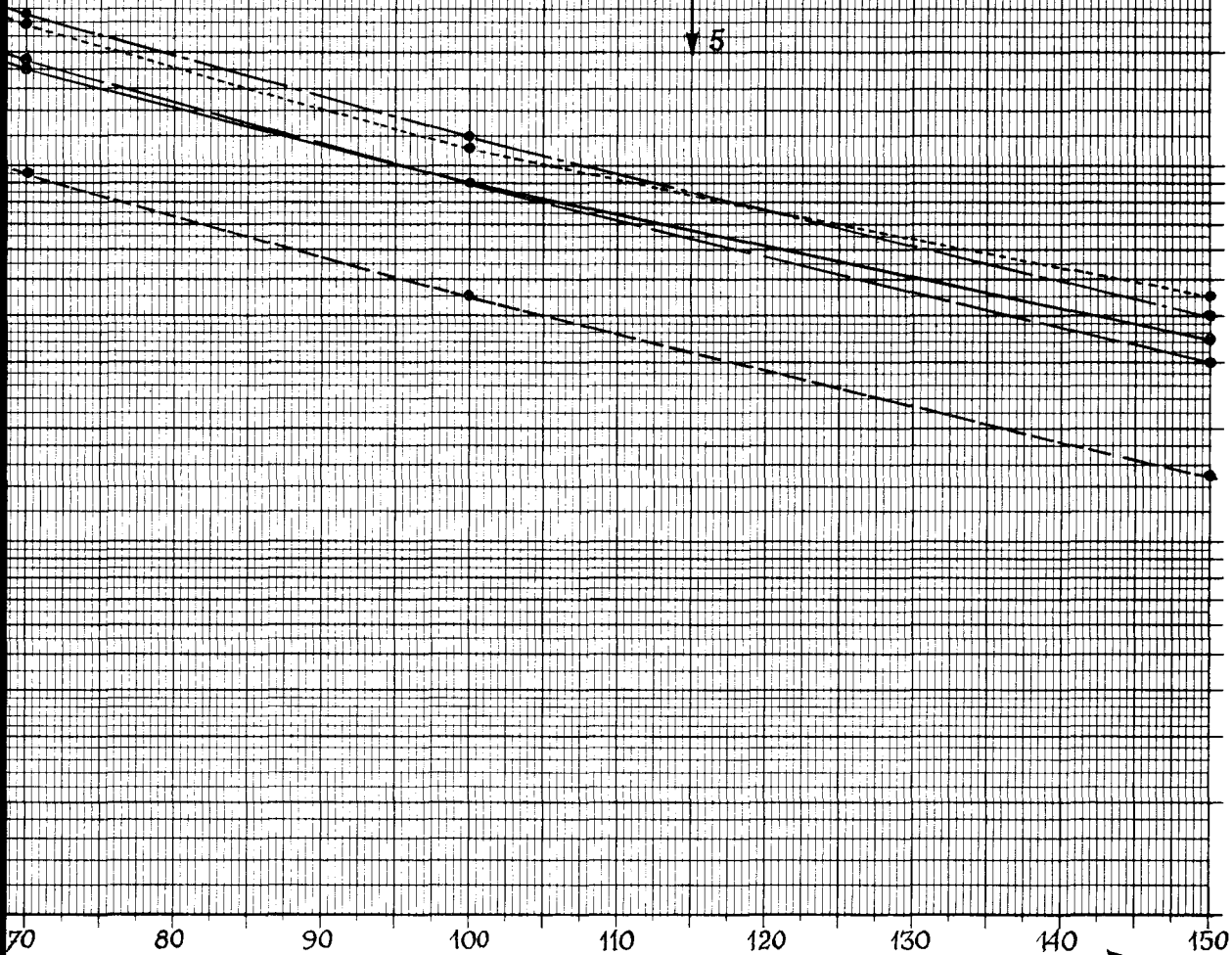
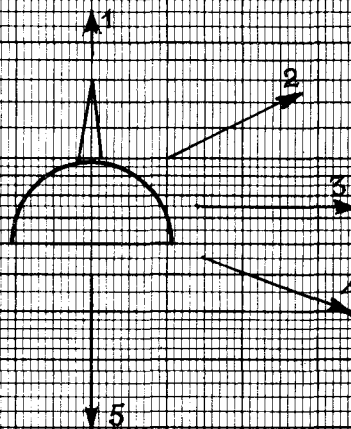
70 80 90 100 110 120 130 140 150

DISTANCE AU CENTRE DU PARATONNERRE (cm)



**ONNEMENT GAMMA**

- 1. DIRECTION NORMALE VERS LE HAUT
- 2. DIRECTION A 45° VERS LE HAUT
- 3. DIRECTION HORIZONTALE
- 4. DIRECTION A 45° VERS LE BAS
- 5. DIRECTION NORMALE VERS LE BAS



DISTANCE AU CENTRE DU PARATONNERRE (cm)

INTENSITE  
m R/h

$10^2$

MESURES DE RAYO

PARATONNERRE N° 6

$10^1$

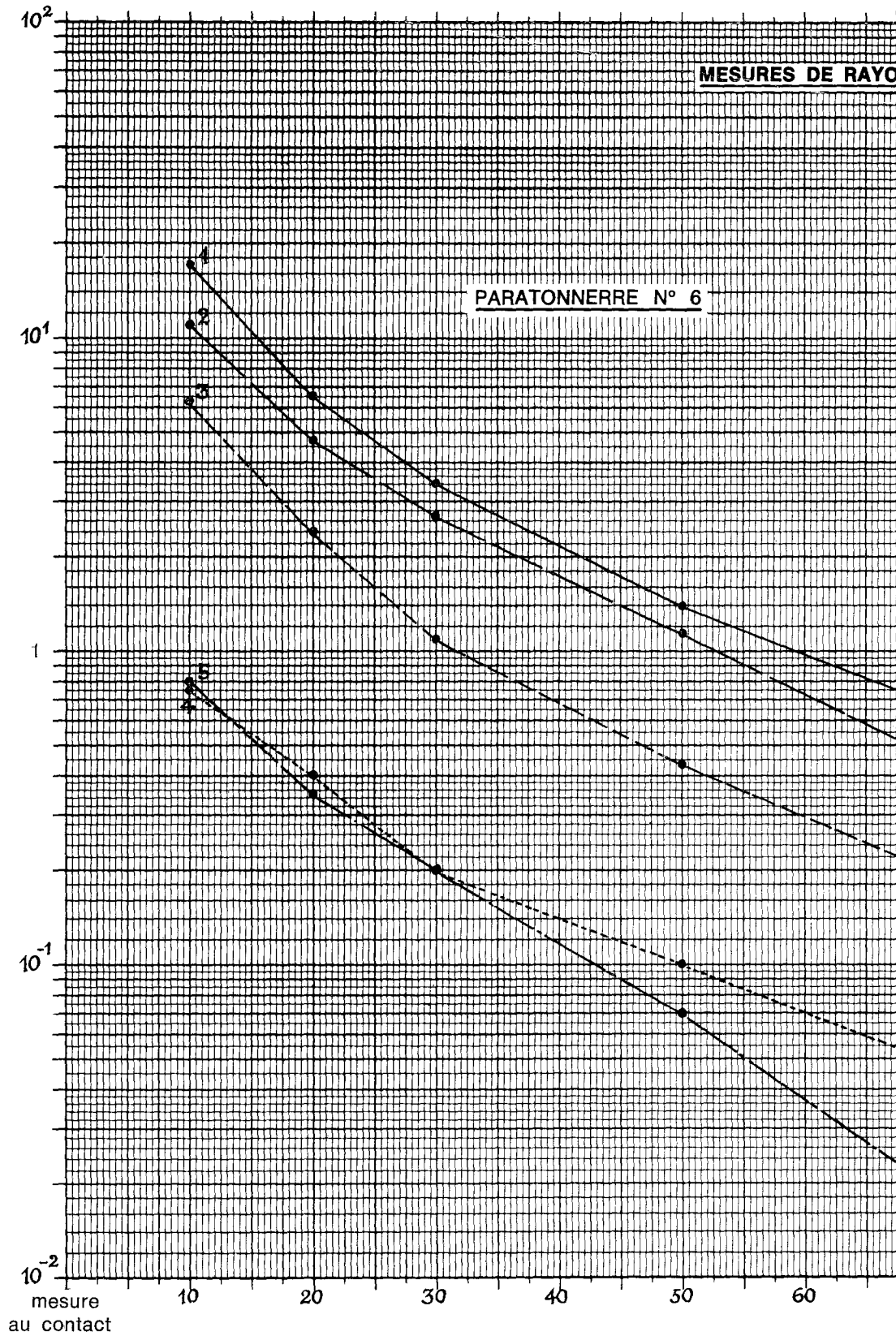
1

$10^{-1}$

$10^{-2}$

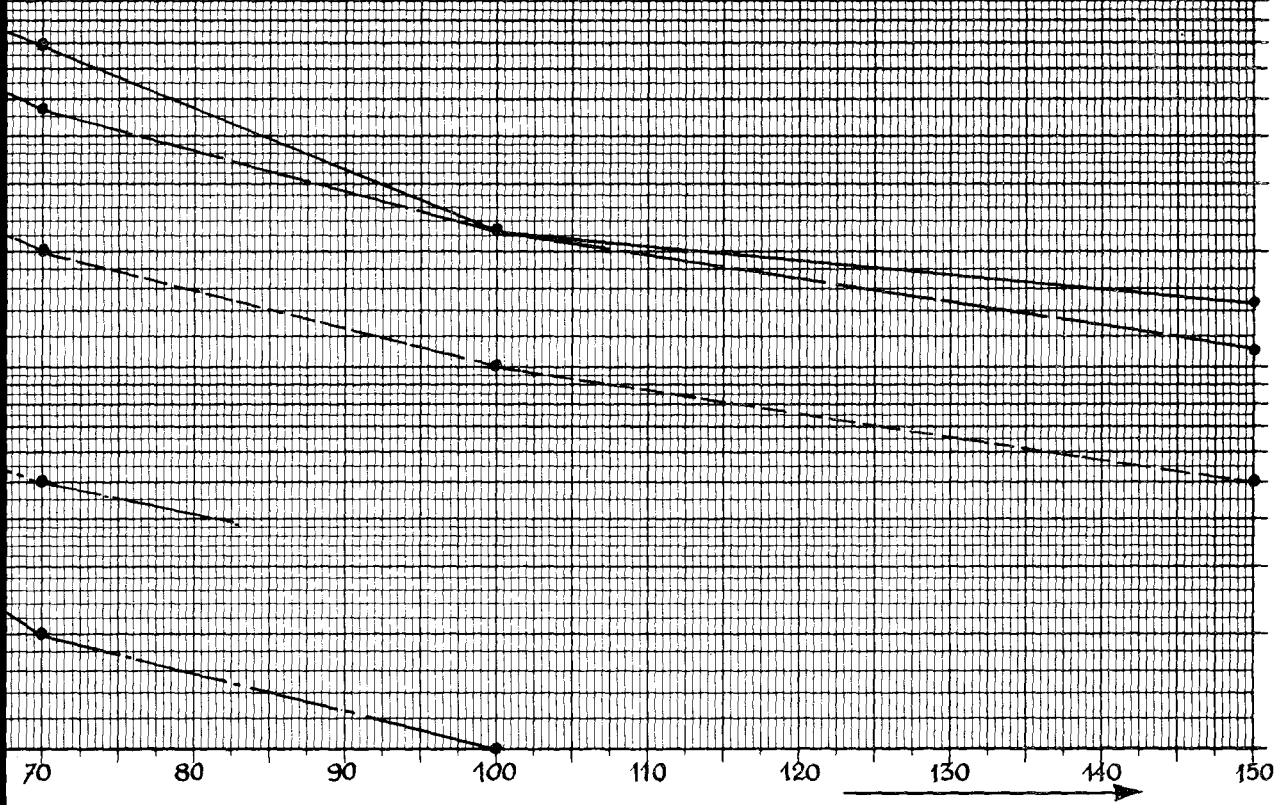
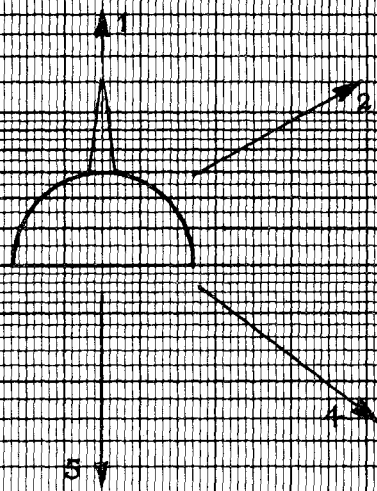
mesure  
au contact

10 20 30 40 50 60



**ANNEXE GAMMA**

1. DIRECTION NORMALE VERS LE HAUT
2. DIRECTION A 45° VERS LE HAUT
3. DIRECTION HORIZONTALE
4. DIRECTION A 45° VERS LE BAS
5. DIRECTION NORMALE VERS LE BAS

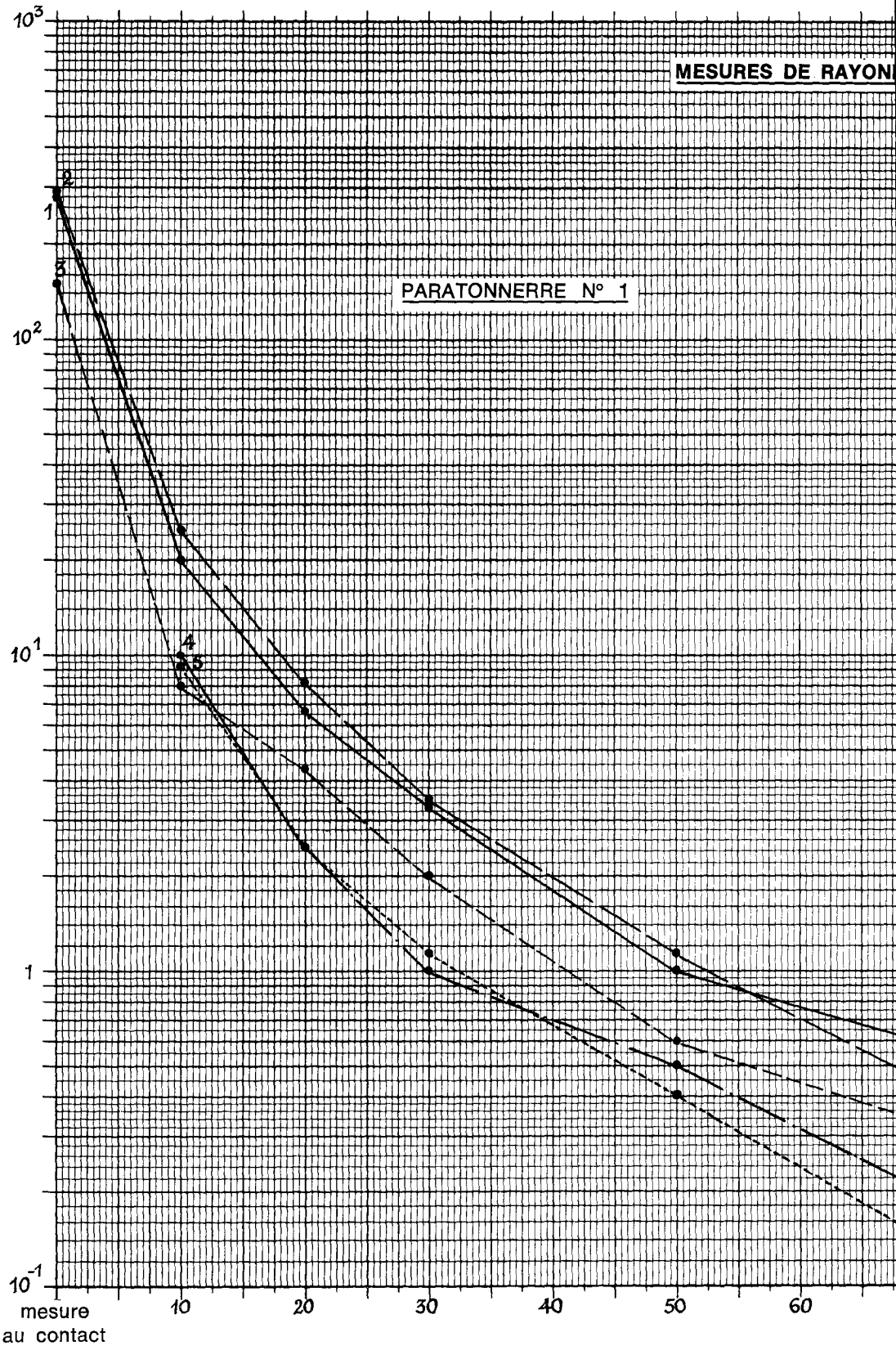


DISTANCE AU CENTRE DU PARATONNERRE (cm)



INTENSITE  
mrad/h

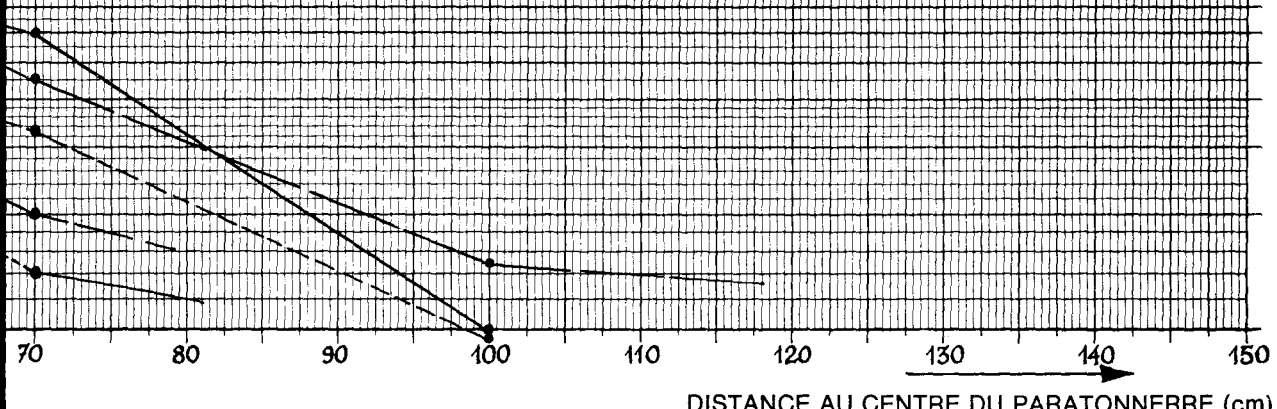
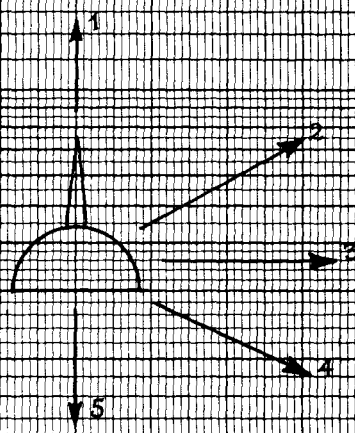
MESURES DE RAYON



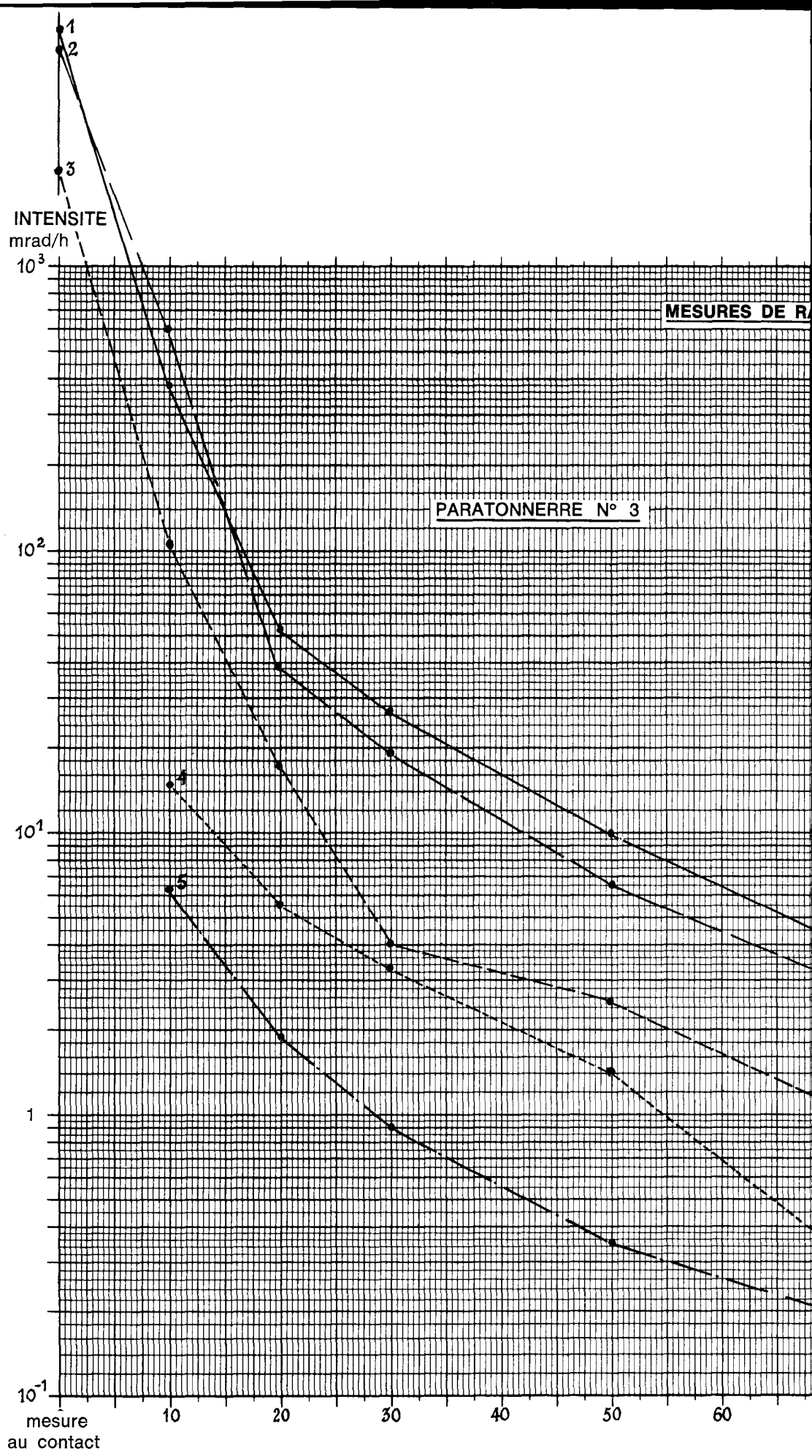
mesure  
au contact

**NEMENT BETA**

- 1. DIRECTION NORMALE VERS LE HAUT
- 2. DIRECTION A 45° VERS LE HAUT
- 3. DIRECTION HORIZONTALE
- 4. DIRECTION A 45° VERS LE BAS
- 5. DIRECTION NORMALE VERS LE BAS

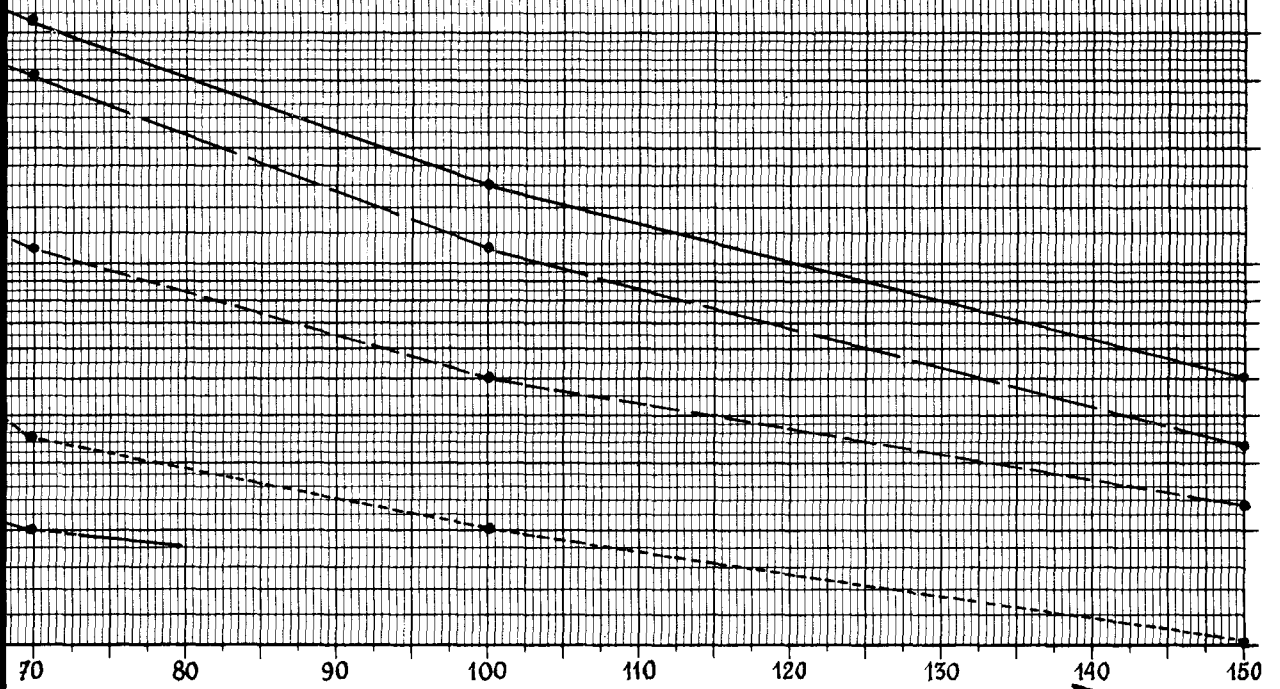
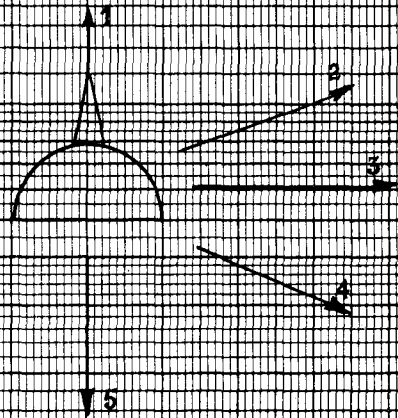


DISTANCE AU CENTRE DU PARATONNERRE (cm)



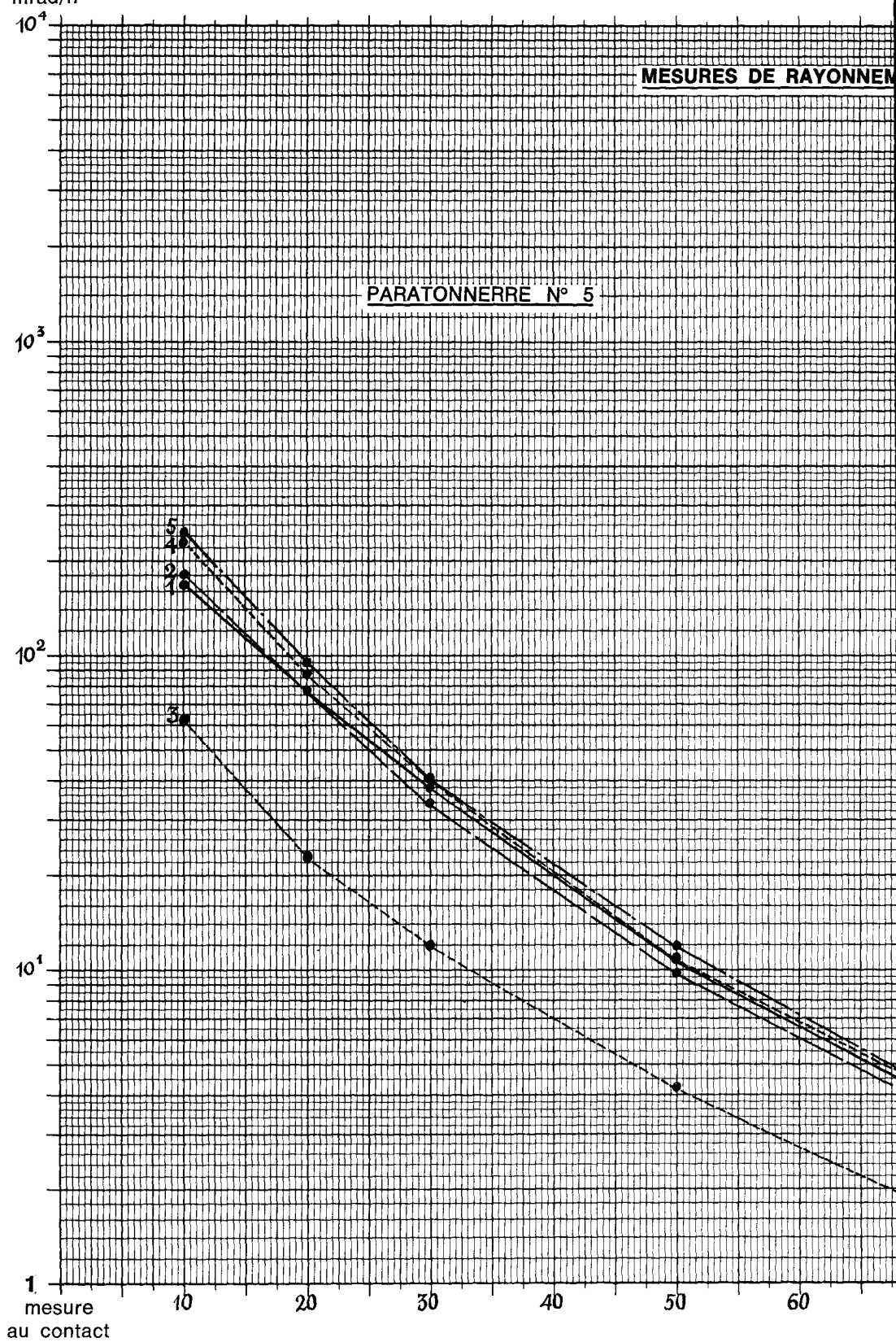
**RAYONNEMENT BETA**

1. DIRECTION NORMALE VERS LE HAUT
2. DIRECTION A 45° VERS LE HAUT
3. DIRECTION HORIZONTALE
4. DIRECTION A 45° VERS LE BAS
5. DIRECTION NORMALE VERS LE BAS



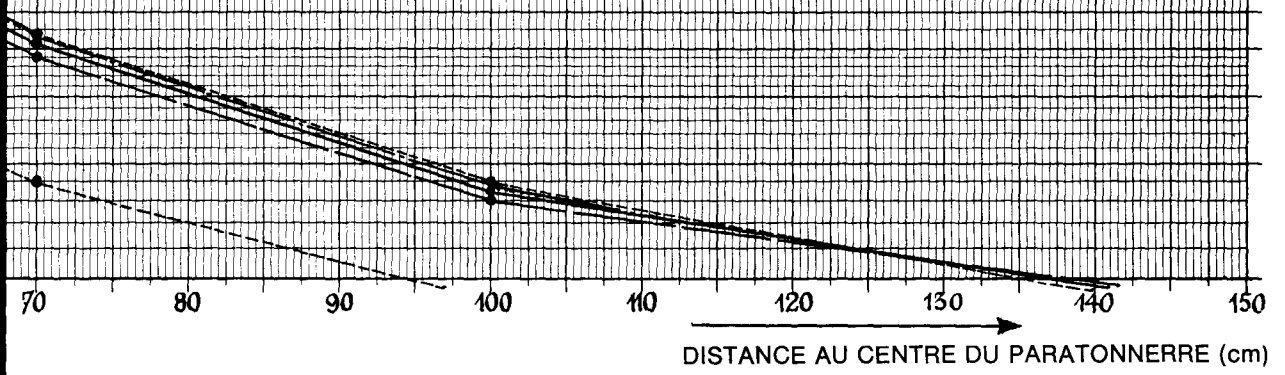
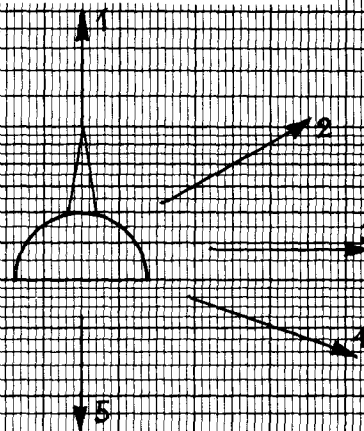
DISTANCE AU CENTRE DU PARATONNERRE (cm)

INTENSITE  
mrad/h

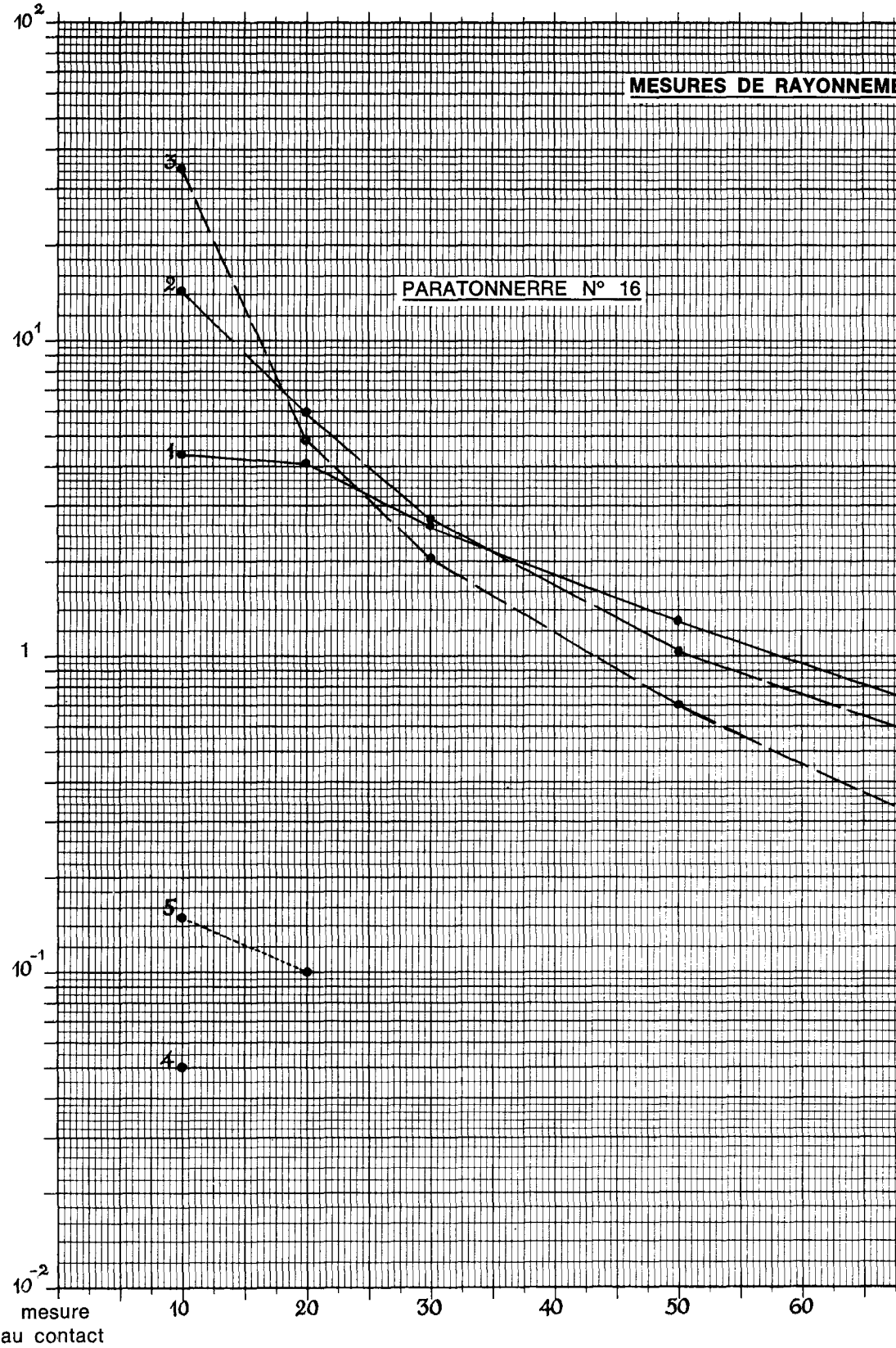


**MENT BETA**

- 1. DIRECTION NORMALE VERS LE HAUT
- 2. DIRECTION A 45° VERS LE HAUT
- 3. DIRECTION HORIZONTALE
- 4. DIRECTION A 45° VERS LE BAS
- 5. DIRECTION NORMALE VERS LE BAS

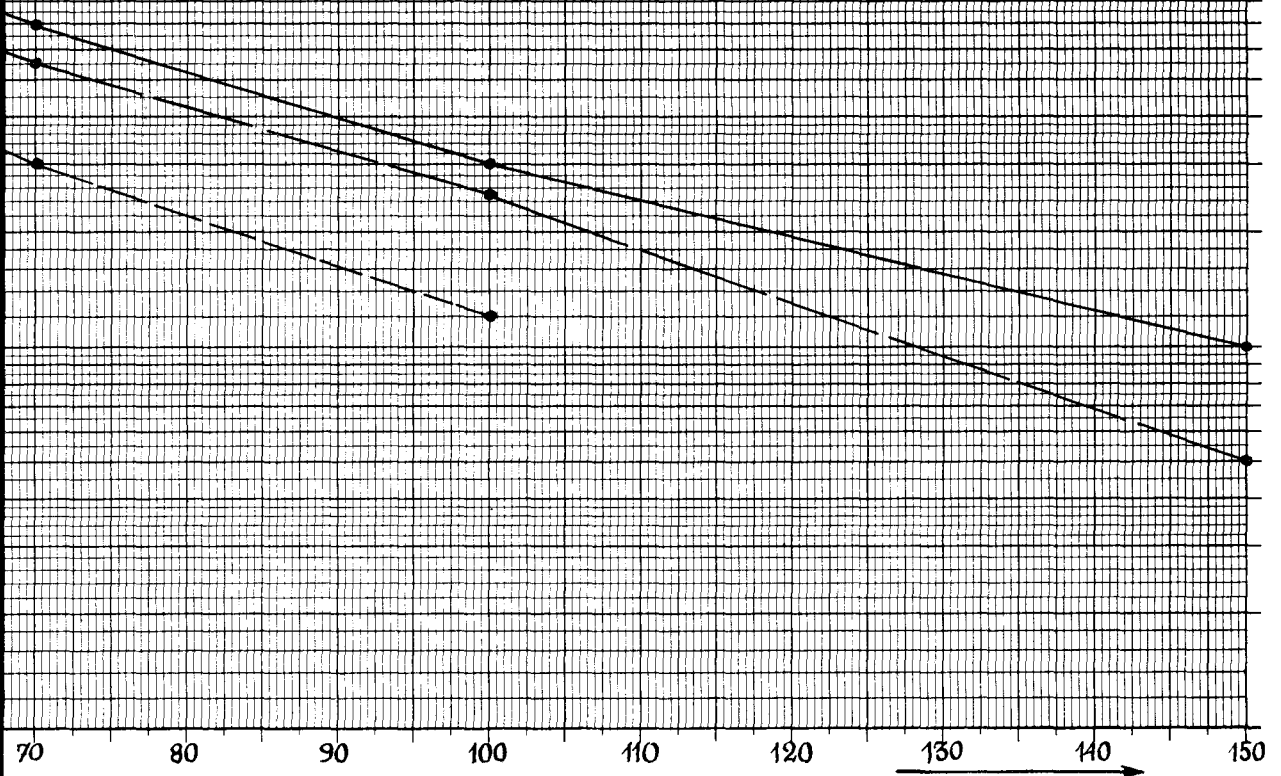
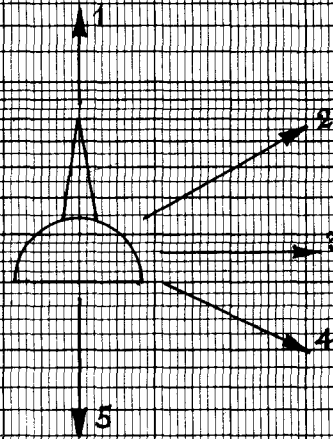


INTENSITE  
mrad/h



**INT BETA (Electrons secondaires)**

1. DIRECTION NORMALE VERS LE HAUT
2. DIRECTION A 45° VERS LE HAUT
3. DIRECTION HORIZONTALE
4. DIRECTION A 45° VERS LE BAS
5. DIRECTION NORMALE VERS LE BAS



DISTANCE AU CENTRE DU PARATONNERRE (cm)



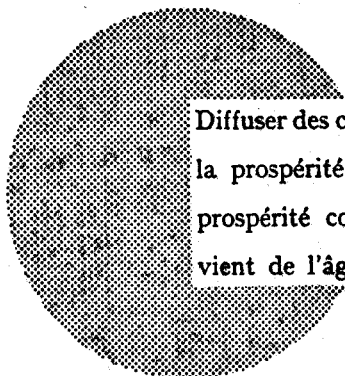
## AVIS AU LECTEUR

Tous les rapports Euratom sont signalés, au fur et à mesure de leur publication, dans le périodique mensuel **EURO ABSTRACTS**, édité par le Centre d'information et de documentation (CID). Pour souscrire un abonnement (1 an: FB 820) ou recevoir un numéro spécimen, prière d'écrire à:

**Handelsblatt GmbH**  
**"Euro Abstracts"**  
**Postfach 1102**  
**D-4 Düsseldorf (Allemagne)**

ou à

**Office de vente des publications officielles**  
**des Communautés européennes**  
**37, rue Glesener**  
**Luxembourg**



Diffuser des connaissances c'est distribuer de la prospérité — j'entends la prospérité collective et non la richesse individuelle — et cette prospérité contribue largement à la disparition du mal qui nous vient de l'âge des ténèbres.

Alfred Nobel

## BUREAUX DE VENTE

Tous les rapports publiés par la Commission des Communautés Européennes sont vendus dans les bureaux suivants, aux prix indiqués au verso de la première page de couverture. Lors de la commande, bien indiquer le numéro EUR et le titre du rapport, qui figurent sur la première page de couverture.

### OFFICE DE VENTE DES PUBLICATIONS OFFICIELLES DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

37, rue Glesener, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

#### BELGIQUE — BELGIE

MONITEUR BELGE  
Rue de Louvain 40-42, 1000 Bruxelles  
BELGISCH STAATSBLAD  
Leuvenseweg 40-42, 1000 Brussel

#### DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER  
Postfach - 5000 Köln 1

#### FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
26, rue Desaix - 75 Paris 15<sup>e</sup>

#### ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO  
Piazza G. Verdi, 10 - 00198 Roma

#### LUXEMBOURG

OFFICE DE VENTE DES  
PUBLICATIONS OFFICIELLES DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
37, rue Glesener - Luxembourg

#### NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ  
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

#### UNITED KINGDOM

H. M. STATIONERY OFFICE  
P. O. Box 569 - London S.E.1

Commission des  
Communautés Européennes  
D. G. XIII — C.I.D.  
200, rue de la Loi  
1040 Bruxelles (Belgique)