

1. INTRODUCTION

This is the third and last volume (Part III) of a series of compilations of radiation damage test data published by the European Organization for Nuclear Research (CERN) on the results and experience gained there over the last 10 years, particularly during the construction and operation of the 450 GeV Super Proton Synchrotron (SPS).

Part I¹⁾ contains data on commercially available cable-insulating materials, a list of which can be found in Appendix 1. The test samples were supplied by some 30 European cable manufacturers in the form of moulded plates, from which tensile test samples (ISO/R 37, ISO/R 527) were cut. The degradation of the mechanical properties and Shore hardness (ISO 868) are reported as a function of the absorbed dose in the range of 5×10^5 to 5×10^6 Gy. As an end-point criterion for an elastic cable-insulating material, we consider it to be radiation resistant up to a dose at which the elongation at break is 100% or more.

Part II²⁾ contains thermosetting and thermoplastic resins, with the exception of cable-insulating materials (see Appendix 1). Most of the data have been obtained from epoxy resins used as insulation for large high-energy accelerator magnet coils. Again, mechanical properties have been recorded as a function of the absorbed dose in the range of 5×10^6 to 1×10^8 Gy but, in the case of rigid plastics, flexion tests (ISO 178) have been carried out. As an end-point criterion we require that at a given dose D the ultimate flexural strength of the material is 50% or more of the initial value at zero dose. The electrical properties have not been tested, since usually the permanent effects only become important at doses where the mechanical damage is already severe.

The present Part III contains all items which did not fit into the two previous ones, e.g. cable ties, glass, hoses, motors, oils, paints, relays, scintillators, seals, etc. The items for the irradiation tests either have been supplied by firms from whom CERN had intentions of buying certain items containing materials that were particularly sensitive to radiation, or they have simply been taken from the CERN stock without particular choice of material and supplier. In addition, tables of general relative radiation effects (see Appendix 5) and cross-references to the main entries of all three volumes are given, as will be explained in Section 3. Therefore the present volume can be used as a guide to information contained in the whole series of data compilations.

Contrary to Parts I and II, where irradiation and test procedures could be carried out in accordance with IEC Standard 544³⁾ for insulating materials, the variety of materials and components presented here had to be irradiated and tested in a specific non-standard way depending on size, composition, and functions. Also, the critical test parameters are often only vaguely

1. INTRODUCTION

Ce volume est le troisième et dernier (III^e partie) d'une série de publications de résultats d'essais de radio-résistance des matériaux obtenus à l'Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire (CERN) au moyen d'essais effectués au cours des dix dernières années, en particulier pendant la construction, puis le fonctionnement, du super synchrotron à protons de 450 GeV (SPS).

La première partie¹⁾ traite de la radio-résistance des matériaux utilisés comme isolants pour les câbles électriques. Une liste alphabétique de ces matériaux se trouve ici dans l'appendice 1. Environ trente fabricants européens de câbles ont fourni les échantillons pour ces essais, sous forme de plaques moulées. Les propriétés mécaniques (résistance à la traction ISO/R 37, ISO/R 527) et la dureté Shore (ISO 868) sont présentées en fonction de la dose absorbée, pour une gamme de doses allant de 5×10^5 à 5×10^6 Gy. Dans notre définition du critère de dégradation, nous considérons un isolant de câble radio-résistant si, à une dose seuil donnée, l'allongement à la rupture est encore égal ou supérieur à 100%.

La seconde partie²⁾ contient les résultats concernant les résines thermodurcissables et thermoplastiques, à l'exception des isolants de câbles (voir appendice 1). Dans la plupart des cas, il s'agit de résines époxydes utilisées pour l'isolation des bobines d'aimant pour les accélérateurs à haute énergie. Les propriétés mécaniques sont de nouveau données en fonction de la dose absorbée, pour une gamme de doses allant de 5×10^6 à 1×10^8 Gy; dans le cas des plastiques rigides, nous avons effectué des tests de flexion (ISO 178). Le critère de dégradation choisi exige qu'à une dose seuil D, la résistance à la flexion du matériel soit encore supérieure ou égale à 50% de la valeur initiale à dose zéro. Nous n'avons pas étudié les propriétés électriques car, en général, elles commencent à changer à des doses où les dégradations mécaniques sont déjà très importantes.

Le présent volume (troisième partie) contient tous les objets et produits que l'on ne pouvait inclure dans les catalogues précédents, par exemple les ligatures de câbles, le verre, les tuyaux, les moteurs, les huiles, les peintures, les relais, les scintillateurs, les O-rings, etc. Les objets à soumettre aux tests d'irradiation proviennent de l'une ou l'autre de deux sources: ou bien ils ont été confiés par des firmes auxquelles le CERN avait l'intention d'acheter des objets contenant des matériaux particulièrement radiosensibles, ou bien ils ont été pris aux stocks du CERN sans qu'il ait été fait un choix particulier du matériau ou de sa provenance. Nous présentons en outre des tableaux qui donnent les effets des radiations en général (voir appendice 5), ainsi que les références des sujets principaux traités dans les trois volumes, comme nous l'expliquerons dans la section 3.

defined, and in some cases we had to restrict ourselves to operational tests or to visual inspections. The methods of irradiation and testing will be discussed in more detail in Sections 2 and 3. In some cases, the tests have been performed by specialists interested in the application (see references). We are grateful to them for having made their results available for this publication.

The entries in this series of data compilation cover a large spectrum of materials and components used in high-energy accelerator engineering; however, this list is still far from complete. Also, because of the extended period of about 10 years during which the data were being collected, several items may have become obsolete, or they are no longer available on the market. Nevertheless, the data presented could provide easily accessible information for the use of design engineers when selecting materials or when deciding whether further radiation damage tests have to be carried out.

As to the future project to build at CERN a large electron/positron storage ring (LEP), we should make it clear that all information contained in these three volumes on organic materials, representing the highest number of entries, is also valid for the radiation environment around this new installation. This is due to the fact that for organic materials the damage is to a large extent related to the absorbed dose irrespective of the type of radiation⁴⁾. For inorganic substances, e.g. semiconductors and metals, this is not true, and great care must be taken if the radiation field in an application is different to the one during the radiation test. At this point we would like to stress that electronics components are amongst the most radiation-sensitive items used in accelerator engineering. Although electromagnetic radiation, which will be the main contribution to the absorbed dose at LEP, may cause up to 100 times less damage to semiconductors than would particle radiation from proton accelerators or neutrons from a nuclear reactor⁵⁾, this has to be seriously considered. A data compilation⁶⁾, made for European space projects, of the effects of electromagnetic radiation on electronic components is available and can be consulted for reference purposes.

2. IRRADIATION CONDITIONS

As mentioned in the Introduction, the irradiation conditions depend on the size, composition, and function of the item to be tested. Basically we used three radiation sources for this series of investigations:

- the 7 MW ASTRA pool reactor at Seibersdorf, Austria;
- ⁶⁰Co irradiators or spent-fuel elements;
- dump and target areas of the CERN accelerators.

Table 1⁷⁻¹¹⁾ gives a summary of the characteristics of the various irradiation sources and their positions, and indicates which items have been irradiated there.

Par conséquent, nous pouvons considérer cette partie comme un guide des informations contenues dans la série complète.

Dans les Parties I et II, les irradiations des matériaux isolants ont été effectuées en accord avec la norme IEC 544³⁾. Dans le cas présent ceci n'était pas possible à cause de la diversité des matériaux et composants qui ont été irradiés et testés selon leurs dimensions, leur composition et leurs utilisations. Souvent les paramètres des essais ont été insuffisamment définis et on a dû se restreindre à de simples tests d'observation et d'inspection visuelle. Les sections 2 et 3 seront consacrées aux méthodes d'irradiation et d'essais. Dans certains cas, les tests ont été exécutés par des spécialistes qui étaient intéressés à l'application d'un matériau (voir les références citées). Nous les remercions ici d'avoir mis leurs résultats à notre disposition.

Les éléments de cette série de compilations représentent un grand nombre de matériaux et composants utilisés dans la construction des accélérateurs à haute énergie; néanmoins, on ne peut considérer cette liste comme complète. D'autre part, il faut tenir compte du fait que ces résultats ont été recueillis en une dizaine d'années de travaux, et il n'est pas exclu que certains objets ne soient plus présents sur le marché. Malgré cet inconvénient les résultats présentés ici peuvent fournir aux ingénieurs des indications utiles et facilement accessibles pour choisir des matériaux ou pour prendre, dans certains cas, la décision d'effectuer des essais de radiation supplémentaires.

En ce qui concerne le nouveau projet de construction au CERN d'un anneau de stockage à électrons/positons (LEP), on peut souligner que toutes les informations contenues dans ces trois volumes sur les matériaux organiques (qui représentent de loin la branche la plus importante), restent utilisables pour les champs de radiation dans cette nouvelle installation. En effet, les dommages occasionnés aux matériaux organiques varient, dans la plupart des cas, en fonction de la dose absorbée et sont indépendants de la nature des radiations⁴⁾. En revanche, pour les composés inorganiques, par exemple semi-conducteurs et métaux, cette remarque n'est pas forcément exacte: il faut donc être très prudent dans le cas où le champ de radiation pendant le fonctionnement est différent de celui utilisé pour le test. Sur ce point nous aimerions attirer l'attention de l'utilisateur sur le fait que les composants électroniques sont parmi les objets les plus radiosensibles dans la construction des accélérateurs. Dans la machine LEP, la majeure partie des rayonnements sera du type électromagnétique qui, on le sait par expérience, peut causer jusqu'à 100 fois moins de dommages aux composants électroniques que les rayonnements issus d'accélérateurs à protons ou de réacteurs nucléaires⁵⁾. Toutefois, il faut être très attentif et nous citerons comme référence

Most of the materials have been irradiated in the nuclear reactor. This radiation source has the advantage of having a well-defined radiation field, reliable dosimetry methods, and sufficiently high dose rates and therefore short irradiation times. A detailed survey of the irradiation positions and dosimetry methods at the ASTRA reactor can be found elsewhere⁷⁾.

Spent-fuel elements (or switched-off reactor) and ⁶⁰Co irradiations were preferred for items with metallic parts which would have become too radioactive after irradiation in a reactor or a high-energy accelerator field. The radiation-sensitive parts within these items were, of course, the organic materials.

Irradiations around the CERN accelerators were carried out in only a very limited number of cases, the main reasons for this being the low dose rates, high dose gradients, imprecise knowledge of the particles and their energy spectra, and difficult dosimetry. Some parasitic irradiations were carried out on electronics components and on insulating materials, near dumps and target stations, in order to study the effect of the radiation field and the dose rate.

The aim of the tests presented in this compilation was to predict the lifetime of the materials and components used in a radiation environment, prior to their installation and operation. Therefore these types of tests are accelerated ones, where the integrated total dose is collected over a period ranging from hours up to three weeks, whereas the same dose, during operation, would be accumulated after periods usually exceeding 10 years.

It is known that radiation damage to organic materials may depend not only on the absorbed dose but also on the irradiation time and dose rate¹²⁻¹⁴⁾. The amount of oxygen available by diffusion into the sample, in relation to the number of radiation-produced chemically reactive radicals, or chain scission sites, may strongly influence the amount of permanent damage to the material. Therefore the damage caused by irradiation over a long period of time may be more important than damage from irradiation to the same total dose, at high dose rates for a short time. The dose rate effect is, in addition, dependent on the chemical structure of the material itself. The amount of oxygen available is a function of the sample thickness and of its permeability for gases, and of the amount of stabilizers added to the polymer to control oxidation damage under normal ageing conditions. For example, it is known that the effect is more pronounced in polyolefins [e.g. polyethylene (PE)], but is usually not of great importance for polyvinylchloride (PVC) and ethylene-propylene rubber (EPR).

Finally, we draw the attention of the user of this catalogue to the different dosimetry methods as listed in Table 1 for the various radiation sources. Only the calorimetric method yields a direct measure of the

une compilation⁶⁾ des effets de radiation par rayonnement électromagnétique sur les composants électroniques, éditée pour des projets spatiaux européens.

2. CONDITIONS D'IRRADIATION

Comme mentionné dans l'introduction, les conditions d'irradiation dépendent des dimensions, de la composition et des utilisations possibles des objets testés. Nous avons principalement utilisé trois modes d'irradiation:

- Le réacteur piscine ASTRA, de 7 MW, à Seibersdorf (Autriche);
- Une source de cobalt ou de combustible usé d'un réacteur;
- Des zones de cibles et des arrêts de faisceau des accélérateurs du CERN.

Le tableau 1⁷⁻¹¹⁾ présente un résumé des caractéristiques de ces différentes sources d'irradiation, ainsi que les positions d'irradiation avec indication des positions choisies pour les différents objets à tester.

La plupart des matériaux ont été irradiés dans le réacteur nucléaire. Cette source d'irradiation a l'avantage de posséder un champ de radiation bien défini, une méthode dosimétrique fiable et des débits de dose suffisamment élevés pour permettre des temps d'irradiation assez courts. Les détails sur les positions d'irradiation et la dosimétrie au réacteur ASTRA ont été présentés ailleurs⁷⁾.

Les combustibles du réacteur (ou réacteur éteint), ainsi que la source de cobalt, sont utilisés de préférence pour irradier les objets contenant des parties métalliques qui deviendraient trop radioactives dans un réacteur ou un accélérateur en fonctionnement. Les parties radiosensibles de ces objets sont, bien entendu, les composants organiques.

Nous n'avons effectué des irradiations autour des accélérateurs du CERN que dans très peu de cas. Les principales raisons en sont un faible débit de dose, un gradient de dose élevé, une dosimétrie difficile et une mauvaise connaissance du spectre des particules et de leur énergie. Quelques irradiations isolées ont été effectuées auprès des arrêts de faisceau et stations de cible sur des composants électroniques ainsi que sur des matériaux isolants, avec pour but l'étude des effets du champ de rayonnement et du débit de dose.

Le but de tous les essais présentés dans cette compilation est de prédire, avant leur installation et leur utilisation, le temps de vie ou de fonctionnement des matériaux et composants utilisés dans un champ de radiation. Par conséquent, ces types d'essais sont des essais accélérés, où l'on distribue la dose totale intégrée au cours d'une période qui peut aller de quelques heures à trois semaines, alors que les mêmes doses, pendant le fonctionnement réel, seront accumulées en général au bout de périodes dépassant dix ans.

absorbed dose, whereas all the other doses were obtained by intercalibration. All doses in this report are quoted in gray (Gy) for a $(\text{CH}_2)_n$ -type material ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 10^2 \text{ rad}$). For non-organic materials, e.g. semiconductors, this does not represent the true dose but serves as a comparative measure of exposure. If the true dose is needed for comparison with other data, it can be calculated from this by the methods described in Refs. 3 or 15, for example, if the atomic composition of the material is known.

3. PRESENTATION OF RESULTS

As demonstrated in the previous section, it is evident that in the complex field of radiation damage to materials a great number of parameters may influence the results, especially if a large variety of materials are tested and the doses range over six decades. Therefore the information presented has to be used with precaution and in many cases it can serve as a guideline only. We are confident, however, from the experience that we have gained over the last 10 years, that we can predict the expected lifetime of materials in a high-energy accelerator environment, within the right order of magnitude, using the results from our accelerated reactor tests. If the results for different items made of the same base material are found to differ, this may be due to a specific composition or test condition. Furthermore, the function of the items may require different degrees of performance from the base material, and therefore different appreciations of the radiation resistance may result.

As in the two preceding volumes, the data are presented in alphabetical order, and the following information can be found for tested materials or components:

- the keyword used to describe the entry;
- most radiation-sensitive base material used in the composition of the test item, followed by type, supplier, and an internal identification;
- a short description of the material;
- its application or use at CERN, if known;
- irradiation conditions specifying the radiation source, the medium, the dose rate, and the total integrated doses received by the material;
- the methods of testing, a short description, and the test standard if applicable;
- a summary of the results of tests; more details, when available, will be found on the opposite (left-hand) page.
- remarks, if any;
- references¹⁶⁻³⁵⁾ to where further data or information on this entry may be found;
- a general appreciation, illustrating graphically the dose range in which no damage (blank), light to moderate damage (hatched), and/or moderate to severe damage (black) can be expected. It is also indicated if

Il faut noter que les effets des radiations sur les matériaux organiques ne dépendent pas uniquement de la dose absorbée mais aussi du temps d'irradiation et du débit de dose¹²⁻¹⁴⁾. La quantité d'oxygène disponible par diffusion dans l'échantillon, en relation avec le nombre de radicaux chimiquement actifs durant l'irradiation, qui sont des positions de rupture de chaînes, peuvent fortement influencer les dommages subis par les matériaux. Il en résulte que les dommages causés au cours d'une longue période d'exposition peuvent être plus importants que ceux causés, à même dose intégrée, par des débits de dose élevés durant une courte période. De plus, la structure chimique du matériel influence cet effet de débit de dose. La disponibilité en oxygène est une fonction de l'épaisseur de l'échantillon, de sa perméabilité aux gaz et de la quantité de stabilisateurs présents dans le polymère pour contrôler les dommages par oxydation au cours du processus normal de vieillissement. Ainsi, il est connu que cet effet est plus important pour les polyoléfines [par exemple le polyéthylène (PE)] que pour le chlorure de polyvinyle (PVC) ou le caoutchouc éthylène propylène (EPR).

Enfin, nous attirons l'attention de l'utilisateur de ce catalogue sur les différentes méthodes dosimétriques présentées au tableau 1, et qui sont utilisées pour des sources d'irradiation différentes. Seule la méthode calorimétrique offre une mesure directe de la dose absorbée, alors que toutes les autres doses sont obtenues par intercalibration. Toutes les doses mentionnées dans ce catalogue sont données en gray (Gy) pour un matériel du type $(\text{CH}_2)_n$ ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 10^2 \text{ rad}$). Pour les matériaux inorganiques, semi-conducteurs par exemple, ceci ne représente pas la dose exacte; nous gardons cependant cette unité pour des motifs de comparaison des expositions. Si l'on a besoin de la dose réelle, pour des comparaisons avec d'autres données, pour autant que la composition atomique du matériel soit connue, on peut la calculer d'après nos valeurs en utilisant les méthodes décrites dans les références 3 et 15, par exemple.

3. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Comme signalé plus haut, il est évident que les effets des radiations sur les matériaux sont très complexes, un grand nombre de paramètres pouvant influencer les résultats; cette complexité est due, en particulier, à la grande diversité des matériaux testés ainsi qu'à la gamme de dose étendue sur six ordres de grandeur. L'information présentée doit donc être utilisée avec précaution et, dans bien des cas, elle ne doit être considérée que comme une ligne à suivre. Grâce à l'expérience que nous avons acquise en dix ans, nous pouvons toutefois prédire avec un ordre de grandeur correct, à partir des résultats de nos essais accélérés en réacteur, la durée de

the appropriate range was not reached in our test or in the test of an equivalent material contained in this catalogue.

A more detailed description of these data sheets is given in Appendix 7.

As mentioned in the Introduction, the materials presented in this series of catalogues are listed in Appendix 1. Table 2 gives the French names with their English translation, and the trade names. Appendix 2 gives explanations of trade names and popular names. Appendix 3 lists the firms who collaborated in our radiation test programme, and Appendix 4 explains the abbreviations which occur in this volume.

4. GENERAL COMPARATIVE RESULTS OF RADIATION EFFECTS

All the entries mentioned in Section 3 refer to a specific material, component, or device. In addition, Appendix 5 gives a review of general relative radiation effects, in the form of tables or graphs, under the following entries^{1,2,36,37}:

- cable insulations,
- elastomers,
- G-values (radio-chemical yield),
- hoses,
- oils,
- paints,
- textiles,
- thermoplastic and thermosetting resins.

Appendix 5 begins with a complete list of all materials quoted in these tables; cross-references to the tables are also given in the alphabetical data compilation section.

Further information on radiation damage to materials and components that might be of interest to the reader can be found elsewhere^{6,38-44}.

5. CLASSIFICATION OF MATERIALS

In Appendix 6 we classify the main materials and entries contained in these three volumes, under the following categories:

- use not recommended, or to be used with precaution,
- usable up to 5×10^5 Gy,
- usable up to $1-2 \times 10^6$ Gy,
- usable up to $1-2 \times 10^7$ Gy,
- usable up to 1×10^8 Gy,
- usable above 1×10^8 Gy.

Following the remarks in Sections 2 and 3, the aim of this classification is to indicate to the user the dose limit up to which the various materials may be used. It should again be stressed that the limits are specific to the item tested and to the end-point criteria applied, and that it may be possible to obtain higher or lower dose tolerances for differently designed applications of the same type of material. Nevertheless, our experience shows

vie des matériaux utilisés auprès des accélérateurs de haute énergie. Il est possible que les résultats obtenus pour différents objets fabriqués avec la même matière de base soient différents; ceci peut être expliqué par des compositions ou des conditions d'essais spécifiques différentes. De plus, l'utilisation de ces objets peut demander des degrés différents de performance à la matière de base; il en résulte une appréciation différente de la radiorésistance.

Comme dans les deux volumes précédents, les résultats sont présentés ici par ordre alphabétique en anglais; sur chaque page on peut trouver les informations suivantes:

- Nom-clef identifiant l'objet décrit;
- Matériaux de base radiosensibles constituant l'objet de l'essai, suivi du type, du nom du fournisseur et du numéro d'identification interne;
- Brève description du matériau ou de l'objet;
- Application ou utilisation au CERN si connues;
- Conditions d'irradiation spécifiant la source, le milieu, le débit de dose et les doses totales reçues par le matériau;
- Méthodes d'essais, brève description, norme si applicable;
- Résumé des résultats obtenus; on peut trouver sur la page en face (page de gauche) un supplément d'information chaque fois que cela est possible;
- Remarques, s'il y a lieu;
- Références¹⁶⁻³⁵, si l'on désire connaître plus de détails sur cet objet;
- Appréciation générale, montrant graphiquement la gamme de doses pour laquelle les dommages sont nuls (blanc), modérés (hachuré) et sévères (noir); parfois aussi, indication (no test) de la zone susceptible d'être dégradante mais où nous n'avons pas fait d'essais sur le matériau lui-même ou un matériau équivalent.

Une description plus détaillée de ces feuilles de données est présentée à l'appendice 7.

Comme nous l'avons dit dans l'introduction, tous les matériaux mentionnés dans cette série de catalogues constituent l'appendice 1. Pour retrouver facilement un matériau dont on connaît le nom uniquement en français, le tableau 2 liste tous les matériaux cités dans ce volume en ordre alphabétique en français, avec leur traduction anglaise.

L'appendice 2 donne les explications des noms déposés ou commerciaux. L'appendice 3 présente la liste des firmes qui ont collaboré dans nos essais de radiorésistance, l'appendice 4 explique les abréviations.

4. RÉSULTATS GÉNÉRAUX COMPARATIFS DES EFFETS DE L'IRRADIATION

Tous les éléments de la section 3 désignent un matériau ou appareil bien déterminé. L'appendice 5 se

that the mechanical damage to a base material is consistent in relation to the dose, and that radiation-sensitive materials such as Teflon must not be employed after they have reached their respective dose limit.

compose d'une série d'informations générales sur les effets des radiations, sous forme de tableaux ou graphiques, pour les objets suivants^{1,2,36,37};

- Isolants de câbles,
- Elastomères,
- Valeur G (rendement radiochimique),
- Tuyaux,
- Huiles,
- Peintures,
- Textiles,
- Résines thermoplastiques et thermodurcissables.

Avant ces tableaux, nous avons introduit une liste de tous les matériaux qui y sont mentionnés. D'autre part, dans la partie alphabétique, des renvois aux tableaux de cet appendice 5 sont faits chaque fois qu'il y a lieu.

Des informations supplémentaires sur les effets des radiations qui pourraient intéresser l'utilisateur sont citées sous les références 6 et 38-44.

5. CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX

Dans l'appendice 6, tous les matériaux et objets contenus dans les trois volumes sont classés dans les catégories suivantes:

- Utilisation non recommandée, ou avec précaution,
- Utilisable jusqu'à 5×10^5 Gy,
- Utilisable jusqu'à $1-2 \times 10^6$ Gy,
- Utilisable jusqu'à $1-2 \times 10^7$ Gy,
- Utilisable jusqu'à 1×10^8 Gy,
- Utilisable au-dessus de 1×10^8 Gy.

Suivant les remarques des sections 2 et 3, le but de cette classification est de donner l'ordre de grandeur de la dose limite jusqu'à laquelle un matériau peut être utilisé. Il faut de nouveau souligner que ces limites sont spécifiques aux objets testés et aux critères de fin d'utilisation choisis. Il est possible d'obtenir des performances plus faibles ou plus élevées suivant les différentes applications proposées pour un même type de matériaux. Toutefois, nous avons remarqué par expérience que les dommages mécaniques subis par un matériau de base sont en rapport avec la dose; des matériaux sensibles au rayonnement, comme par exemple le Teflon, ne devront en aucun cas être utilisés au-delà de leur limite de dose respective.

Acknowledgements

The present study was initiated by J.B. Adams with the start of the SPS programme and was originally carried out in collaboration with M. Van de Voorde and the ISR Division. The radiation damage test studies have been continuously supported by A.J. Herz (HS Department).

Our particular thanks are due to K. Goebel for his interest in this work and for many useful discussions and suggestions.

We would like to thank the firms which have supplied the test samples, both for their interest in this subject and for useful discussions which we had with their representatives.

The irradiations have been carried out at the ASTRA reactor centre, which belongs to the Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie in Vienna. The good collaboration with A. Burtscher and J. Casta is acknowledged.

These irradiation tests were carried out at the request of numerous colleagues at CERN. We are grateful to them for supplying us with samples and information, and, in many cases, conducting the material tests and making the results known to us. They also cross-checked the information presented in this publication. This data compilation depended to a large part on their collaboration.

Finally, we would like to acknowledge the special effort and care taken by the CERN Scientific Reports Editing and Text Processing Sections in the preparation of this document.

Remerciements

Cette étude a été lancée par J.B. Adams, avec le début du programme SPS; initialement, elle a été effectuée en collaboration avec M. Van de Voorde et la Division ISR. Les études de dégradation des matériaux due au rayonnement ont été constamment soutenues par A.J. Herz (Département HS).

Nous remercions particulièrement K. Goebel pour l'intérêt qu'il a montré pour cette étude et pour de nombreuses suggestions et discussions.

Nous tenons aussi à remercier les fabricants qui ont fourni des échantillons d'essais; nous avons eu des discussions utiles avec les représentants de nombreuses firmes.

Les irradiations ont été effectuées au réacteur ASTRA, à Seibersdorf, en Autriche, qui fait partie de l'Österreichische Studiengesellschaft für Atomenergie. Nous avons apprécié la bonne collaboration que nous ont offerte A. Burtscher et J. Casta.

Ces tests d'irradiation ont été exécutés à la demande de nombreux collègues au CERN. Nous leur sommes reconnaissants de nous avoir fourni des échantillons et des informations, et d'avoir, dans de nombreux cas, réalisé eux-mêmes les tests sur les matériaux, mettant leurs résultats à notre disposition. Ils ont aussi vérifié les informations présentées dans cette publication. Cette compilation de données a dépendu en grande partie de leur collaboration.

Nous voudrions enfin exprimer notre appréciation de l'effort et de l'attention que les sections Edition de rapports scientifiques et Traitement de textes du CERN ont apportés à la préparation de ce document.

REFERENCES

- 1) H. Schönbacher and A. Stolarz-Iżycka, Compilation of radiation damage test data, Part I: Cable insulating materials, CERN 79-04 (1979).
- 2) H. Schönbacher and A. Stolarz-Iżycka, Compilation of radiation damage test data, Part II: Thermosetting and thermoplastic resins, CERN 79-08 (1979).
- 3) Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials, IEC Standard 544 (3 parts) (International Electrotechnical Commission, Geneva, 1979).
- 4) D.C. Phillips, The effects of radiation on electrical insulators in fusion reactors. AERE-R 8923, Harwell (1978).
- 5) K.P. Lambert, H. Schönbacher and M. Van de Voorde, A comparison of the radiation damage of electronic components irradiated in different radiation fields, Nucl. Instrum. Methods **130**, 291 (1975). See also CERN 75-4 (1975).
- 6) F. Wulf, D. Bräunig and W. Gaebler, Data compilation of irradiation tested electronic components, Hahn-Meitner Inst. report HMI/B 353, TN 53/08, 2nd edition (1981).
- 7) H. Schönbacher, M. Van de Voorde, A. Burtscher and J. Casta, Study on radiation damage to high energy accelerator components by irradiation in a nuclear reactor, Kerntechnik **17**, 268 (1975).
- 8) S. Battisti, R. Bossart, H. Schönbacher and M. Van de Voorde, Radiation damage to electronic components, Nucl. Instrum. Methods **136**, 451 (1976); see also: CERN 75-18 (1975) (also translated into Russian).
- 9) B. McGrath, H. Schönbacher and M. Van de Voorde, Effects of nuclear radiation on the optical properties of cerium-doped glass, Nucl. Instrum. Methods **135**, 93 (1976); see also: CERN 75-16 (1975).
- 10) B. McGrath, H. Schönbacher and M. Van de Voorde, Effect of neutron radiation on the electrical resistivity of copper at room temperature, Nucl. Instrum. Methods **136**, 575 (1976).
- 11) A. Iżycka and H. Schönbacher, High-level dosimetry for radiation damage studies at high-energy accelerators, Proc. 3rd ASTM-EURATOM Symp. on Reactor Dosimetry, Ispra, 1979 (EUR 6813, Ispra 1980), p. 316.
- 12) H. Wilski, Verhalten eines Äthylen-Propylen-Copolymerisats bei der Einwirkung ionisierender Strahlen in Luft, Colloid & Polym. Sci. **254**, 451 (1976).
- 13) R.L. Clough and K.T. Gillen, Radiation-thermal degradation of PE and PVC: Mechanism of synergism and dose rate effects, Radiat. Phys. and Chem. **18**, 661 (1981).
- 14) I. Kuriyama, N. Hayakawa, Y. Nakase, J. Ogura, H. Yagyu and K. Kasai, Effect of dose rate on degradation behavior of insulating polymer materials, IEEE Transact. on Electr. Insulation **EI14**, 272 (1979).
- 15) M.H. Van de Voorde, Effects of radiation on materials and components—Megarad dosimetry, CERN 69-12 (1969).
- 16) D.C. Phillips, J.M. Scott, K. Goebel, H. Schönbacher, W. Dieterle, W. Eichenberger and J. Maurer, The selection and properties of epoxide resins used for the insulation of magnet systems in radiation environment, CERN 81-05 (1981).
- 17) D. Johnson, Material radiation resistance and the SPS radiation field, CERN EP/SCE-R 703T/UA5/P80-1 (1980).
- 18) P. Beynel, Tenue aux rayons ionisants des matériaux isolants sous forme de bande autoadhésive, CERN Lab II-RA/TM 75-5 (1975).
- 19) P. Beynel, Tenue à l'irradiation des principaux matériaux composant un moteur électrique, CERN Lab II-RA/37.40/TM 74-26 (1974).
- 20) P. Beynel, Tenue aux rayons ionisants des ligatures pour câbles électriques, CERN Lab II-RA/TM 75-4 (1975).
P. Beynel, Tenue à l'irradiation des ligatures AMP, CERN Lab II-RA/TM 75-32 (1975).
- 21) H. Schönbacher, K.P. Lambert and M. Van de Voorde, The effect of mixed radiation fields on electronic devices, CERN preprint Lab II/RA/PP 74-4, Int. Conf. on Evaluation of Space Environment on Materials, Toulouse, 1974 (CNES, Toulouse, 1974).
- 22) G. Villard, Essai de tenue en haute tension de liquides diélectriques, CERN Lab II/BT/GT/aw/E, Techn. Note/74-2 (1974).
- 23) R. Dubois, Fonctionnement en opération du septum électrostatique pour l'extraction Ouest, période juillet 1976-décembre 1977, CERN SPS/ABT/RD/Note Tech/78-3 (1978).
- 24) R. Dubois, Fonctionnement en opération des septa électrostatiques en 1978 (Extractions Ouest et Nord), CERN SPS/ABT/RD/Note Tech/79-4 (1979).
- 25) P. Beynel, Tenue aux radiations d'un éclairage de secours au néon, CERN HS-RP/TM 77-66 (1977).
- 26) D. Bendl, J. Casta and H. Kurz, Messung der Änderung der magnetischen Eigenschaften von lamellierten Ringkernen durch Neutronenbestrahlung im ASTRA-Reaktor, ASTRA Reaktor Inst. report, REX 123 (1974).
- 27) H. Beger, Radiation induced attenuation in some communication glass fibres around 850 and 1060 nm, CERN-SPS/ARF/77-21 (1977).
- 28) H. Schönbacher, M. Van de Voorde, G. Kruska and K.M. Oesterle, Performance of paint coatings in the radiation field of nuclear reactors and of high energy particle accelerators, and after contamination by radionuclides, Kerntechnik **19**, 209 (1977).
- 29) H. Schönbacher and W. Witzeling, Degradation of acrylic scintillator and wavelength shifter material by nuclear radiation, Nucl. Instrum. Methods **165**, 517 (1979).
- 30) D. Johnson, Irradiation study of film, mylar and scintillator, CERN/EP/JD/ed, 21.6.1979 (unpublished).
- 31) P. Beynel, Note concernant l'établissement d'un ensemble d'essais systématiques de résistance mécanique de O-ring subissant des irradiations, CERN Lab II/RA/37.04/TM/73-14 (1973).
- 32) P. Beynel, Note sur la tenue à l'irradiation des joints O-ring, CERN Lab II/RA/TM 75-42 (1975).
- 33) C. Mueller, P. Siffert and H.M. Heijne, Defects introduced in silicon by irradiation with muons of GeV energy, Proc. Int. Conf. on Radiation Effects in Semiconductors, Dubrovnik, 1976, eds. N.B. Urli and J.W. Corbett (The Institute of Physics, Bristol and London, 1977), p. 505.
E. Heijne, Radiation damage: Experience with silicon detectors in high-energy particle beams at CERN, Proc. of Meeting on Miniaturization of High-Energy Physics Detectors, Pisa, 1980 (Plenum Press, London, 1981).
- 34) P. Beynel and A. Ijspeert, Résultats d'un essai d'irradiation nucléaire sur les parties isolantes d'un microrupteur utilisé pour les interlocks des aimants splitters, CERN Technical note SPS/ABT/TA/AI/79-193 (1979).
- 35) P. Beynel, Résistance aux radiations des matériaux de construction du sas du puits de secours neutrino (SPS), CERN HS-RP/TM/78-64 (1978).
- 36) M.H. Van de Voorde, Effects of radiation on materials and components, CERN 70-5 (1970).
- 37) M.H. Van de Voorde and C. Restat, Selection guide to organic materials for nuclear engineering, CERN 72-7 (1972).
- 38) Proc. IEEE Annual Conferences on Nuclear and Space Radiation Effects, published in IEEE Trans. Nucl. Sci.

- 39) L.L. Bonzon, An experimental investigation of synergisms in class 1 components subjected to LOCA type-tests, NUREG/CR-0275, SAND 78-0067 (Sandia Laboratories, Albuquerque, N.M., USA, 1978).
- 40) C.L. Hanks and D.J. Hamman, Radiation effects design handbook — Section 3: Electrical insulating materials and capacitors (NASA CR 1787, Washington, 1971).
- 41) A. Spencker, H.G. Wagemann and D. Bräunig, Strahlenbelastungsuntersuchungen an elektronischen Bauelementen des SYMPHONIE-Satelliten, Hahn-Meitner Institute report HMI-B 181 (1975).
- 42) D.S. Billington and J.H. Crawford Jr., Radiation damage in solids (University Press, Princeton, 1961).
- 43) J.F. Kircher and R.E. Baumann, eds., Effects of radiation on materials and components (Reinhold, New York, 1964).
- 44) R.O. Bolt and J.G. Carrol, eds., Radiation effects on organic materials (Academic Press, New York, 1963).

Table 1

Characteristics of various radiation sources used for this data compilation

Radiation source	Irradiation position ^{a)}	Characteristics of radiation field	Irradiation medium	Irradiation temperature (°C)	Dose rate (Gy/h)	Dosimetry method	Items irradiated
7 MW ASTRA research pool reactor	Pos. 11	$5 \times 10^{16} n_{th}/m^2 s$ $3 \times 10^{16} n_r(E > 1 \text{ MeV})/m^2 s$	Water	40-50	2×10^6	Calorimeter ⁷⁾ Activation detector ⁷⁾	Thermosetting resins ²⁾
	Ebene 1 (E1)	$4 \times 10^{15} n_{th}/m^2 s$ $3 \times 10^{14} n_r(E > 1 \text{ MeV})/m^2 s$	Air	32-45	2×10^5	Ionization chamber ⁷⁾	Cable-insulating materials ³⁾ , other organic materials
	SNIF	$2 \times 10^{13} n_{th}/m^2 s$ $5 \times 10^{13} n_r(E > 1 \text{ MeV})/m^2 s$	Air	35-45	$n: 2 \times 10^3$ $\gamma: 2 \times 10^2$	Activation detector Ionization chamber	Electronics components ⁸⁾ , optical glasses ⁹⁾
	Core	$1 \times 10^{18} n_{th}/m^2 s$ $8 \times 10^{17} n_r(E > 1 \text{ MeV})/m^2 s$	Water or N ₂ or He	50-100	3×10^6	Activation detectors Calorimeter	Magnetic materials, copper wires ¹⁰⁾
Fuel elements ASTRA	Pos. 35	Gamma radiation field characteristic for reactor fuel elements (0.5-3 MeV)	Air	25-35	1×10^4 1×10^5	Ionization chamber ⁷⁾	Insulating materials containing metal; hoses with metal connectors
⁶⁰ Co source	Various	Gamma rays 1.2 MeV	Air	≈ 25	1×10^4	Fricke dosimeter	Insulating materials containing metal; motors
CERN accelerators	ISR beam dump	Hadron cascade and secondary gamma rays. Primary proton energy ≈ 30 GeV	Air	≈ 22	4	RPL and PDG glass dosimeters ¹¹⁾	Electronics components and items con- taining metal, up to 10 ³ Gy
	SPS neutrino target area	Hadron cascade and secondary gamma rays. Primary proton energy ≈ 400 GeV	Air	≈ 23	3×10^2	RPL and glass dosimeters ¹¹⁾	Cable and magnet insulations; items containing metal, up to 5 × 10 ⁶ Gy
	PS or SPS ring	Primaries (losses) and secondaries up to 30 GeV (PS) or 250 GeV and 400 GeV (SPS)	Air	≈ 22	1-10	RPL and glass dosimeter, ionization chambers ¹¹⁾	Cable and magnet insulation; paints; operational life-tests

a) Specified on each entry in the data compilation section.

Tableau 2

Noms, en ordre alphabétique, de tous les matériaux cités dans ce volume, avec leur traduction, sous laquelle on peut les trouver dans le catalogue.

Les noms en italiques sont des marques de fabrique ou des noms déposés, sous lesquels on les trouve dans le catalogue

En français	Voir sous
Absorbeur HF	HF absorber
Accessoires de pompe à vide	Vacuum pump accessory
Acétate	Acetate
Acétate cellulosique	Cellulose acetate
Acétate d'éthylène vinyl	Ethylene vinyl acetate (EVA)
Acétone	Acetone
Alcool polyvinylique	Polyvinylalcohol
Alkyl aromatique	Aromatic alkyl
Amiante-ciment	Asbestos cement
Aniline formaldéhyde	Aniline formaldehyde
<i>Araldite</i>	
Askarel	Askarel
Benzène	Benzene
Bois	Wood
Bromoforme	Bromoform
Bromure d'éthyle	Ethyl bromide
<i>Buna</i>	
Caoutchouc acrylique	Acrylic rubber
Caoutchouc acrylonitrile	Acrylonitrile rubber
Caoutchouc acrylonitrile-butadiène	Acrylonitrile-butadiene rubber
Caoutchouc acrylonitrile-butadiène-styrène	Acrylonitrile-butadiene-styrene rubber (ABS)
Caoutchouc de butyle	Butyl rubber
Caoutchouc chloré	Chlorinated rubber
Caoutchouc éthylène-propylène	Ethylene-propylene rubber (EPR)
Caoutchouc polychloroprène	Polychloroprene rubber (Neoprene)
Caoutchouc polyuréthane	Polyurethane rubber (PUR)
Caoutchouc de silicones	Silicone rubber
Caoutchouc styrène-butadiène	Styrene-butadiene rubber (SBR)
Céramique	Ceramic
Chlorobenzène	Chlorobenzene
Chloroforme	Chloroform
Chlorure de polyvinyle	Polyvinyl chloride (PVC)
Chlorure de polyvinylidène	Polyvinylidene chloride
Composants électroniques	Electronics components
Composés fluorés	Fluorinated compounds
Connecteur	Connector
Copolymère d'éthylène-tétrafluoroéthylène	Ethylene-tetrafluoroethylene copolymer (ETFE)
<i>Dacron</i>	
Détecteur de particules	Particle detector
Détecteur silicone	Silicon detector
<i>Diala C</i>	
Dichlorobenzène	Dichlorobenzene
Dichloréthane	Dichloroethane
<i>Dobeckot</i>	
<i>Dynel</i>	
Eclairage	Lighting
Élément de chauffage	Heating element
<i>Epikote</i>	
Esters	Esters
Esters cellulosiques	Cellulose esters
Ethers	Ethers
Ethylène-chlorotrifluoroéthylène	Ethylene-chlorotrifluoroethylene (E-CTFE)
Fer	Iron
Fibre cellulosique	Cellulose fibre
Fibre optique	Optical fibre
Fibre de verre	Glass fibre
Fil de cuivre	Copper wire
Fil électrique isolé	Insulated wire
Fil électrique, câble	Cable insulation
<i>Flamtrol</i>	
Gaine thermorétractable	Thermoshrinking sheath
<i>Halar</i>	
<i>Hostalen</i>	
Huile	Oil
Huile chlorofluorocarbonée	Chlorofluorocarbon oil
Huile fluorée	Fluorinated oil
Huile de graissage	Lubricating oil
Huile isolante	Insulating oil

Huile minérale	Mineral oil
Huile phosphatée	Phosphate oil
Huile de polyglykol	Polyglykol oil
Huile de silicate	Silicate oil
Huile de silicones	Silicone oil
<i>Hypalon</i>	
<i>Hypermalloy</i>	
<i>Hytrel</i>	
Interrupteur	Switch
Isolation de bobine d'aimant	Magnet coil insulation
Isolation de câbles	Cable insulation
Joint (cage de roulement)	Joint
Joint d'étanchéité	Seal (O-ring)
Joint pour chambre à vide	Vacuum gasket
<i>Kapton</i>	
<i>Kel-F</i>	
<i>Kevlar</i>	
<i>Kynar</i>	
Laine	Wool
Ligature de câbles	Cable tie
<i>Lupolen</i>	
<i>Makrolon</i>	
Manchon isolant	Insulating sleeve
Matériel magnétique	Magnetic material
Mélamine-formaldéhyde	Melamine-formaldehyde
Méthacrylate de polyméthyl	Polymethyl methacrylate (PMMA)
<i>Micatherm</i>	
Microrupteur	Microswitch
Moteur électrique	Motor, electric
Mousse	Foam
<i>Mylar</i>	
<i>Neoprene</i>	
<i>Nomex</i>	
<i>Noryl</i>	
<i>Novolac</i>	
<i>Nylon</i>	
O-ring	Seal
<i>Orlon</i>	
Oxyde d'aluminium	Aluminium oxide
Oxyde de polyphénylène	Polyphenylene oxide
Papier	Paper
Peinture	Paint
Peinture lumineuse	Paint, luminescent pigment
<i>Perbunan</i>	
Perfluoroéthylène-propylène	Perfluoroethylene-propylene (FEP)
<i>Pertinax</i>	
<i>Plexiglas</i>	
Polyacryl	Polyacryl
Polyacrylonitrile	Polyacrylonitrile
Polyallomère éthylène-propylène	Ethylene-propylene polyallomer
Polyamide	Polyamide
Polyamide aromatique	Aromatic polyamide
Polybutadiène	Polybutadiene
Polybutylène-téréphtalate	Polybutylene-terephthalate (PBTP)
Polycarbonate	Polycarbonate
Polychloroprène	Polychloroprene (Neoprene)
Polychlorotrifluoroéthylène	Polychlorotrifluoroethylene (Kel F)
Polyester	Polyester
Polyéthylène	Polyethylene (PE)
Polyéthylène chlorosulfoné	Chlorosulfonated polyethylene (CSP)
Polyéthylène réticulé	Polyethylene cross-linked (XLPE)
Polyhydantoïne	Polyhydantoin
Polyimide	Polyimide
Polyisobutylène	Polyisobutylene
Polymère fluoré	Fluorinated polymer
Polymères vinyl-chlorés	Vinyl chloride polymers
Polyoléfine	Polyolefin
Polyphénylène (oxyde de)	Polyphenylene oxide
Polyphénylène (sulfure de)	Polyphenylene-sulfide
Polypropylène	Polypropylene
Polysilicate de lithium	Lithium polysilicate
Polysiloxane	Polysiloxane
Polystyrène	Polystyrene
Polytétrafluoroéthylène	Polytetrafluoroethylene (PTFE)
Polyvinylbutyral	Polyvinyl butyral
Polyvinylformal	Polyvinyl formal
<i>Pyrofil</i>	
Quartz	Quartz
<i>Radox</i>	

Rayonne	Rayon
Relais	Relay
Résine	Resin
Résine époxyde	Epoxy resin
Résine phénolique	Phenolic resin
Résine de polyester	Polyester resin
Résine de silicones	Silicone resin
Résine thermodurcissable	Thermosetting resin
Résine thermoplastique	Thermoplastic resin
<i>Resistofol</i>	
Ruban	Tape
Ruban isolant	Insulating tape
<i>Ryton</i>	
<i>Saran</i>	
Scintillateur	Scintillator
Silicate	Silica
Soie	Silk
Styrène	Styrene
Tableau terminal	Terminal board
<i>Teflon (PTFE)</i>	
<i>Tefzel</i>	
Tétrachlorure de carbone	Carbon tetrachloride
Téréphtalate de polyéthylène	Polyethylene terephthalate (PETP)
Toluène polyvinylique	Polyvinyl toluene
Tube de chambre à vide	Vacuum chamber tube
Tuyaux (tubes)	Hoses
Urée-formaldéhyde	Urea-formaldehyde
<i>Valvata</i>	
Vanne	Valve
Vanne pour le vide	Vacuum valve
Verre	Glass
Verre dopé au cérium	Cerium-doped glass
<i>Vestolene</i>	
<i>Viton</i>	

APPENDIX 1

Names, in alphabetical order, of all materials for which test results are presented in these volumes.
The main entries are in romans, the names in italics appear as cross-references.

Volume I: Cable insulating materials (Ref. 1)

Butyl rubber
Chlorostop
Chlorosulfonated polyethylene (CSP)
Cross-linked polyethylene (XLPE)
Desmopan
Ethyl-acrylate rubber (EAR)
Ethylene-propylene diene rubber (EPDM)
Ethylene-propylene rubber (EPR)
Ethylene vinyl acetate (EVA)
Flamtrol
Fluoropolymer
Halar
Hypalon
Hytrel
Kapton
Lupolen
Neoprene
Nordel
Polychloroprene
Polyethylene (PE)
Polyurethane (PUR)
Polyvinyl chloride (PVC)
Pyrofil
Radox
Semiconducting polyethylene
Silicone rubber
Silythene
Stilan
Teflon
Tefzel
Viton
XLPE

Volume II: Thermoplastic and thermosetting resins (Ref. 2)

Araldite B
Araldite D
Araldite F and other Araldite resins
Araldite F + Epoxy Novolac
Birakrit
Cevolit
Crystic
Dobeckan IF
Dobeckot

Epikote
Epoxy resins
Epoxy resins + Epoxy Novolac
Etronax
Isoval
Kerimid
Kinel
Makrolon
Novolac
Orlitherm
Phenolic resins
Polycarbonate resins
Polyester resins
Polyimide resins
Polylite
Polyurethane resins
Resofil
Ryton
Samicanit
Samicatherm
Silicone resins
Veridur
Vetresit
Vetronit

Volume III: Accelerator engineering materials and components (present volume)

Adhesive tape
Aluminium oxide
Araldite
Asbestos cement
Askarel
Buna
Cable insulation
Cable tie
Ceramic
Cerium-doped glass
Connector
Copper wire
Diala C
Diester oil
Electronic components
Epoxy resin
Ethylene-propylene rubber (EPR) and (EPDM)
Ethylene-tetrafluoroethylene copolymer (ETFE)
Fluorinated oil

Fluorinated polymer
 Foam
 Glass
Glass fibre
 Heating element
 HF absorber
 Hoses
Hostalen
Hypermalloy
Hytrel
 Insulated wire
 Insulating oil
 Insulating sleeve
 Insulating tape
Iron
 Joint
Kapton
Kevlar
Kynar
 Lighting
Lithium polysilicate
 Lubricating oil
Luminous paint
Lupolen
Magnet coil insulation
 Magnetic material
Makrolon
Micatherm
Microswitch
Mineral oil
 Motor, electric
Mylar
Neoprene
Nitrile-butadiene rubber
Nomex
Noryl
Novolac
Nylon
Oil
 Optical fibre
O-ring
 Paint
Paper
Particle detector
Pertinax
Plexiglas
Polyacrylate
Polyamide
Polybutylene terephthalate (PBTP)
Polycarbonate
Polychloroprene (Neoprene)
Polyester resin
Polyethylene (PE) and (XLPE)
Polyethylene terephthalate (PETP)
Polyhydantoin
Polyimide
Polyolefin
Polyphenylene oxide (PPO)
Polyphenylene sulfide (PPS)
Polypropylene (PP)
Polysiloxane
Polytetrafluoroethylene (Teflon PTFE)
Polyurethane resin (PUR)
Polyurethane rubber (PUR)
Polyvinyl chloride (PVC)
Polyvinyl toluene
Quartz
 Relay
Resin
Resistofol
Rubber
Ryton
 Scintillator
Scotchcal
 Seal (O-ring)
Silica
 Silicon detector
Silicone oil
Silicone rubber
Sleeve
Styrene-butadiene rubber (SBR)
 Switch
Tape
Teflon (PTFE)
Tefzel
 Terminal board
Textile
Thermoplastic resin
 Thermosetting resin
 Thermoshrinking sheath
 Vacuum chamber tube
 Vacuum gasket
 Vacuum pump accessory
 Vacuum seal
 Vacuum valve
Valvata
 Valve
Vestolene
Viton
Wire
 Wood

APPENDIX 2

Explanation of trade names and popular names

Araldite	Epoxy resin
Askarel	Oil, containing chlorinated diphenyls
Buna	Synthetic rubber
Dacron	Polyethylene terephthalate
Diala	Mineral oil
Dynel	Polyvinylidene chloride
Epikote	Epoxy resin
Flamtrol	Polyolefin, flame retardant
Furan	Thermosetting resin
Halar	Ethylene-chlorotrifluoroethylene
Hostalen	Polyethylene
Hypalon	Chlorosulfonated polyethylene
Hypermalloy	Magnetic material
Hytrel	Polyethylene terephthalate copolymer
Kapton	Polyimide
Kel-F	Polychlorotrifluoroethylene
Kevlar	Polyamide, aromatic
Kynar	Polyvinylidene fluoride
Lupolen	Polyethylene and copolymers
Makrolon	Polycarbonate
Micatherm	Glass-mica composite
Mylar	Polyethylene terephthalate
Neoprene	Polychloroprene rubber
Nomex	Aromatic polyamide
Noryl	Polyphenylene oxide
Novolac	Thermosetting resin
Nylon	Polyamide
Orlon	Polyacryl
Perbunan	Acrylonitrile butadiene rubber
Pertinax	Paper/phenolic resin
Plexiglas	Polyacryl
Pyrofil	Ethylene-propylene rubber (EPDM)
Radox	Polyolefin
Resistofol	Polyhydantoin
Ryton	Polyphenylene sulfide
Saran	Polyvinylidene chloride
Scotchcal	Plastic display foil
Teflon	Polytetrafluoroethylene
Tefzel	Ethylene-tetrafluoroethylene copolymer
Valvata	Mineral oil
Vestolene	Polyethylene
Viton	Fluorinated copolymer

APPENDIX 3

List of firms who collaborated in the irradiation tests presented in this volume

The firms listed below are those who participated in a collaboration to determine the radiation resistance of products offered to CERN. They supplied us with samples for testing or they supported our work by taking part in a discussion of the results.

In the alphabetical compilation of the catalogue are also quoted standard products, which have been taken from stock for radiation testing without contacting the firms. Therefore, for these entries, the supplier is not mentioned.

It is understood that better radiation-resistant materials may be found on the market or that the qualities of the tested materials have been upgraded since.

AEG, Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft – Telefunken, Ulm, Fed. Rep. Germany
Angst & Pfister S.A., Geneva, Switzerland
ASEA A/S, Allmänna Svenska Elektriska AB, Odense, Denmark
Bachofen AG (repr. Burgess), Cheseaux, Switzerland
BICC, British Insulated Callender's Cables Ltd., Wrexham, England
Burgess, see Bachofen
CEM, Cie Electro-Mécanique, see CERCEM
CERCEM, Centre d'études et de recherches de la CEM, Lyon, France
Chance-Pilkington, St. Asaph, Flintshire, Great Britain
Ciba-Geigy AG, Basle, Switzerland
CMC, Carl Maier Cie, Schaffhausen, Switzerland
Dow Chemical Europe, S.A., Horgen, Switzerland
Draka Kabel, Amsterdam, The Netherlands
Egli, Fischer & Co. Ltd. (repr. T & B), Zurich, Switzerland
Felten & Guillaume Kabelwerke, Cologne, Fed. Rep. Germany
Gummi Maag AG, Dübendorf, Switzerland
Hellermann, see Summerer, H.C.
Heraeus Quarzschmelze, Hanau, Fed. Rep. Germany
Huber & Suhner, Zurich, Switzerland
ITT, Div. Diffusion Composants, Bagnex, France
Joint Français (Le), Bezons, France
Labitzke Handels AG (repr. 3M Schweiz AG), Zurich, Switzerland
Leybold Heraeus, Cologne, Fed. Rep. Germany
Mäder AG, Dr. W., Killwangen, Switzerland
Precision Rubber, see Rübeli & Guigoz S.A.
Raychem AG, Baar, Switzerland
Röhm GmbH, Darmstadt, Fed. Rep. Germany
Rübeli & Guigoz S.A. (repr. Precision Rubber), Ecublens, Switzerland
Schott & Gen., Mainz, Fed. Rep. Germany
Shell Switzerland, Zurich, Switzerland
Sperry Vickers Lucifer S.A., Geneva, Switzerland
Summerer, H.C. (repr. Hellermann), Zurich, Switzerland
T & B, Thomas & Betts, see Egli, Fischer & Co
3M, Minnesota Mining & Manufacturing Co., see Labitzke Handels AG
VAT, Vacuum-Apparate-Technik AG, Haag, Switzerland
Walther Präzision, see Wieland & Oertli AG
Wieland & Oertli AG, Illnau/Zurich, Switzerland

APPENDIX 4

List of abbreviations used in this volume

ABS	Acrylonitrile-butadiene-styrene
BBQ	Benzimidazo-benzisoquinoline-7-one
CSP	Chlorosulfonated polyethylene
CTFE	Chlorotrifluoroethylene
EAR	Ethylene-acrylate rubber
E-CTFE	Ethylene-chlorotrifluoroethylene
EP	Epoxy resin
EPDM	Ethylene-propylene difunctional monomer copolymer, e.g. Ethylene-propylene diene rubber
EPN	Epoxy-phenol-Novolac resin
EPR	Ethylene-propylene rubber
ETFE	Ethylene-tetrafluoroethylene
ETP-Cu	Electrolytic tough-pitch copper
EVA	Ethylene vinyl acetate
FEP	Perfluoroethylene-propylene
NBR	Nitrile-butadiene rubber
OFHC-Cu	Oxygen-free, high-conductivity copper
PA	Polyamide
PBTP	Polybutylene terephthalate
PE	Polyethylene
PETP	Polyethylene terephthalate
PMMA	Polymethyl methacrylate
PP	Polypropylene
PPO	Polyphenylene oxide
PPS	Polyphenylene sulfide
PTFE	Polytetrafluoroethylene, Teflon
PUR	Polyurethane rubber
PVC	Polyvinyl chloride
SBR	Styrene-butadiene rubber
SIR	Silicone rubber
XLPE	Polyethylene, cross-linked

APPENDIX 5

Tables of general relative radiation effects

There are tables for the following categories of items:

- 5.1 Cable insulations
- 5.2 Elastomers
- 5.3 G-values
- 5.4 Hoses
- 5.5 Oils
- 5.6 Paints
- 5.7 Textiles
- 5.8 Thermoplastic resins
- 5.9 Thermosetting resins

These tables are modified versions of those given in the respective references. Cross-references to these tables are contained in the alphabetical data compilation section. An alphabetical index of the contents follows.

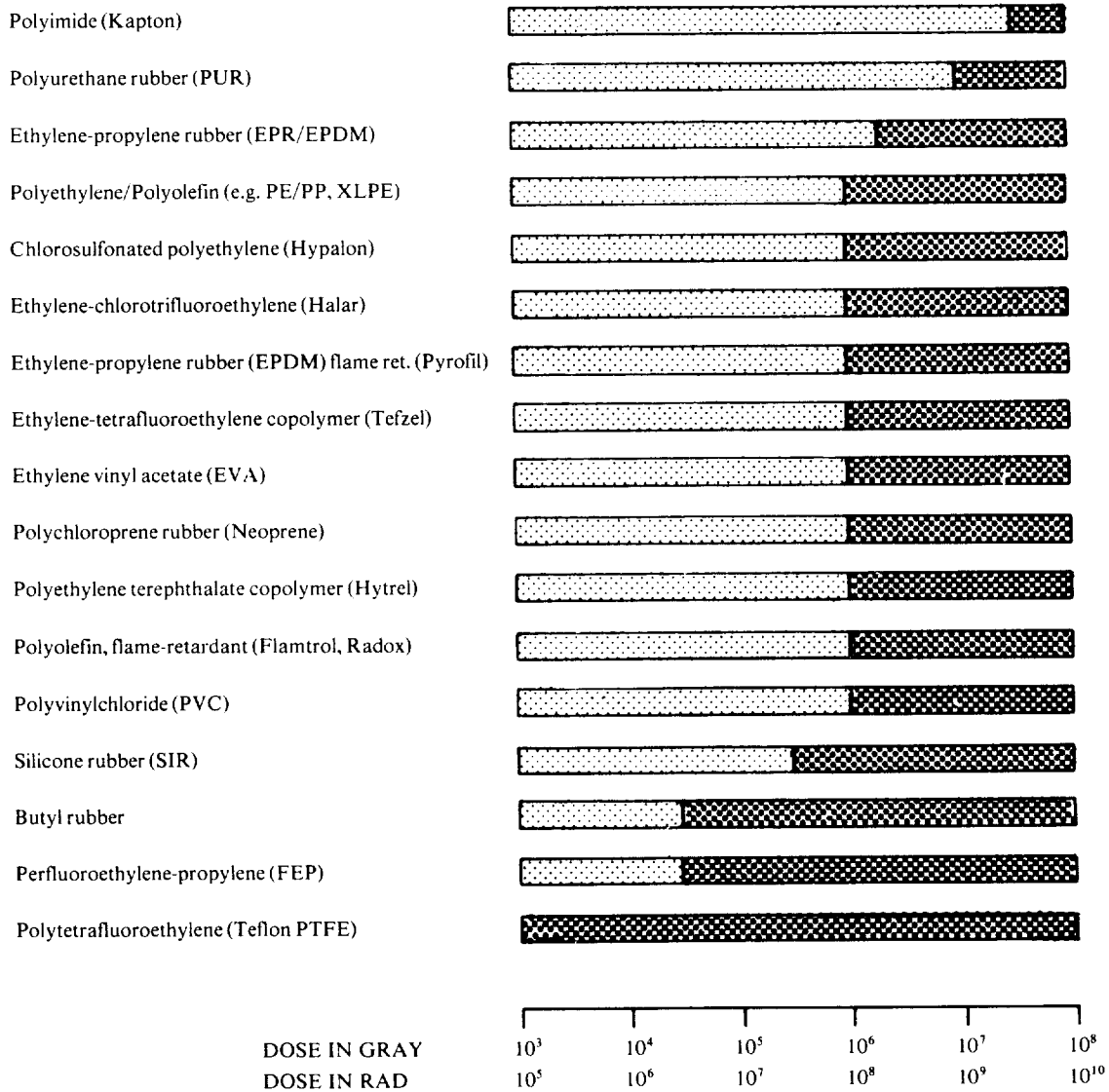
List of all materials presented in this part in tables of general relative radiation effects

Acetate
Acetone
Acrylic rubber
Acrylonitrile rubber
Acrylonitrile-butadiene rubber
Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)
Aniline-formaldehyde
Aromatic alkyl
Aromatic polyamide
Benzene
Bromoform
Butyl rubber
Carbon tetrachloride
Cellulose esters
Cellulose acetate
Cellulose fibre
Chlorinated rubber
Chlorobenzene
Chlorofluorocarbon oil
Chloroform
Chlorosulfonated polyethylene (CSP)
Cotton
Dacron
Dichloroethane
Dichlorobenzene
Dynel
Epoxy resin
Esters
Ethers
Ethyl bromide
Ethylene-chlorotrifluoroethylene (E-CTFE)
Ethylene-propylene polyallomer
Ethylene-propylene rubber (EPR)
Ethylene-tetrafluoroethylene (ETFE)
Ethylene vinyl acetate (EVA)
Flamtrol
Fluorinated compounds
Halar
Hypalon
Hytrel
Kapton
Kel-F
Melamine-formaldehyde
Mineral oils
Mylar
Neoprene
Nomex
Nylon
Orlon
Perbunan
Perfluoroethylene-propylene (FEP)
Phenolic resin
Phosphate oil
Polyacryl
Polyacrylonitrile
Polyamide (Nylon)
Polybutadiene
Polycarbonate
Polychloroprene rubber (Neoprene)
Polychlorotrifluoroethylene (Kel-F)
Polyester
Polyethylene (PE)
Polyethylene cross-linked (XLPE)
Polyethylene terephthalate (PETP)
Polyglycol oil
Polyimide
Polyisobutylene
Polymethyl methacrylate (PMMA)
Polyolefin
Polyphenylene oxide (PPO)
Polypropylene (PP)
Polysiloxane (Silicone rubber SIR)
Polystyrene
Polytetrafluoroethylene (Teflon PTFE)
Polyurethane resin (PUR)
Polyurethane rubber (PUR)
Polyvinyl alcohol
Polyvinyl butyral
Polyvinyl chloride (PVC)
Polyvinyl formal
Polyvinylidene chloride
Pyrofil
Radox
Rayon
Saran
Silicate oil
Silicone oil
Silicone resin
Silicone rubber (SIR)
Silk
Styrene
Styrene-butadiene rubber (SBR)
Teflon PTFE
Tefzel
Urea-formaldehyde
Vinyl chloride polymers
Wool

APPENDIX 5.1

General relative radiation effects: Cable insulation

These appreciations are taken from the references cited and can only serve as a general guideline.
 Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate
 are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.



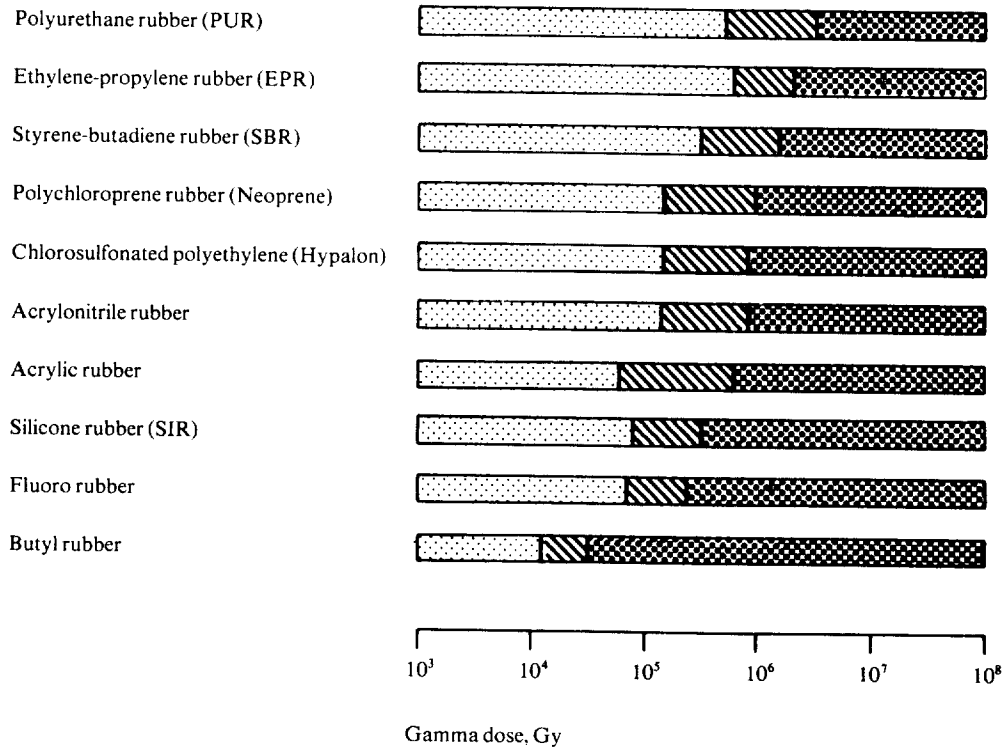
USEFUL RANGE
 USE NOT RECOMMENDED

REFERENCES : 1

APPENDIX 5.2

General relative radiation effects: Elastomer

These appreciations are taken from the references cited and can only serve as a general guideline.
 Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate
 are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.




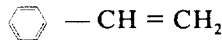

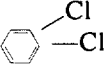
Damage	Utility
Incipient to mild	Nearly always usable
Mild to moderate	Often satisfactory
Moderate to severe	Not recommended

REFERENCES : 36

APPENDIX 5.3

General relative radiation effects: G-value

These values are taken from the references cited and can only serve as a general guideline. Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.

Compound	G-value*)
Benzene: 	1.8
Styrene: 	1.6
Chlorobenzene: 	17.3
o-Dichlorobenzene: 	30.0
Acetone: $\text{CH}_3 - \text{CO} - \text{CH}_3$	50.0
Ethyl bromide: $\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{Br}$	28.0
1,2-Dichloroethane: $\text{CH}_2\text{Cl} - \text{CH}_2\text{Cl}$	41.0
Chloroform: CHCl_3	59.5
Bromoform: CHBr_3	57.0
Carbon tetrachloride: CCl_4	70.0

*) G-value = number of product molecules formed or reactant molecules consumed per 100 eV of energy absorbed by the compound. The G-value quoted here is for the production of free radicals.

REFERENCES : 36, see also 43

APPENDIX 5.3

General relative radiation effects: G-value of polymers

These values are taken from the references cited and can only serve as a general guideline.

Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.

Polymer	G-value*)	Composition
Polyethylene (PE)	2.1	H ₂ (95.5%); C ₃ H ₈ (3.4%)
Polystyrene	0.03	H ₂ (100%)
Polyacrylonitrile	0.4	H ₂ (24%); NH ₃ (8%); C ₂ N ₂ (67.5%)
Polyvinyl chloride (PVC)	0.3	HCl
Polyvinyl alcohol	1.7	H ₂ (95%); CO(4.3%)
Polybutadiene	0.2	H ₂ + CH ₄ (100%)
Polymethyl methacrylate (PMMA)	1.3	H ₂ (18%); CH ₄ (15%); CO(36%); CO ₂ (25%); C ₃ H ₈ (5.3%)
Polyisobutylene	0.87	H ₂ + CH ₄ (95.5%) CO ₂ + C ₃ H ₈ (4.5%)
Polytetrafluoroethylene (Teflon PTFE)	0.03	CO + CO ₂
Polyethylene terephthalate (PETP, Mylar)	0.15	
Polyamide (Nylon)	1.1	
Styrene butadiene rubber (SBR)	0.15	
Polyurethane rubber (PUR)	0.7	
Polysiloxane	0.6	
Polychloroprene (Neoprene)	0.1	

*) G-value = number of product molecules formed or reactant molecules consumed per 100 eV of energy absorbed by the polymer. The G-value quoted here is for the production of all gases listed.

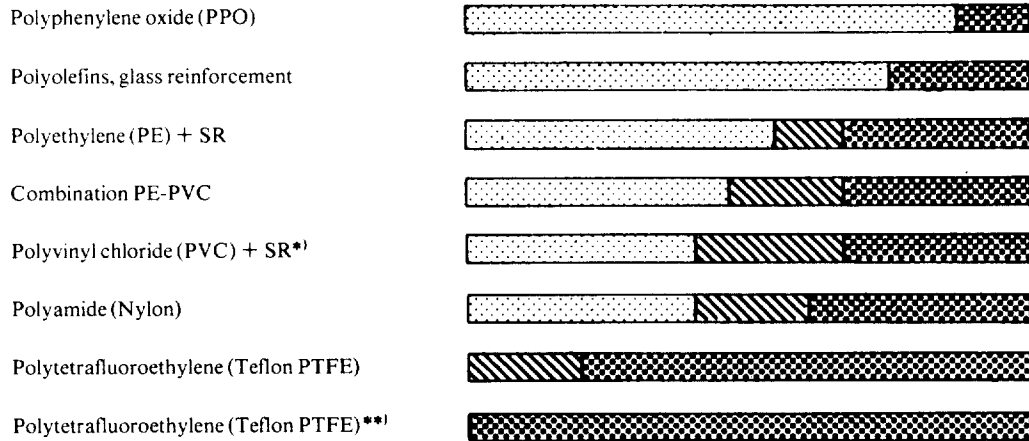
REFERENCES : 36, see also 43

APPENDIX 5.4

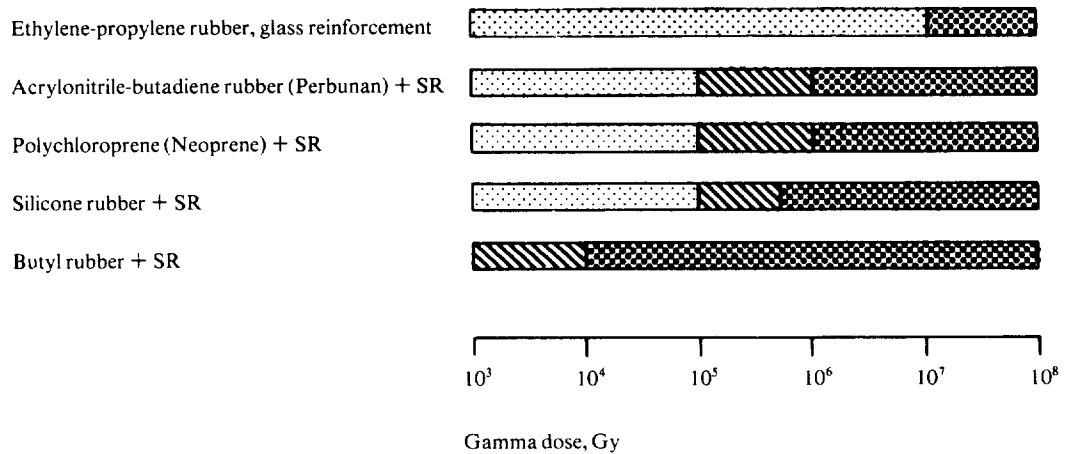
General relative radiation effects: Hoses

These appreciations are taken from the references cited and can only serve as a general guideline.
 Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate
 are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.

A. Plastics



B. Elastomers



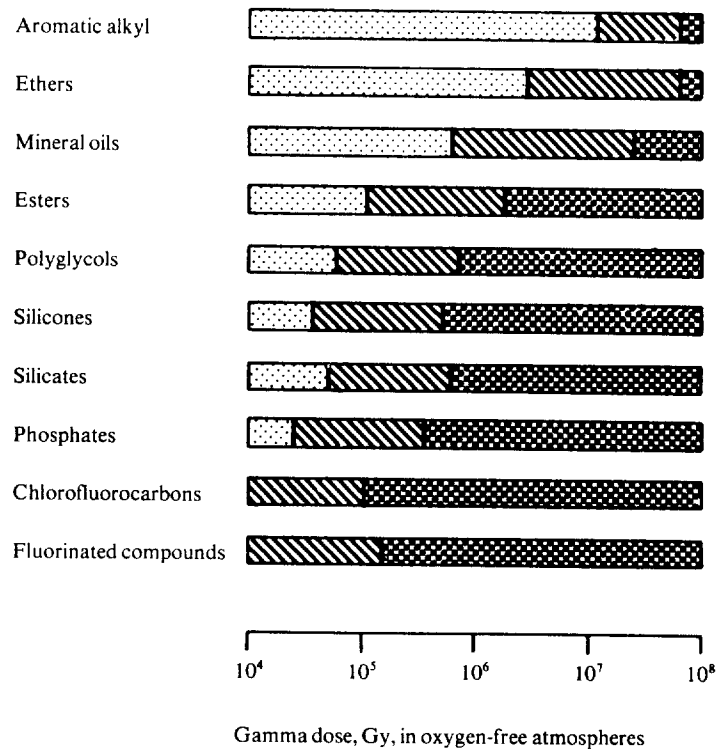
SR = synthetic reinforcement. All results for 1 bar, except *) for 1 and for 15 bar and **) for 20 bar water bursting pressure.

Damage	Utility
Incipient to mild	Nearly always usable
Mild to moderate	Often satisfactory
Moderate to severe	Not recommended

APPENDIX 5.5

General relative radiation effects: Oil

These appreciations are taken from the references cited and can only serve as a general guideline.
 Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate
 are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.



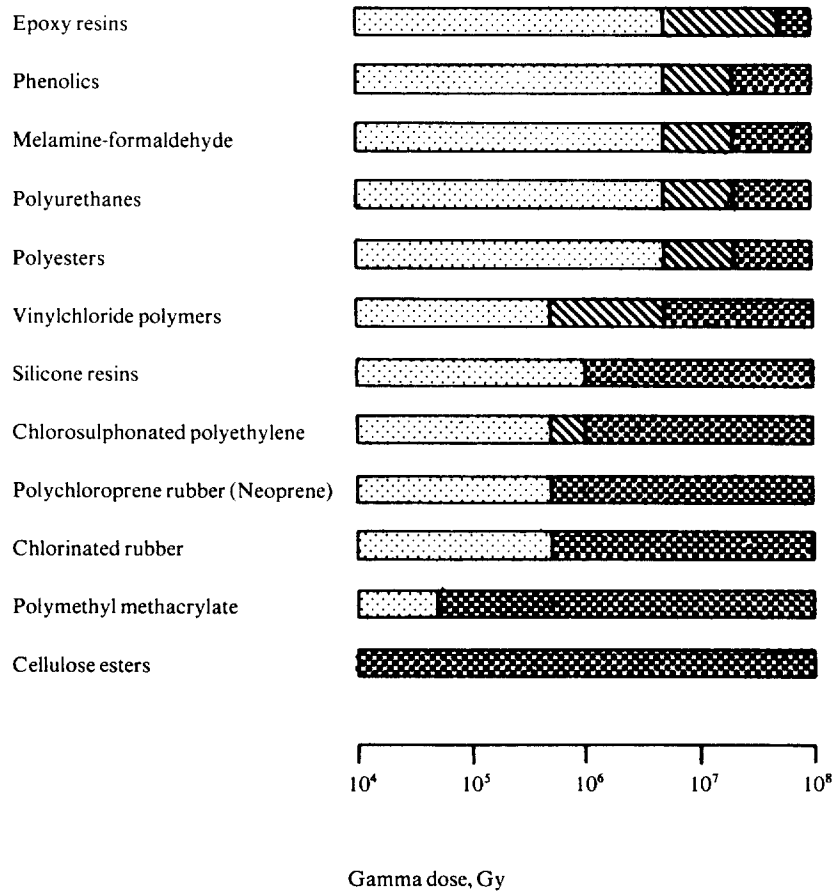
Damage	Utility
Incipient to mild	Nearly always usable
Mild to moderate	Often satisfactory
Moderate to severe	Not recommended

REFERENCES : 36

APPENDIX 5.6

General relative radiation effects: Paint

These appreciations are taken from the references cited and can only serve as a general guideline.
 Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate
 are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.



Damage	Utility
Incipient to mild	Nearly always usable
Mild to moderate	Often satisfactory
Moderate to severe	Not recommended

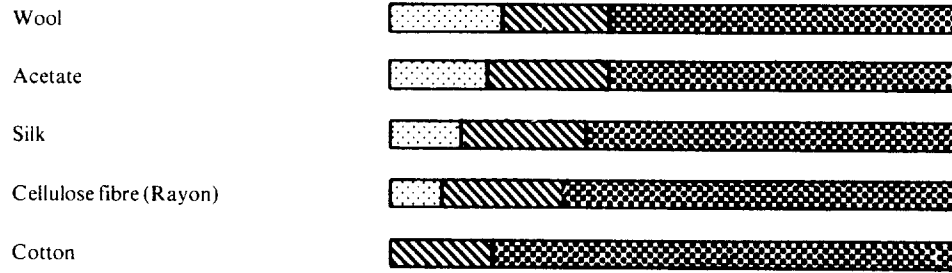
REFERENCES : 36, see also 28

APPENDIX 5.7

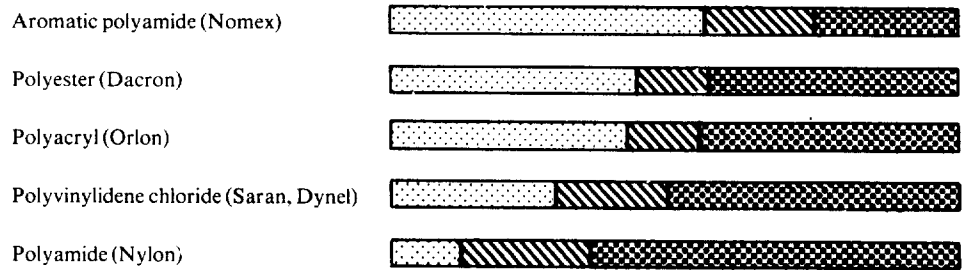
General relative radiation effects: Textile

These appreciations are taken from the references cited and can only serve as a general guideline. Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.

A. Natural fibres



B. Synthetic fibres



10³ 10⁴ 10⁵ 10⁶ 10⁷ 10⁸

Gamma dose, Gy

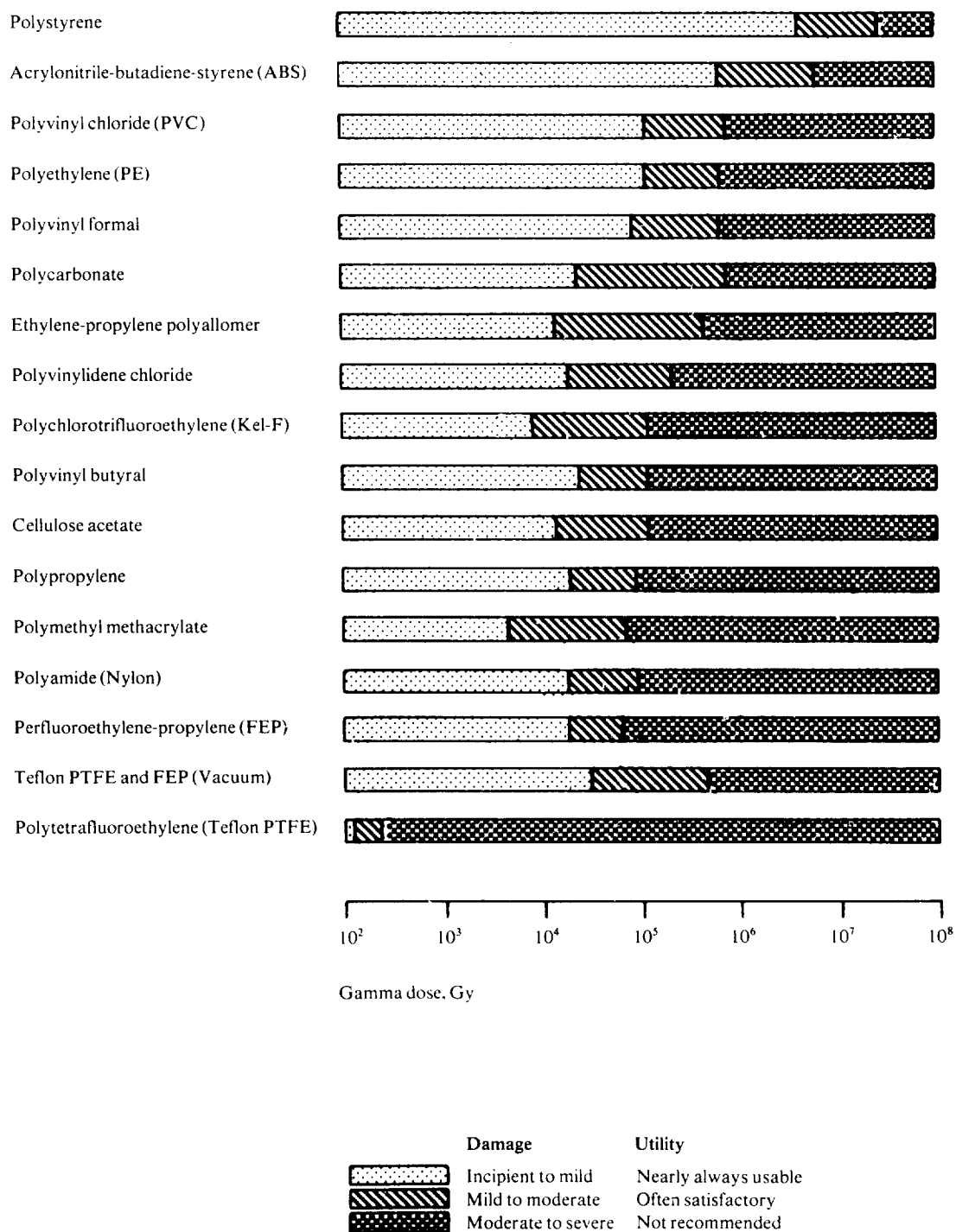
Damage	Utility
Incipient to mild	Nearly always usable
Mild to moderate	Often satisfactory
Moderate to severe	Not recommended

REFERENCES : 36

APPENDIX 5.8

General relative radiation effects: Thermoplastic resin

These appreciations are taken from the references cited and can only serve as a general guideline.
 Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate
 are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.

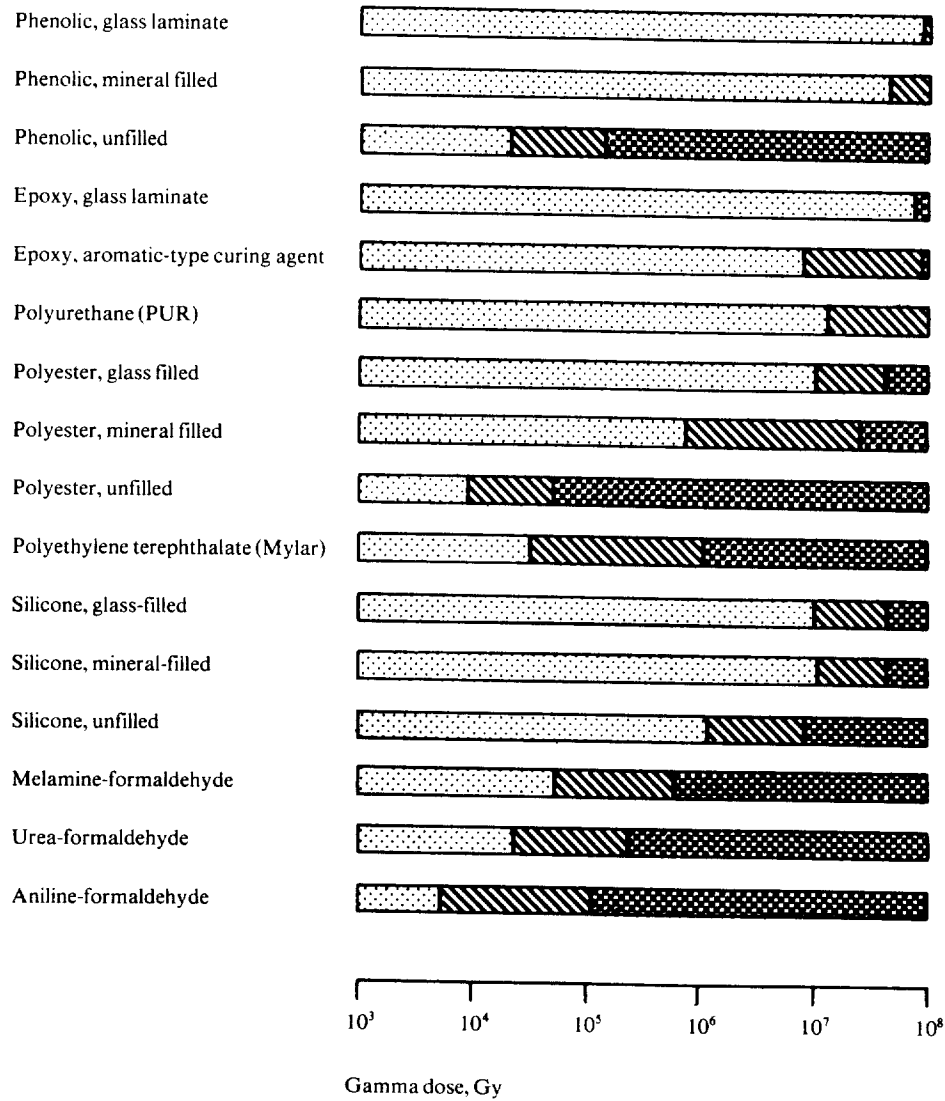


REFERENCES : 36, 37, 43

APPENDIX 5.9

General relative radiation effects: Thermosetting resin

These appreciations are taken from the references cited and can only serve as a general guideline. Atmospheric and other environmental conditions such as temperature and dose rate are not taken into consideration. See also Sections 2 and 3.



Damage		Utility	
	Incipient to mild		Nearly always usable
	Mild to moderate		Often satisfactory
	Moderate to severe		Not recommended

REFERENCES : 36, 37, 43

APPENDIX 6

Classification of materials and components contained in this volume according to the dose range up to which they may typically be used.

Materials	Upper dose limit in Gy = 100 rad	Materials	Upper dose limit in Gy = 100 rad
Acrylic scintillator	$10^2 - 10^4$	Araldite B (epoxy resin)	
Butyl rubber	5×10^4	Araldite F (epoxy resin)	
Electronics components (active)	$10^2 - 10^3$	Epikote (epoxy resin)	
Optical fibre	$10 - 10^2$	Epoxy Novolac	
Perfluoro ethylene-propylene (FEP)	5×10^4	Epoxy resin, aromatic hardener	
Phenolic resin, unfilled	10^4	Glass-fibre reinforced EPR-hoses	
Polyacryl (Plexiglas)	10^5	Mineral oil	$1-2 \times 10^7$
Polyamide (Nylon)	1×10^5	Paints based on epoxy or polyurethane resins	
Polyester resin, unfilled	5×10^4	Polyimide resin	
Silicone oil	5×10^5	Special radiation resistant lubricants	
Silicone rubber	5×10^5	Special radiation resistant motors	
Teflon (PTFE)	10^3		
Viton	$1-2 \times 10^5$		
* }			
Araldite D (epoxy resin, cured at ambient temperature)		Cerium-doped glass	
Chlorosulfonated PE (Hypalon, CSP)		Ryton (PPS)	
Cross-linked PE (XLPE)		Inorganic filled resins:	
Ethylene-acrylate rubber (EAR)		- Epoxy, aromatic hardener	
Ethylene-propylene rubber (EPR)		- Phenolic	1×10^8
Ethylene vinyl acetate (EVA)		- Polyester	
Flamtrol (polyolefin)	$1-2 \times 10^6$	- Polyimide	
Halar (CTFE)		- Polyurethane	
Hytrel (PETP copolymer)		- Silicone	
Lupolen (PE)			
Polychloroprene (Neoprene)		Aluminium oxide	
Polyolefin		Magnesium oxide	
Polyvinyl chloride (PVC)		Magnetic materials	
		Metals	$> 10^8$
		Mica	
		Glass fibre	
		Quartz	

*) Use of these materials in radiation areas is not recommended or to be used with precautions.

APPENDIX 7

Detailed description of data entry sheets

The data entry sheets are designed to provide the maximum information for a given item, as far as this is available, with only the minimum use of abbreviations and symbols, and to be largely self-explanatory (see also Section 3 of the text). In the following list, some indications are given regarding the layout of the different entries, especially to help understand small differences in the presentation of the data. The list of comments below refers to the corresponding circled numbers on the sample data sheet reproduced on the opposite page. It should be understood that all indications mentioned in these comments are subject to exceptions, especially in cases where the appropriate information was not available.

- 1 *The alphabetic position of the keyword.*
- 2 *The keyword grouping a class of items by their usual application.* This does not mean that all items under one keyword are equivalent for a given application, but that they share a characteristic property.
- 3 *The dominant component among the base materials, or the most radiation-sensitive component.* In the case of composite materials, more than one material is sometimes given. See 7 for a complete description of the base materials composing the tested item.
- 4 *The type identification of the material as given by the supplier.* In some cases the trade name of a characteristic material component is added after a semicolon. A dash indicates that the supplier was not contacted.
- 5 *The name, given in a shortened form* (see Appendix 3 for more details), is normally that of the supplier of the finished, tested product. However, it should be noted that this supplier is not always the same as the firm producing the base products. A dash indicates that the supplier was not contacted. See also 7.
- 6 *Identification number* given by the authors to the tested materials. The integer part of the first number represents the identification of a group of items, which have been tested by the same method, or which simply belong to a group of different items used together in an apparatus. The fractional part identifies the single item described. The year when the test was carried out is added as general information.
- 7 *A description of the item and its intended application,* together with details of composition as far as is known. Trade names of materials are added in brackets in some cases.
- 8 *Application at CERN:* if known to us, details are given here. If an application was only proposed but not realized, this is mentioned under 7.
- 9 *Irradiation conditions.* In case of reactor irradiation, the exact irradiation position together with the approximate gamma dose rate is given. More details can be found in Table 1 and Ref. 7. The contribution to the dose by other components of the complex reactor irradiation is usually less than 5%. However, if the materials are especially sensitive to particle irradiation, as with crystals or metals, the fluence of fast neutrons is given instead of the dose. For the accelerator irradiations, the position

APPENDICE 7

Description détaillée des feuilles de données

Les feuilles de données ont été préparées de façon qu'un maximum d'informations, dans la mesure où elles sont disponibles, soient présentées en utilisant un minimum de symboles et d'abréviations, et que ceux-ci soient suffisamment clairs (voir aussi la section 3 du texte). Quelques indications sont données dans la liste suivante, concernant le schéma des pages de données pour les divers matériaux, pour faciliter en particulier l'interprétation des petites différences dans la présentation des données sur des matériaux comparables. Cette liste fait référence aux numéros entourés d'un cercle sur la feuille de données servant d'exemple à la page ci-contre. Il va sans dire que toutes les indications données ici souffrent des exceptions, surtout si l'information appropriée n'a pas été disponible.

- 1 *Position du mot-clé dans l'alphabet.*
- 2 *Mot-clé pour un ensemble de matériaux groupés par application.* Ceci ne signifie pas que tous les matériaux soient équivalents pour une application donnée, mais qu'ils ont en commun une propriété caractéristique.
- 3 *Composition des matières de base ou composant le plus sensible aux radiations.* Pour les matériaux composés, plusieurs matières sont parfois citées. Voir sous 7 la liste complète des matières de base qui constituent le matériau examiné.
- 4 *Dénomination du type, donnée par le fournisseur de ce matériau.* Dans quelques cas, le nom de marque d'une matière caractéristique est ajouté après un point-virgule. Un tiret signifie que le fournisseur n'a pas été contacté.
- 5 *L'abréviation du nom du fournisseur* (voir Appendice 3 pour le détail), qui est normalement le fournisseur du produit final testé. A noter que ce fournisseur n'est pas toujours celui qui a fourni les produits de base. Un tiret signifie que le fournisseur n'a pas été contacté. Voir aussi 7.
- 6 *Numéro d'identification* des matériaux testés, donné par les auteurs. La partie entière du premier nombre représente l'identification d'un groupe de matériaux qui soit ont été testés d'après la même méthode, soit constituent un groupe de matériaux divers utilisés pour le même appareillage. La partie fractionnelle donne l'identification de la pièce concernée. L'année pendant laquelle l'essai a été effectué est rajoutée pour information.
- 7 *Description de l'objet, et son application prévue.* Elles sont données ensemble, avec le détail de la composition de l'objet, si elle est connue. Le nom de marque est rajouté dans certains cas entre parenthèses.
- 8 *Application au CERN:* si nous la connaissons, les détails en sont donnés ici. Si une application a été proposée mais pas réalisée ceci sera mentionné sous 7.
- 9 *Conditions d'irradiation.* Dans le cas d'une irradiation dans le réacteur nucléaire, la position exacte de l'irradiation est donnée, avec le débit de dose gamma approximatif. Pour plus de détails, voir tableau 1 et réf. 7. La contribution à la dose par d'autres composants du champ de rayonnement dans le réacteur est en général en dessous de 5%. Toutefois si les matériaux sont spécialement sensibles à l'irradiation par des particules, comme

A 1 ADHESIVE TAPE 2

- 3 **BASE MATERIAL:** Polyamide/mica/paper, rubber adhesive
- 4 **TYPE:** 6610; Nomex
- 5 **SUPPLIER:** CMC
- 6 **IDENTIFICATION:** 102.5-1974
- 7 **DESCRIPTION OF MATERIAL:**
Self-adhesive film for insulation purposes. Film material: polyamide reinforced paper with mica (Nomex). Adhesive: synthetic rubber, thermosetting.

8 **APPLICATION AT CERN:**

9 **IRRADIATION CONDITIONS:**
Type: Reactor ASTRA, position E1 in air, dose rate 30 Gy/s
Doses: 5×10^5 , 1×10^6 , 5×10^6 , 1×10^7 Gy

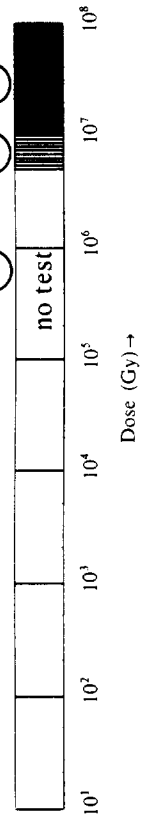
10 **METHODS OF TESTING:**
Pieces of film (115 X 25 mm), stuck to an aluminium support of the same dimensions without heat treatment, were irradiated, after which the film was peeled off at a constant rate of 50 mm/min. The bending radius was fixed by a roller of 10 mm diameter and the mean force measured by a tensile testing machine.

11 **RESULTS:**
Before irradiation, the peeling-off force was 4.3 N for a width of 25 mm.
After irradiation, the force decreased but remained effective up to 5×10^6 Gy. At 1×10^7 Gy, the rubber no longer stuck to the film; instead, it adhered to the metal.
The colour darkened with the dose.

Remarks:

12 **REFERENCES:** 18

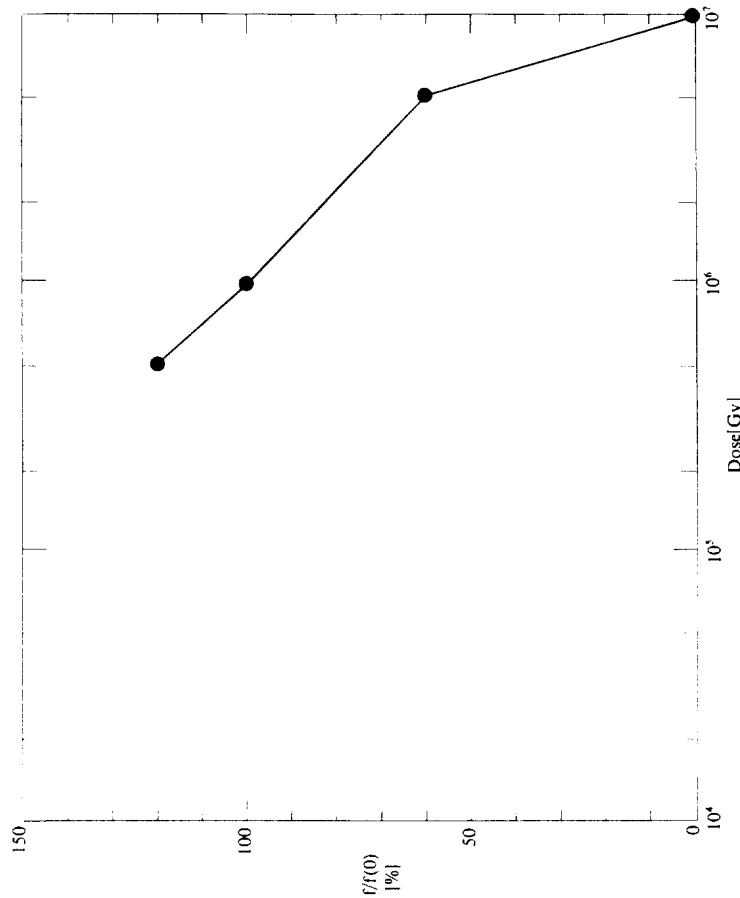
13 **APPRECIATION:** See Appendix 7



A ADHESIVE TAPE

- BASE MATERIAL: Polyamide/mica/paper, rubber adhesive
- TYPE: 6610; Nomex
- SUPPLIER: CMC
- IDENTIFICATION: 102.5-1974

17



19	PROPERTY	INITIAL VALUES
●	force to take off	4.3 N/25 mm

18

code refers to Table 1, where the characteristics of the radiation field are given; in most cases the dose as measured with our dosimeters will be sufficient for the interpretation of data.

- 10 The *methods of testing* are described. If no number of a standard covering this test is given, this means that we modified a standard test to fit our needs (see point 12 for more details). When comparing the test results of similar items, it is important that the integer part of the identification number (see 6) be the same, otherwise the testing method may have been different.
 - 11 The *results obtained* are briefly described, bearing in mind the methods of testing 10 and the irradiation conditions and doses 9. In some cases, a cross-reference is cited under "Remarks", where data relating to similar materials can be found. This information together with the test results was used for the appreciation 13.
 - 12 The number(s) given refer(s) to the *list of references* at the end of the introductory text (page 8).
 - 13 In this *appreciation*, we give warning if the material is especially radiation sensitive, and show a scale where the ranges of different degrees of degradation are marked: blank—"no damage"; hatched 14—"moderate damage"; black 15—"severe damage". If in the range considered the material is probably susceptible to damage but no test was performed, this region is marked "no test" 16. If the appreciation refers to standard mechanical properties, this is stated explicitly, in which case the beginning of 14 marks a change of 25% and of 15 of 50% of the most sensitive property (flexion test: flexural strength, tensile tests: elongation at break). Otherwise we judged the test results in relation to the intended application.
 - 17 If the test results justify a representation in a *graph*, or if other *additional information* is given, there will be a repetition of positions 1 to 6 on the left-hand page. Otherwise, this page is left blank.
 - 18 If there is a *graph of irradiation test results*, please pay attention to the scales. The abscissa may be linear or logarithmic, and the numbers on the ordinate, which normally are percentage values normalized to the unirradiated value given under 20, may sometimes give a logarithmic measure of this value (see 19). The graph can also be replaced by a table.
 - 19 *Identification of plotted symbols and measured functions*. The initial values are given, and sometimes an indication of the estimated error of measurement, if available. The lines are intended only as a guide to the eye. If one of the symbols relates to a special interpretation of the scale, this is stated.
- par exemple les cristaux ou les métaux, la fluence de neutrons est donnée au lieu de la dose absorbée. Pour les irradiations dans les accélérateurs, le code de position se réfère au tableau 1, où la caractéristique du champ de rayonnement est donnée; dans la plupart des cas, la lecture des mesures de nos dosimètres sera suffisante pour l'interprétation des données.
- 10 *Méthodes d'essais*. Si l'on ne donne pas de numéro de norme pour un essai, cela signifie que les normes ont été modifiées pour satisfaire nos besoins (voir point 12 pour plus de détails). Si l'on compare les résultats d'essais de produits similaires, il est important de vérifier que le numéro d'identification (voir 6) est le même, sinon la méthode d'essai a pu être différente.
 - 11 Les *résultats obtenus* sont brièvement décrits en tenant compte de la méthode utilisée pour les essais (voir 10) et des conditions d'irradiation et des doses (voir 9). Dans certains cas, une référence est citée sous "Remarks", où des résultats similaires peuvent être trouvés. Cette information a été utilisée, avec les résultats de nos essais, pour l'appréciation donnée sous 13.
 - 12 Le(s) numéro(s) renvoie(nt) à la liste de références donnée à la fin du texte d'introduction (voir page 8).
 - 13 Dans cette *appréciation*, nous donnons un avertissement si le matériau est particulièrement sensible aux rayonnements; nous montrons une échelle où les différents degrés de dégradation sont indiqués: blanc—"pas de dommage"; hachuré 14—"dommage léger"; noir 15—"dommage sévère". Si dans la gamme considérée le matériau est susceptible d'être endommagé mais qu'aucun essai n'a été effectué, cette région 16 sera marquée "no test" (pas d'essais). Dans le cas où l'appréciation se réfère aux essais mécaniques standard, ceci sera mentionné explicitement; dans ce cas, le début de 14 indique un changement de 25% et le début de 15 un changement de 50% de la propriété la plus sensible (essais de flexion: résistance à la flexion; essais de traction: allongement à la rupture). Dans les autres cas, nous avons jugé les résultats d'essais en relation avec l'application prévue.
 - 17 Dans le cas où les résultats d'essais justifient la *présentation d'un graphique ou d'une information complémentaire*, les positions 1 à 6 seront reproduites sur la page opposée. Dans le cas contraire, cette page restera blanche.
 - 18 Dans le cas où il y a un *graphique des résultats d'irradiation*, veuillez tenir compte des échelles: les abscisses peuvent être linéaires ou logarithmiques. Pour l'ordonnée, nous donnons en général les valeurs en pourcentage de dégradation, normalisées à la valeur "non irradié" donnée sous 20. Dans certains cas, l'ordonnée peut aussi représenter la dégradation des propriétés mesurées sur échelle logarithmique (voir 19).
 - 19 *Identification des symboles utilisés dans le graphique et des propriétés mesurées*. On donne la valeur initiale, et quelquefois l'erreur de mesure estimée, si disponible. Les lignes qui relient les points de mesure sont le plus souvent tracées simplement comme guide. Dans le cas où l'un des symboles se réfère à une interprétation spéciale de l'échelle, ceci est mentionné ici.