

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

INSTITUT DE PROTECTION ET DE SURETE NUCLEAIRE

DEPARTEMENT D'ANALYSE DE SURETE

CEA-CONF--9140

CEA-DAS--343

M2

INFLUENCE DES CONDITIONS D'ESSAIS
SEQUENTIELLES OU SIMULTANÉES SUR LE COMPORTEMENT
DE POLYMERES INDUSTRIELS SOUMIS A LA SIMULATION
DE L'ACCIDENT DE REFERENCE DES CENTRALES PWR.

THE INFLUENCE OF SIMULTANEOUS OR SEQUENTIAL
TEST CONDITIONS IN THE PROPERTIES OF
INDUSTRIAL POLYMERS, SUBMITTED TO
PWR ACCIDENT SIMULATIONS.

F. CARLIN, C. ALBA, J. CHENION, G. GAUSSENS*
J.Y. HENRY**

International topical meeting on the operability of
nuclear power systems in normal and adverse
environments

Albuquerque, NM (USA)

29 Sep - 3 Oct 1986

RESUME

La sensibilité des matériaux polymères aux ambiances de marche normale et accidentelle des réacteurs PWR est à l'origine de la qualification nucléaire des matériels possédant des fonctions de sécurité et installés dans l'enceinte de confinement.

Les travaux relatifs à l'étude présente sont réalisés à la demande des organismes de sûreté. Ils ont pour but de vérifier si l'essai de simulation d'accident effectué de façon séquentielle lors de la qualification des matériels provoque des dégradations équivalentes à celles qui seraient dues à un accident au cours duquel l'irradiation et le choc thermodynamique seraient simultanés.

L'étude a fait l'objet d'une collaboration entre l'IPSN-DAS et l'US-NRC.

L'exposé décrit les travaux réalisés par la Cie ORIS Industrie ainsi que les résultats obtenus à partir de la mesure des propriétés mécaniques de huit matériaux polymères industriels.

Un récapitulatif des résultats est proposé, il tend à montrer que globalement le cycle d'essai le mieux adapté pour simuler l'accident serait celui qui comprend successivement l'irradiation et le choc thermodynamique ($R_{70} \rightarrow$ LOCA).

Une comparaison est menée entre les résultats de cette étude et ceux d'une étude précédente qui comprenait les mêmes cycles d'essais sauf un vieillissement thermique plus sévère. Cette comparaison menée sur trois matériaux élastomères révèle, après l'accident, une sensibilité différente de chacun d'eux aux conditions de vieillissement.

I. INTRODUCTION

Les matériels installés dans l'enceinte de confinement des réacteurs à eau pressurisée (PWR) subissent un vieillissement pendant les 40 années de fonctionnement du réacteur principalement dû à l'action simultanée de la température et de l'irradiation.

De plus, un certain nombre de ces matériels sont intégrés dans les chaînes de sécurité et doivent, à ce titre, être capables de fonctionner dans l'ambiance accidentelle la plus contraignante provoquée par un "Loss of Coolant Accident" (LOCA).

Un tel accident provoquerait la brusque détente de l'eau du circuit primaire dans l'enceinte de confinement du réacteur qui aurait pour conséquence une élévation extrêmement rapide de la température et de la pression à l'intérieur de l'enceinte de confinement ainsi qu'une libération des produits de fission du cœur du réacteur. De plus, les matériels seraient soumis dans les minutes qui suivent l'accident, à une aspersion au moyen d'une solution chimique.

Les matériaux polymères sont sensibles aux conditions de fonctionnement normales et accidentelles de l'enceinte de confinement. Il est donc nécessaire de s'assurer que les matériels de sûreté qui les renferment, fonctionnent dans ces conditions. Pour cela, ils doivent être qualifiés.

Les organismes de sûreté français ont imposé pour des raisons économiques des essais de qualification séquentiels au cours desquels sont réalisés successivement les simulations d'ambiance de marche normale du réacteur et de l'accident. La simulation d'ambiance de marche normale comprend un vieillissement thermique suivi par un vieillissement sous irradiation et la simulation d'accident, une irradiation accidentelle puis un essai thermodynamique et chimique, puis enfin un vieillissement post-accidentel. (1)

A la demande des organismes de sûreté, deux études successives ont été menées afin de déterminer si la procédure de qualification séquentielle provoque sur les matériaux polymères des dégradations équivalentes à celles qui sont dues aux vieillissements réels et à l'accident.

La première étude a été menée au sein d'un groupe de travail (GEQN) formé de la Compagnie ORIS Industrie (LABRA) du CEA (IPSN, DEIN) de Framatome d'EDF et de plusieurs industriels français (2) (11).

La seconde étude a été menée dans le cadre d'une coopération entre les organismes de sûreté français et américain. Les travaux ont été menés, en France, à la Compagnie ORIS Industrie et aux Etats-Unis dans les laboratoires des "Sandia National Laboratories".

Ces études ont nécessité l'utilisation de la cellule d'essai CESAR, mise au point par la Cie ORIS Industrie et avec laquelle il est possible de simuler parfaitement les conditions accidentelles en réalisant le profil thermodynamique du LOCA en présence de rayonnement. L'enceinte permet également de réaliser les simulations séquentielles.

Notre exposé définit les conditions opératoires et livre les principaux résultats obtenus au cours de l'étude franco-américaine sur les matériaux polymères d'origine française [(3) et (4)].

Enfin, une comparaison est faite entre les résultats de l'étude franco-américaine et ceux obtenus à partir d'une étude menée avec le Conservatoire National des Arts et Métiers (9).

II. BIBLIOGRAPHIE

Plusieurs auteurs ont comparé les effets sur les propriétés des polymères de l'action séquentielle ou simultanée de l'irradiation et du choc thermodynamique utilisés pour simuler l'accident majeur des PWR.

Dès 1978 GAUSSENS et al (5) ont mis l'accent sur la nécessité de réaliser des essais simultanés de l'ambiance accidentelle des PWR.

Y. KUSAMA et al (6) ont étudié plusieurs facteurs intervenant dans la simulation d'accident. Ils ont notamment montré l'effet de synergie sur le comportement de câbles électriques. De ces travaux, il ressort que si, pour l'allongement à la rupture les essais séquentiels et simultanés sont équivalents pour la contrainte à la rupture l'essai séquentiel est plus sévère que l'essai simultané.

Larry D. BUSTARD (7) a présenté les résultats des essais de simulation d'accident réalisé séquentiellement et simultanément (sans aspersion chimique sur neuf câbles différents en EPR).

Les résultats sont partagés, les dégradations les plus importantes ont été, pour certains câbles, provoqués par l'essai simultané et pour d'autres câbles par l'essai séquentiel.

Les travaux menés en commun aux "Sandia National Laboratories" au CEA ainsi qu'à EDF par CLOUGHT et al ont montré l'importance de la présence d'oxygène au cours du LOCA (10). Cette importance a également été montrée au cours du programme franco-américain (3).

S. OKADA et al proposent, dans une étude menée au JARI, (8) différents types d'accidents séquentiels qui provoquent sur des câbles électriques des dégradations similaires à celles dues à des essais simultanés. Dans ce travail, les effets du débit de dose d'irradiation et de la pression partielle d'air ou d'oxygène dans la vapeur utilisée au cours des chocs thermodynamiques sont étudiés.

Dans un mémoire du Conservatoire National des Arts et Métiers (9) F. CARLIN aborde l'étude des effets sur les propriétés mécaniques des polymères, d'une part de l'ordre des phases de la simulation séquentielle et d'autre part de la simulation simultanée.

III. ECHANTILLONS

Huit matériaux différents ont été placés en essai. Ils se présentaient soit sous forme d'isolants de câbles électriques, soit sous forme d'haltères, soit, enfin, sous forme de joints toriques.

a) Echantillons découpés dans des isolants de fil de câbles électriques trifilaires (tronçons de 9 à 10 cm débarrassés du fil en cuivre) :

- I₁ PRC : Polyéthylène Réticulé Chimiquement
- I₂ EPDM : Ethylène Propylène Diène Monomère
- I₉ EPDM : Ethylène Propylène Diène Monomère ignifugé par des produits bromés.

b) Echantillons découpés sous forme d'haltères :

- G₁₀ Hypalon : Polyéthylène chlorosulfoné utilisé dans les gaines des câbles électriques (haltères normalisés H2 découpés dans la gaine d'un câble).
- H3 Vamac : Terpolymère acrylique utilisé dans les joints d'étanchéité (haltères normalisés H3 découpés dans des plaques de 2 mm d'épaisseur).
- H4 EPR : Copolymère d'éthylène et de polypropylène utilisé dans les joints d'étanchéité (haltères normalisés H3 découpés dans des plaques de 2 mm d'épaisseur).

- H5 Polydiallylphtalate : polymère utilisé dans les connecteurs électriques (haltères normalisés ISO).

- H6 PPS : Polysulfure de phénylène utilisé dans les connecteurs électriques (haltères normalisés ISO).

c) Echantillons présents sous forme de joints toriques et placés en essai dans des montages à gorges qui assurent une compression telle que les diamètres des joints sont réduits de 20 % de leurs valeurs au repos.

- J3 Vamac : matériau identique à H3.

- J4 EPR : matériau identique à H4.

IV. CYCLES D'ESSAIS

4.1. Simulation de vieillissement en ambiance nucléaire

Les matériaux décrits dans le paragraphe précédent ont subi dans les laboratoires du Sandia les cycles de vieillissements suivants :

- U : témoins non vieillis

- A ($T \rightarrow R_{70}$) : cycle qui correspond à 10 jours de vieillissement thermique suivi par 10 jours d'irradiation à environ 0,3 Gray par seconde à une température de 70 °C,

- B ($R_{70} \rightarrow T$) : cycle qui correspond à 10 jours d'irradiation à 70 °C suivi par 10 jours de vieillissement thermique,

- C ($T \rightarrow R_{27}$) : cycle identique au cycle A si ce n'est l'irradiation qui est réalisée à température ambiante,

- D ($R_{27} \rightarrow T$) : cycle identique au cycle B si ce n'est l'irradiation qui est réalisée à température ambiante.

Les températures des vieillissements thermiques ont été choisies en fonction des résistances thermiques des matériaux.

- 140 °C pour les échantillons I1, I2, I9, G10, H4, J4.

- 160 °C pour les échantillons H6 et H5.

- 120 °C pour les échantillons H3 et J3.

L'ensemble des échantillons vieillis a été exposé aux flux des rayonnements du cobalt 60. La dose moyenne reçue était de 250 KGy.

4.2. Cycles de simulation d'accident

Quatre types de simulations de l'accident ont été réalisés dans les laboratoires de la Cie ORIS Industrie sur les matériaux ayant subi les 5 cycles de vieillissement (A, B, C, D et U) :

L_1 ($R_{70} \rightarrow \text{LOCA}$) : Irradiation à 70 °C suivie par une séquence thermodynamique et une séquence post-accidentelle.

L_2 ($\text{LOCA} \rightarrow R_{70}$) : Séquences thermodynamique et post-accidentelle suivies par une irradiation à 70 °C.

L_3 ($R + \text{LOCA}$) : Essai simultané de l'irradiation et de la séquence thermodynamique suivie par la séquence post-accidentelle.

- L_4 ($R_{28} \rightarrow \text{LOCA}$) : Essai identique à L_1 à l'exception de l'irradiation qui a été faite à 28 °C.

L'irradiation a été réalisée avec les rayonnements γ du cobalt 60, le débit de dose était environ de 0,83 Gray par seconde et la dose totale de 600 kilogray.

Le profil d'évolution thermodynamique pour L_3 est décrit sur la figure 1. Outre l'irradiation, les profils des autres simulations (L_2 , L_1 , L_4) sont similaires à celui de L_3 .

Les valeurs de température et de pression de la vapeur au cours du temps sont celles qui sont stipulées par les organismes de sûreté français qui imposent deux chocs thermodynamiques successifs généralement réalisés à 24 heures d'intervalle.

Au cours du second choc thermodynamique le matériel subit une aspersion pendant 24 heures par une solution saline de borate de soude dont la composition est la suivante : acide borique 15 g.l⁻¹ soude 6 g.l⁻¹. Le débit de l'aspersion a été de 6,1 l.h⁻¹ m⁻² de section d'enceinte (spécifications françaises).

Les dégradations des quatre cycles accidentels définis ci-dessus ont été comparées à celles provoquées par les cycles de vieillissement.

4.3. Cycle de simulation de vieillissement post-accidentel

Dans les quatre types de simulation d'accident, les deux séquences d'évolution thermodynamique étaient suivies par un essai post-accidentel réalisé à 100 °C pendant 10 jours avec une humidité relative supérieure à 95 %.

V. MATERIELS

5.1. Matériels utilisés au cours du vieillissement

Les essais ayant été effectués aux Sandia National Laboratories, les matériels utilisés (les fours et l'irradiateur "LICA") sont décrits avec précision dans le texte référencé 4.

5.2. Matériels utilisés au cours de l'accident et du post-accident

a) Irradiateur POSEIDON

Les irradiations accidentelles ont été réalisées dans l'irradiateur POSEIDON qui possède une casemate d'irradiation en béton de 100 m³ et dont les sources de cobalt 60, stockées en piscine, possèdent une activité moyenne totale de $1,85.10^{16}$ Bequerels.

b) Fours

Au cours des essais séquentiels L1 et L2 les échantillons ont été irradiés dans 4 fours tubulaires dont les gradients thermiques étaient au maximum de 2 °C sur la longueur des fours.

c) Enceinte thermodynamique (Figure 2)

L'enceinte CESAR a été utilisée pour réaliser les évolutions thermodynamiques des essais LOCA et les post-accidents.

Ce matériel qui possède une cellule d'essai de 200 litres permet de réaliser les profils d'évolution thermodynamique selon les recommandations des organismes de sûreté français et américain. Ainsi, il est possible de réaliser dans des temps toujours inférieurs à 10 secondes des détente de vapeur sèche afin d'obtenir des valeurs maximales de température et de pression absolue respectivement égales à 185 °C et 6 bars. La décroissance des 2 paramètres au cours du temps est pilotée automatiquement par un microprocesseur programmé par l'opérateur.

L'essai accidentel simultané est réalisé en plaçant l'enceinte CESAR dans l'irradiateur POSEIDON entre deux plans de sources parallèles disposés de part et d'autre du caisson. Dans cet essai, le premier choc thermodynamique est déclenché dès les premières secondes d'irradiation.

VI. DOSIMETRIE

Les irradiations réalisées au cours des essais accidentels dans les fours ou dans CESAR ont fait l'objet des dosimétries suivantes :

1. Des mesures ponctuelles ont été réalisées à l'aide d'une chambre d'ionisation étalonnée par le Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants qui est agréé par le Bureau National de Métrologie Français.

2. Les gradients de flux ont été repérés à l'aide de films dosimètres de triacétate de cellulose.

La précision des mesures de débits de dose a été évaluée à $\pm 15 \%$ des valeurs moyennes qui ont été retenues pour calculer les temps d'irradiation.

VII. MESURES

Des mesures de contrainte et d'allongement à la rupture ont été réalisées à l'aide d'une machine de traction Zwick de type 7025-3 équipée d'un extensomètre mécanique et placée dans une pièce climatisée à $20 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Les variations d'allongement à la rupture ont été retenues pour les élastomères (I1, I2, I9, H4, G10 et H3).

Les variations de contrainte à la rupture ont été retenues pour les matériaux injectables H5 et H6.

De plus des mesures de déformation rémanente à la compression (DRC) ont été effectuées sur les joints toriques J3 et J4 (Norme française NFT 46 011).

La précision des mesures de contrainte et d'allongement à la rupture est égale à $\pm 5 \%$.

La précision des mesures de DRC est estimée à $\pm 9 \%$.

VIII. RESULTATS

Les résultats sont regroupés sur les figures 3 à 12 qui présentent pour chaque type de vieillissement les valeurs normées par rapport aux témoins, des allongements ou des contraintes à la rupture des matériaux après les 5 types de séquences accidentelles (L1, L2, L3, L4 et non accidenté).

PRC II (Fig. 3)

L'essai simultané provoque les dégradations les plus importantes. L'essai séquentiel le plus adapté pour simuler l'essai simultané est du type L1 (R₇₀ → LOCA air).

Le choix du type de vieillissement est moins important que le choix du type d'accident.

EPDM I2 (FI. 4)

L'essai simultané provoque la destruction du matériau quels que soient les différents types de vieillissements, les allongements à la rupture sont nuls après l'essai simultané :

Tous les essais séquentiels donnent des valeurs extrêmement faibles d'allongement à la rupture. La simulation L1 (R₇₀ → LOCA) donne un résultat similaire à celui de l'essai simultané.

EPDM bromé I9 (Fig. 5)

L'essai simultané est le plus dégradant.

La simulation L1 (R₇₀ → LOCA) donne des valeurs de rapport d'allongement les plus proches de celles de l'essai simultané.

L'essai séquentiel L1 est le mieux adapté pour simuler l'essai simultané.

Les vieillissements B ou D (R₇₀ ou 27 → T) semblent préférables pour obtenir des résultats groupés après les différents types de simulations accidentelles.

VAMAC H3 et I3 (Fig. 6 et 7)

Pour les échantillons sous forme d'haltères (H3), l'essai simultané est moins dégradant que l'ensemble des essais séquentiels.

Les différents essais séquentiels peuvent être choisis pour simuler l'essai simultané ; toutefois l'essai L1 ($R_{70} \rightarrow \text{LOCA}$) donne les résultats les plus voisins de ceux de L3 ($R + \text{LOCA}$).

Dans le cas de la réalisation d'une simulation accidentelle L2 ($\text{LOCA} \rightarrow R_{70}$), il est préférable de réaliser un vieillissement B ($R_{70} \rightarrow T$).

Les joints toriques (J3) sont à la limite de leur utilisation après chacune des simulations accidentelles.

Le choix du type de simulation n'est, de ce fait, pas important pour ce matériau.

EPR H4 et I4 (Fig. 8 et 9)

Pour les échantillons sous forme d'haltères (H4) l'essai simultané est moins dégradant que l'ensemble des essais séquentiels.

Les joints toriques (J4) sont à la limite de leur utilisation après chacune des simulations accidentelles.

Les différents essais séquentiels peuvent être choisis pour simuler l'essai simultané pour le matériau sous sa forme d'haltère ou de joint (H4 ou J4).

Polydiallylphtalate H5 (Fig. 10)

L'essai séquentiel L2 ($\text{LOCA} \rightarrow R_{70}$) est moins contraignant que l'essai simultané L3.

Les essais L1 ou L4 (R_{70} OU $27 \rightarrow \text{LOCA}$) peuvent être choisis pour simuler l'essai simultané. Ces deux essais donnent des résultats similaires après un vieillissement de type D ($R_{27} \rightarrow T$).

PPS H6 (Fig. 11)

Les résultats obtenus à partir des simulations séquentielles sont voisins des résultats obtenus à partir de l'essai simultané.

Le choix du vieillissement est important : après le type A ($T \rightarrow R_{70}$) les simulations séquentielles sont moins contraignantes que la simulation simultanée. Par contre, après les types C ($T \rightarrow R_{27}$) et D ($R_{27} \rightarrow T$), la simulation L2 est plus contraignante que l'essai simultané.

Hypalon G10 (Fig. 12)

L'essai simultané est moins contraignant que les essais séquentiels.

Tous les essais séquentiels peuvent être choisis pour simuler l'essai simultané.

Le choix du type de vieillissement n'a que peu d'effet sur les résultats relevés après les simulations accidentelles.

IX. RECAPITULATIF ET COMPARAISON AVEC UNE ETUDE PRECEDENTE

Un récapitulatif des résultats est proposé sur le tableau 1. Il inclut l'ensemble des matériaux sauf les joints toriques (J3 et J4).

Sur ce tableau, pour un essai accidentel donné qui succède à un vieillissement donné chaque matériau est affecté du chiffre 1 si la propriété mesurée montre que l'essai séquentiel est plus contraignant ou équivalent à l'essai simultané et inversement, il est affecté du chiffre 0 si la propriété mesurée montre que l'essai séquentiel est moins contraignant que l'essai simultané. Les sommes des chiffres sont réalisées en bas du tableau.

Plus un chiffre sommé est élevé, plus le cycle d'essais séquentiels auquel il se rapport est favorable pour simuler l'essai accidentel simultané.

Il ressort de ce tableau que l'essai séquentiel L1 ($R_{70} \rightarrow \text{LOCA}$) semble le plus conseillé pour simuler l'essai simultané L3 ($R_{70} \rightarrow \text{LOCA}$).

D'autre part, deux types de vieillissement prévalent sur les 4 possibilités : le vieillissement C ($T \rightarrow R_{27}$) et le vieillissement D ($R_{27} \rightarrow T$).

L'approche ainsi réalisée ne peut faire apparaître que des tendances, elle a l'avantage de tenir compte de l'ensemble des produits placés en essai (sauf les joints toriques) mais parallèlement elle ne fait pas intervenir la notion de limite d'utilisation des produits.

Le tableau 2 illustre une comparaison établie entre les résultats de l'étude franco-américaine et d'une étude réalisée avec le Conservatoire National des Arts et Métiers (9).

La comparaison est réalisée à partir des allongements à la rupture de trois élastomères : l'Hypalon, le Vamac et l'EPDM ignifugé avec un produit bromé.

Le cycle d'essai de l'étude menée au Conservatoire National est le suivant :

Vieillessement de type : (T → R₇₀)

où T : 135 °C pendant 950 heures

et R : irradiation avec du ⁶⁰Co de 250 kGy à 70 °C

accidents de types : L1 (R₇₀ → LOCA), L2 (LOCA → R₇₀)

où L3 (R + LOCA).

La comparaison porte principalement sur l'effet du vieillissement (plus ou moins contraignant d'une étude à l'autre) sur les propriétés mesurées après la simulation accidentelle.

Pour l'Hypalon, le vieillissement influence de façon importante le résultat final : la position relative des résultats obtenus après l'essai séquentiel par rapport à l'essai simultané dépend de la sévérité du vieillissement.

Cette remarque peut s'appliquer également au VAMAC mais pas à l'EPDM bromé.

X. CONCLUSIONS

L'étude qui a été menée a permis d'évaluer l'effet de différents scénarios de simulations de vieillissement de marche normale et d'accident des PWR sur les propriétés mécaniques de 8 matériaux polymères.

Un essai simultané a reproduit le plus fidèlement possible les conditions probables d'un accident. Au cours de cet essai, l'irradiation et le choc thermodynamique ont été réalisés simultanément.

A la suite de ce travail, il a été possible, en comparant les propriétés mécaniques de déterminer pour chaque matériau quel était l'accident séquentiel qui semblait produire des dégradations équivalentes ou plus importantes que celles dues à l'essai simultané.

A partir de l'ensemble des résultats il est apparu que l'essai L1 (R₇₀ → LOCA) semble le mieux adapté pour simuler l'accident simultané.

De plus il semble que le chauffage des matériaux à 70 °C au cours du vieillissement sous irradiation n'influence que peu les propriétés mécaniques des polymères mesurés après différents types de simulation d'accident.

D'autre part, une comparaison a été menée à partir des résultats de l'étude franco-américaine et d'une étude menée précédemment à la Cie ORIS Industrie en relation avec le Conservatoire National des Arts et Métiers (9). Elle révèle, à partir de la mesure des propriétés mécaniques après l'accident une sensibilité différente des matériaux à la sévérité du vieillissement réalisé avant l'accident.

Bien que non exhaustifs, les résultats de cette étude sont en accord avec ceux proposés par L. BUSTARD aux Sandia (7) ainsi que T. KUSAMA (6) ou OKADA (8) au JAERI.

BIBLIOGRAPHIE

1. M. LE MEUR - HENRY
 "Règles de qualification des équipements électriques importants pour la sûreté".
 Colloque International de la SFEN sur le vieillissement dans les essais de matériels de sûreté pour centrale nucléaire. PARIS Mai 1984.

2. C. ALBA - F. CARLIN - J. CHENION - G. GAUSSENS - M. LE MEUR
 "Effet de synergie lors de la simulation d'un accident"
 Colloque International de la SFEN sur le vieillissement dans les essais de matériels de sûreté pour centrale nucléaire. PARIS Mai 1984.

3. L.D. BUSTARD - J. CHENION - F. CARLIN - C. ALBA - G. GAUSSENS
 M. LE MEUR
 "The effect of alternative aging and accident simulations on polymer properties
 NUREG/CR-4091. SAND84-2291 Mai 1985.

4. L.D. BUSTARD - MINOR - J. CHENION - F. CARLIN - C. ALBA -
 G. GAUSSENS - M. LE MEUR
 "The effect of thermal and irradiation aging simulation procedures on polymer properties".
 NUREG/CR-3629. SAND83-2651 - Avril 1984.

5. J. BERTHET - G. GAUSSENS - L. LAIZIER - F. LEMAIRE
 Commissariat à l'Energie Atomique -
 "La qualification nucléaire des plastiques"
 Caoutchoucs et Plastiques n° 582 - Août/Septembre 1978 PP 73 à 76.

6. Y. KUSAMA - S. OKADA - M. YOSHIKAWA - M. ITO - T. YAGI
 Y. NAKASE - T. SEGUCHI
 Japan Atomic Energy Research Institute
 Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment
 "Methodology study for qualification testing of wire and cable at LOCA conditions".
 USNRC Tenth water reactor safety research information meeting, October 12-15, 1982 Gaithersburg, Maryland.

7. Larry D. BUSTARD

"The effect of LOCA simulation procedures on ethylene propylene rubber's Mechanical and electrical properties".

Sandia National Laboratories SAND83-1258 - October 1983.

8. S. OKADA - Y. KUSAMA - M. ITO - T. YAGI - M. YOSHIKAWA - K. YOSHIDA - N. TAMURA - W. KAWAKAMI

Japan Atomic Energy Research Institute

Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment

"Progress on qualification testing methodology study of electric cables".

9. F. CARLIN

Compagnie ORIS Industrie - CEA

"Etude de l'influence sur certains polymères de l'ordre des phases de la simulation d'accident de référence des réacteurs à eau pressurisée".

Conservatoire National des Arts et Métiers - Thèse - Février 1986. *Paris*

10. K.T. GILLEN et CLOUGH Sandia National Laboratories

J. CHENION et GANOUNA-COHEN - CEA (ORIS et IPSN)

DELMAS EDF

"The importance of oxygen in LOCA simulation test"

Nuclear Engineering and Design n° 74 - 1982 PP 271-285.

11. C. ALBA - X. ARMAND - J. BERTHET - F. CARLIN - J. CHENION - G. GAUSSENS - F. LEMAIRE - D. PAOLI

"Détermination des conditions d'essais en vue de l'établissement d'un code pour la qualification nucléaire des matériaux incorporant des polymères".

Rapport inerte ORIS/LABRA-022 du 5 Avril 1984.

TABLEAU 1

**Comparaison entre les simulations d'accident
séquentielles et simultanées : Récapitulatif chiffré**

Si pour 1 matériau, la simulation séquentielle est
équivalente ou plus contraignante que la simulation simultanée
il est affecté du chiffre 1 dans le cas contraire il est affecté du
chiffre 0.

Matériaux	R ₇₀ → LOCA L1		LOCA → R ₇₀ L2		R ₂₇ → LOCA L4			
	II	** 1	1	0	0	0	0	
	1	1	1	1	0	0		
I2	1	1	0	1	0	1		
	1	1	1	1	1	1		
I9	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0		
H3	1	1	1	1	1	1		
	1	1	1	1	1	1		
H4	1	1	1	1	1	1		
	1	1	1	1	1	1		
H5	1	1	0	0	0	1		
	1	1	0	0	1	1		
H6	0	1	0	1	0	0		
	0	0	0	1	0	0		
G10	1	1	1	1	1	1		
	1	1	1	1	1	1		
Total partiel	6	7	3	5	3	5	12	17
Total partiel	6	6	4	6	5	5	15	17
Total	25		18		18			

** Dans les cases, les chiffres représentent les vieillissements de type :

A	C
B	D

TABLEAU 2

ETUDES	VIEILLISSEMENTS	COMPARAISON ENTRE LES SIMULATIONS ACCIDENTELLES SEQUENTIELLES ET SIMULTANEEES POUR 2 ETUDES DONT LES VIEILLISSEMENTS SONT DIFFERENTS		
		HYPALON	VAMAC	EPDM BROME
n° 1 coop. France/ US	type A ($T \rightarrow R_{70}$) où T : 120 °C où 140 °C pendant 240 h	Simultané moins contraignant que séquentiel	Simultané moins contraignant que séquentiel	Simultané plus contraignant que séquentiel
n° 2 Mémoire du Conservat. National	type A ($T \rightarrow R_{70}$) où T : 135°C pendant 950 h	Simultané plus contraignant que séquentiel	Simultané équivalent à séquentiel	Simultané plus contraignant que séquentiel

Figure 1
Simulation simultanée L3

— Profil obtenu
- - - Profil théorique

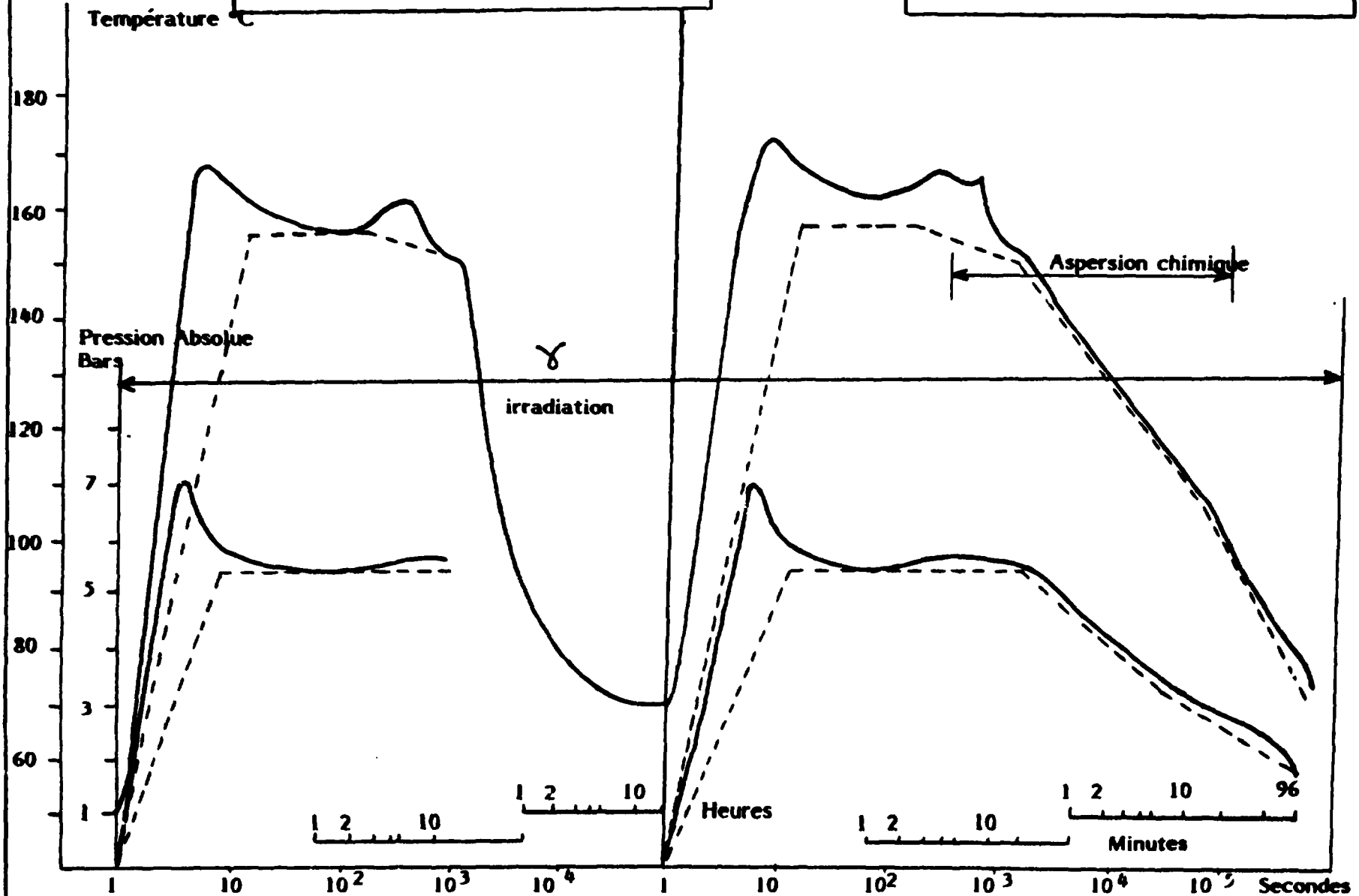




Figure 2 - CESAR

FIGURE 3

P R C II

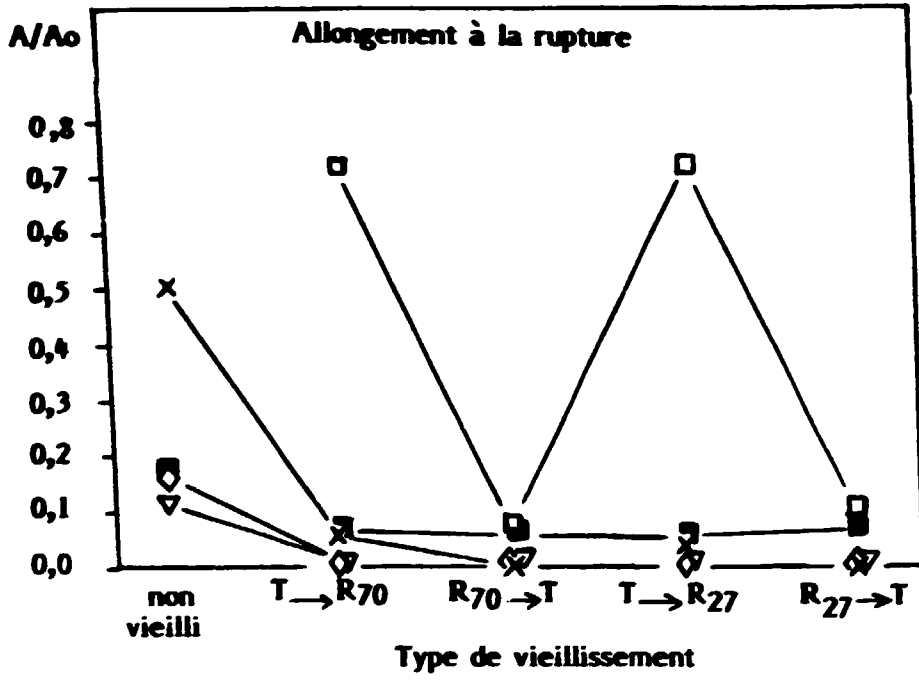


FIGURE 4

EPDM 12

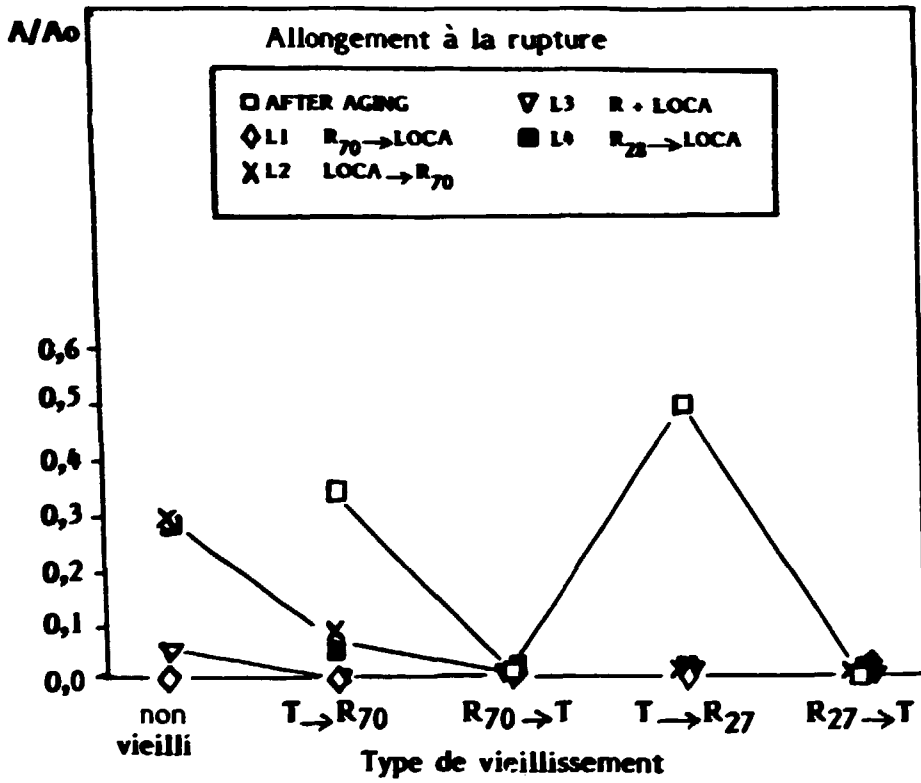


FIGURE 5 EPDM IGNIFUGE 19

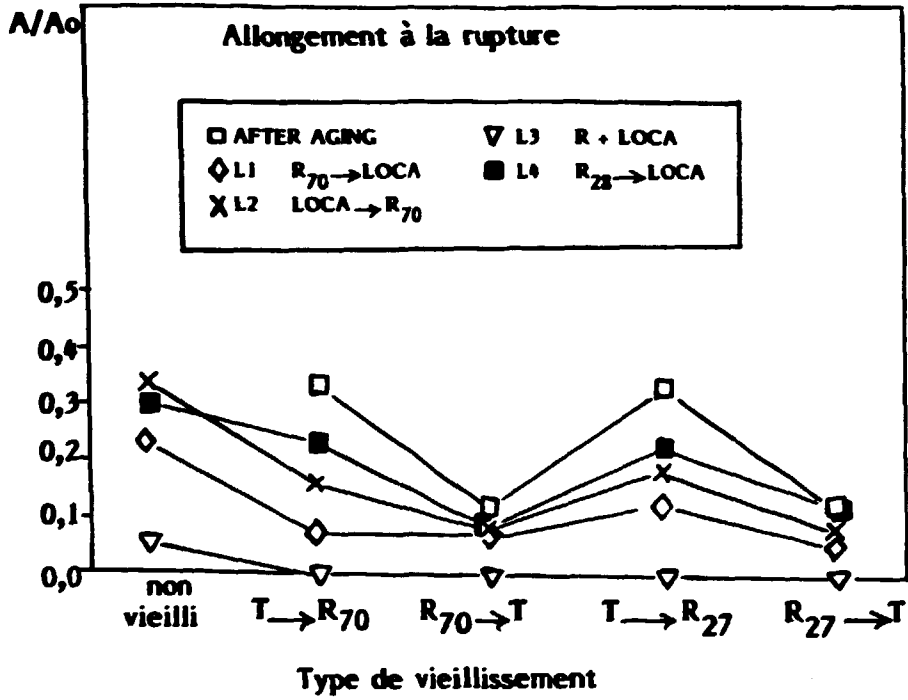


FIGURE 6 VAMAC H3

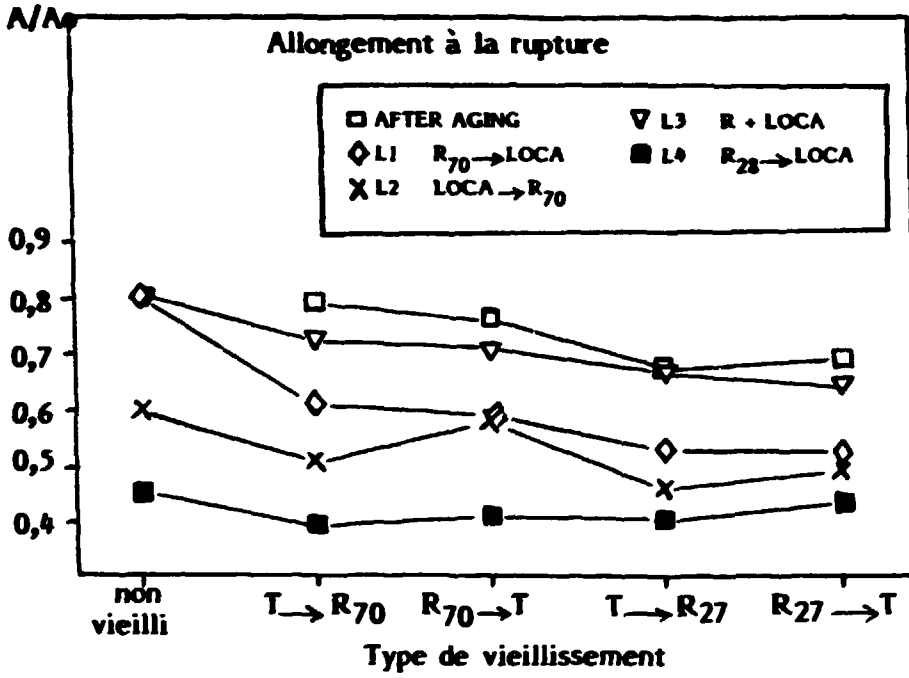


FIGURE 7 VAMAC J3

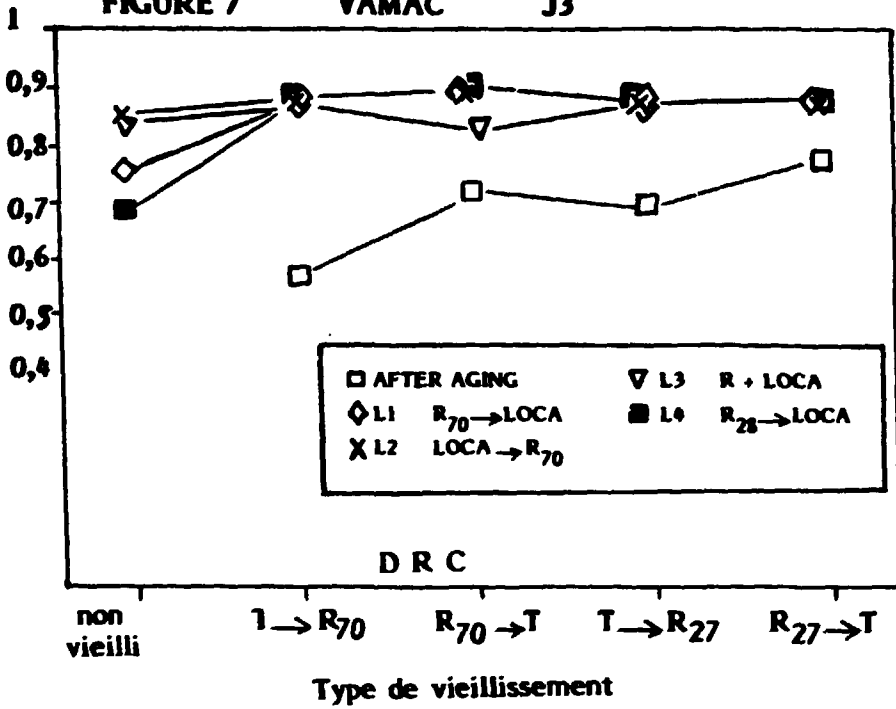


FIGURE 8 E P R H4

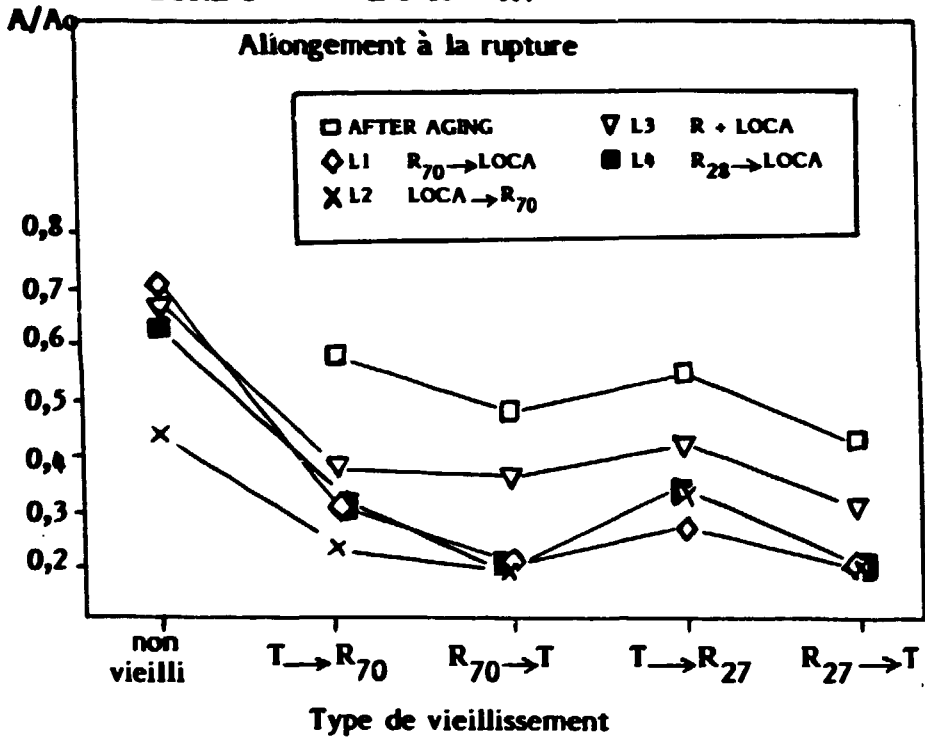


FIGURE 9 E P R J4

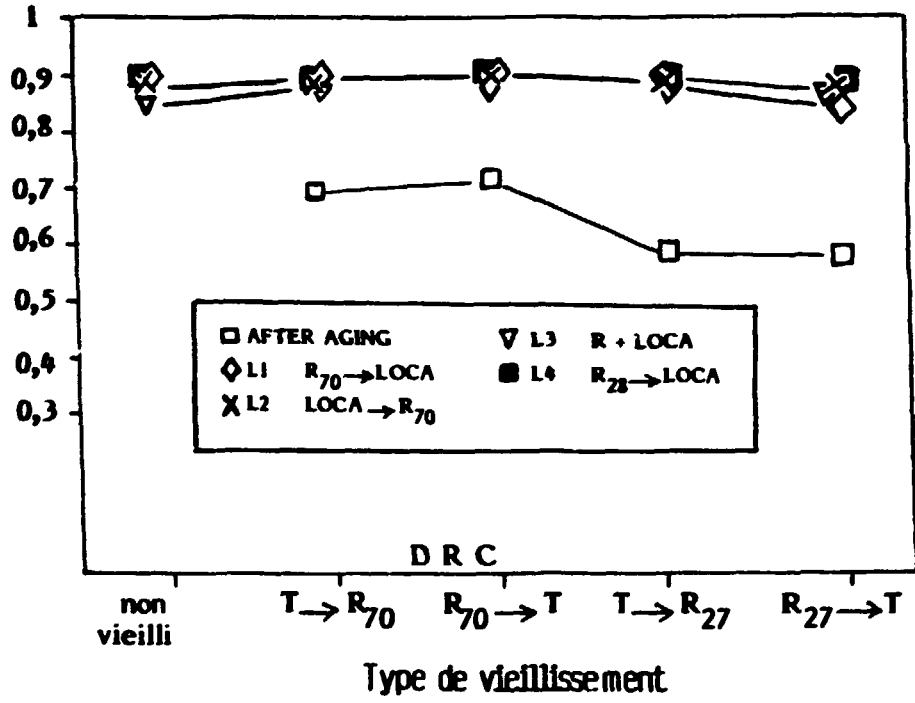


FIGURE 10 POLYDIALLYLPHTALATE H5

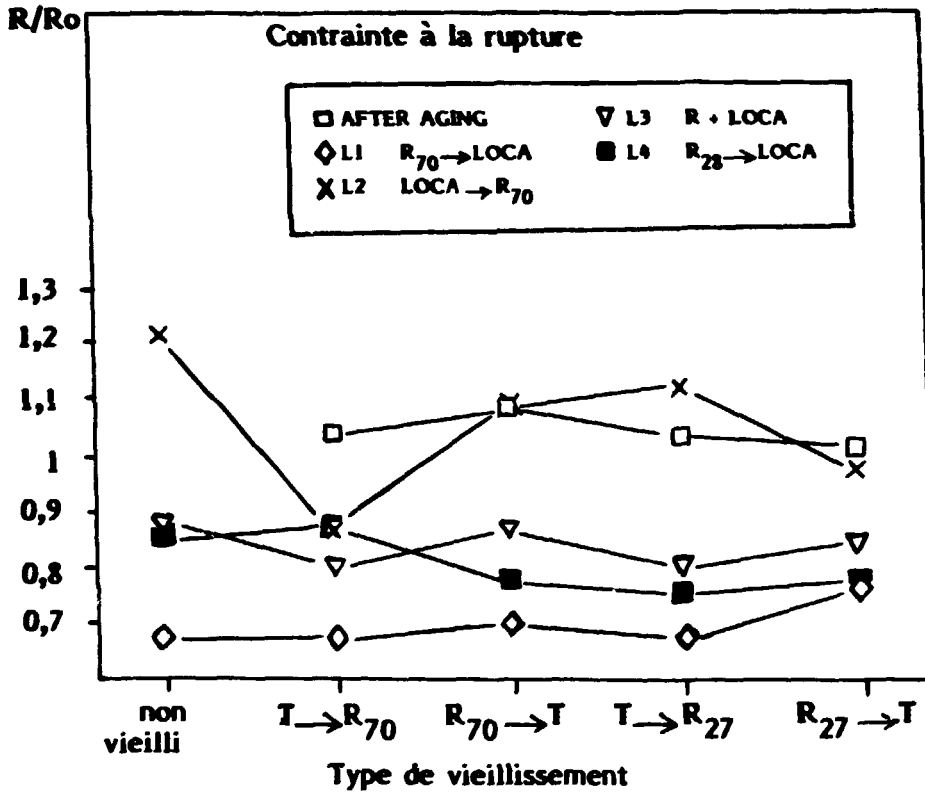


FIGURE 11 P P S H6

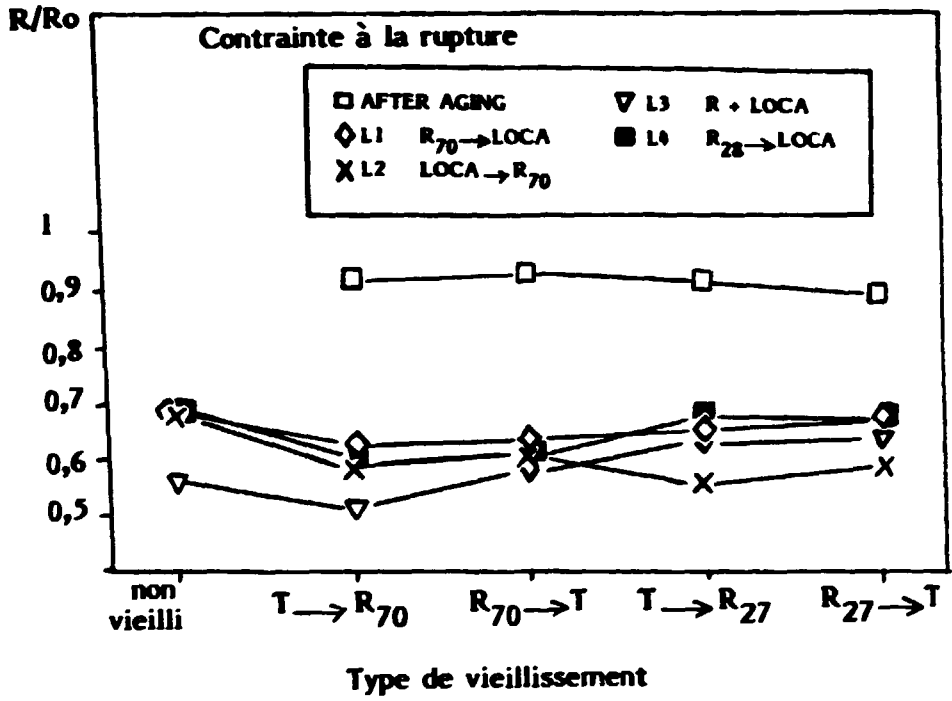
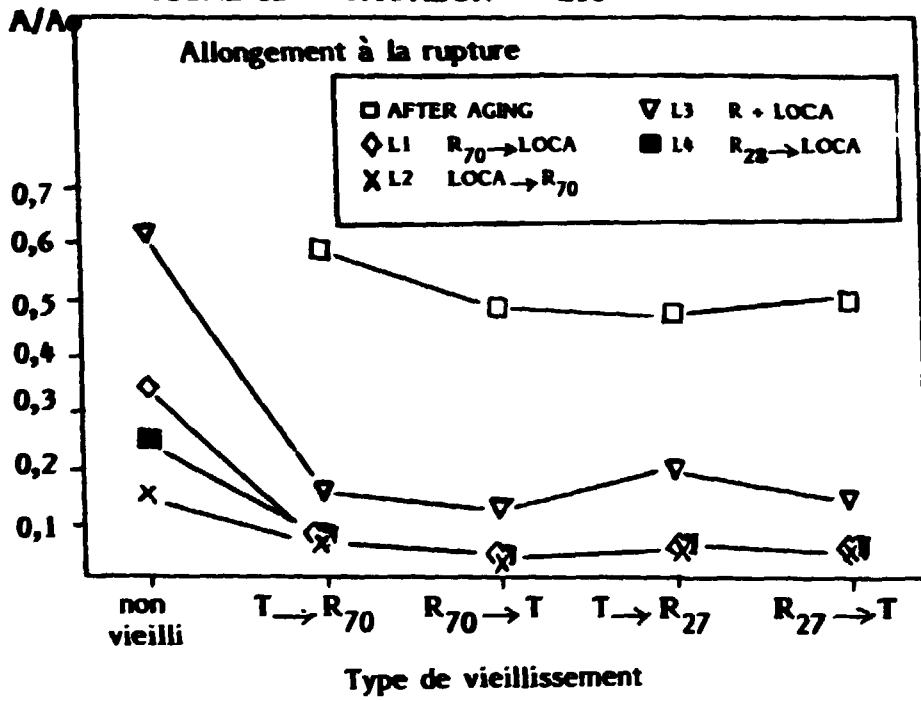


FIGURE 12 HYPALON G10



THE INFLUENCE OF SIMULTANEOUS OR SEQUENTIAL TEST CONDITIONS IN THE PROPERTIES OF INDUSTRIAL POLYMERS, SUBMITTED TO PWR ACCIDENT SIMULATIONS.

F. CARLIN^{*} ; C. ALBA^{*} ; J. CHENION^{*} ; G. GAUSSENS^{*} ; J.Y. HENRY^{**}
^{*} Compagnie ORIS Industrie - LABRA BP 21 91190 Gil-sur-Yvette - FRANCE
^{**} Atomic Energy Commission - IPSN-DAS 92260 Fontenay-aux-Roses - FRANCE

ABSTRACT

The effect of PWR plant normal and accident operating conditions on polymers forms the basis of nuclear qualification of safety-related containment equipment.

This study was carried out on the request of safety organizations. Its purpose was to check whether accident simulations carried out sequentially during equipment qualification tests would lead to the same deterioration as that caused by an accident involving simultaneous irradiation and thermodynamic effects.

The IPSN, DAS and the United States NRC have collaborated in preparing this study.

The work carried out by ORIS Company as well as the results obtained from measurement of the mechanical properties of 8 industrial polymers are described in this report.

The results are given in the conclusion. They tend to show that, overall, the most suitable test cycle for simulating accident operating conditions would be one which included irradiation and consecutive thermodynamic shock (R_{70} = LOCA).

The results of this study and the results obtained in a previous study, which included the same test cycles, except for more severe thermo-ageing, have been compared. This comparison, which was made on three elastomers, shows that ageing after the accident has a different effect on each material.

I. INTRODUCTION

The equipment installed in PWR reactor containments are subject to ageing throughout the thirty years of reactor operation. This is mainly caused by the simultaneous effect of temperature and irradiation.

A certain number of these items are safety-related and must therefore be capable of operating during a Loss of Coolant Accident

(LOCA). This type of accident would lead to sudden depressurization of the water in the primary coolant system in the reactor containment provoking a surge in temperature and pressure within the containment and release of core fission products. In addition, in the minutes following the accident, the equipment would be sprayed with a chemical solution.

Polymers are affected by containment accident and normal operating conditions. Hence tests are run on the safety-related material which encloses to ensure operation will be satisfactory under these conditions. They must therefore pass the qualification tests.

For reasons of economy, the French safety authorities have imposed sequential qualification tests during which reactor accident and normal operating conditions are simulated in succession. Simulation of normal operating conditions will include thermal ageing followed by ageing under the effect of irradiation and accident simulation, accidental irradiation followed by thermodynamic and chemical testing and, finally, post accident ageing.

On the request of the safety authorities, two consecutive studies were run in order to determine whether the sequential qualification procedure provoked the same deterioration of polymers as would occur due to real ageing and the accident.

The first study was carried out by a working party (GEQN) in which the industrial Company ORIS (LABRA), the CEA (IPSN, DEIN), Framatome, EDF and several French companies took part (2) (1).

The second study was carried out as part of the cooperation between French and American safety organizations. The work was carried out in France on ORIS premises and in the United States at the Sandia National Laboratories.

The CESAR hot cuve was used for these tests. It was developed by ORIS Company and provides exact simulation of accident operating

conditions by creating the LOCA thermodynamic profile in the presence of radiation. The containment also enables sequential simulations to be executed.

Our paper will define the operating conditions and give the main results obtained during the Franco-American study on French polymers (3) (4).

Finally, the Franco-American results are compared with those obtained by the Conservatoire National des Arts et Métiers (9).

II. BIBLIOGRAPHY

Polymer properties under the sequential or simultaneous effects of irradiation and the thermodynamic shock during simulation of a major PWR accident have been compared by several authors.

In 1978, Gaussens et al (5) emphasize the need to carry out simultaneous tests under PWR accident operating conditions.

Y. Kusama et al (6) have studied several factors which intervene in accident simulation. They have demonstrated the effect of synergy on electric cables. It is apparent from this work that although elongation on failure is equivalent for sequential and simultaneous tests, sequential tests have a more severe effect than simultaneous tests with regard to tensile strength.

Larry D. Bustard (7) has described the results of accident simulation tests carried out sequentially and simultaneously (without chemical spraying) on 9 different cables manufactured with EPR.

The results are mitigated. Greatest deterioration is caused by the simultaneous tests on certain cables and by the sequential tests on others.

The work carried out in common at the Sandia National Laboratories, at the CEA and at EDF by Clought et al has demonstrated the importance of the presence of oxygen during the LOCA (10). This was also borne out by the Franco-American program (3).

In a study carried out at the JARI (8), S. Okada et al proposed different types of sequential accidents causing electrical cable deterioration similar to that caused by simultaneous tests. In this work, the effects of the irradiation dose rate and the partial pressure of air or oxygen in the steam inducing the thermodynamic shock were studied.

F. Carlin dealt with the effect on polymer mechanical properties in a thesis presented at the Conservatoire National des Arts et Métiers (9). This treated both the order of the phases, in sequential and simultaneous simulation of accident.

III. TEST SAMPLES

Eight different materials were tested. They were either in the form of cable insulation, dumbbells or O-rings.

- a) Samples cut from three-core electrical cable insulation (9 to 10 cm sections with copper wire removed)
 - 11 PRC : chemically cross-linked polyethylene.
 - 12 EPDM : Diene ethylene-propylene monomer.
 - 19 EPDM : Diene ethylene-propylene monomer, with flame retarding treatment by brominated products.
- b) Dumbbell samples :
 - G10 HYPALON[®] : Chlorosulfonated polyethylene used in cable gaskets (H3 standard dumbbell section cut from cable gaskets).
 - H3 VAMAC[®] : acrylic terpolymer used in leaktight seals (H3 standard dumbbell samples cut from 2-mm thick gaskets)
 - H4 EPR : ethylene and polypropylene copolymer used in leaktight seals (H3 standard dumbbell samples cut from 2-mm thick sheets).
 - H5 Polydiallylphthalate : polymer used in electrical connections (ISO standard dumbbell samples).
 - H6 PPS : phenylene polysulfide used in electrical connections (ISO standard dumbbell sample).
- c) Samples in the form of O-rings with test locations in groove assemblies to provide 20 % compression of seals :
 - J3 VAMAC[®] identical material to H3
 - J4 EPR : identical material to H4.

IV. TEST CYCLES

4.1. Ageing simulation in nuclear environment

The materials described in the previous section underwent the following ageing cycles in the Sandia Laboratories :

- U : Non-aged reference samples,
- A (T + R₇₀) : Cycle corresponding to 10 days thermal ageing followed by 10 days irradiation at approx. 0.3 Gray per second at 70 °C,
- B (R₇₀ + T) : cycle corresponding to 10 days irradiation at 70 °C followed by 10 days thermal ageing.
- C (T + R₂₇) : identical to cycle A except that irradiation is made at ambient

- D (R₂₇ + T) : identical to B except that irradiation is made at ambient temperature.

Thermal ageing temperatures are related to material heat resistance :

- 140 °C for samples 11, 12, 19, G10, H6, J4.
- 160 °C for samples H6 and H3
- 120 °C for samples H3 and J3.

All the samples aged were exposed to a Cobalt 60 radiation γ flux. Average dose was 250 kGy.

4.2. Accident simulation cycle

Four types of accident simulation were performed in ORIS Company Laboratories on materials having been submitted to the live ageing cycles (A, B, C, D and U) :

- L1 (R₇₀ + LOCA) : irradiation at 70 °C followed by a thermodynamic sequence and post accident sequence.
- L2 (R + LOCA) : thermodynamic and a post accident sequences followed by irradiations at 70 °C.
- L3 (R + LOCA) : simultaneous testing of irradiation and the thermodynamic sequence followed by a post-accident sequence.
- L4 (R₂₈ + LOCA) : test identical to L1 with the exception of irradiation which was made at 28 °C.

Irradiation was carried out with Cobalt 60 γ radiation. The dose used was approx. 0.83 Gray per second and the total dose 600 kilograys.

The thermodynamic profile for L3 is shown in figure 1. Apart from irradiation, the profile for other simulations (L2, L1, L4) was similar to those for L3.

Steam pressure and temperature readings relative to a time scale were those stipulated by French safety authorities. They impose the requirement for two consecutive thermodynamic shocks usually 24 hours apart.

During the second thermodynamic shock, the material is sprayed with a salt solution of sodium borate ; mixture used was : boric acid : 15 g l⁻¹, caustic soda : 6 g l⁻¹. The spray rate was 6.1 l h⁻¹ m⁻² in the containment section (French specifications).

Deterioration resulting from the four accident cycles described above were compared with the deterioration caused by the ageing cycle.

4.3. Cycle of post-accident ageing simulation

In the four types of accident simulation, the two thermodynamic sequences were followed by a post-accident test carried out at 100 °C

for 10 days with relative humidity maintained above 95 %.

V. EQUIPMENT

5.1. Equipment used during ageing

As the tests were carried out at Sandia National Laboratories, detailed descriptions of the equipment used (ovens and "LOCA" irradiators) are described in the text referenced 4.

5.2. Equipment used during the accident and the post-accident

a) Poseidon irradiator

A Poseidon irradiator was used to simulate accidental irradiations. This was equipped with a 100 m³ concrete irradiation chamber. The Cobalt 60, stored in a pool, had a total average activity of 1.85 x 10¹⁶ Bequerels.

b) Ovens

During the L1 and L2 sequential tests, the samples were irradiated in four tubular ovens whose thermal gradients did not exceed 2 °C over the oven length.

c) Thermodynamic containment (fig. 2)

The CESAR containment was used to run the thermodynamic, the LOCA and post-accident tests. This equipment has a 200-liter test compartment which made it possible to obtain a thermodynamic development in accordance with the French or American safety organization recommendations. Thus, dry steam releases could be executed in less than 10 seconds in order to obtain maximum temperature and absolute pressure readings equal to 185 °C and 6 bars respectively. Decreases in these two parameters during the test were automatically controlled by an operator programmed computer.

The simulated accident test is performed by placing the CESAR containment in the Poseidon irradiator between two parallel sources arranged on both sides of the compartment. In this test, the first thermodynamic shock is tripped during the first seconds of irradiation.

VI. DOSIMETRY

The following dosimetric methods were used to measure the irradiations : during accident tests in the ovens or in the CESAR :

1. Spot readings were made using an ionisation chamber calibrated by the Laboratoire de Métrologie des Rayonnements Ionisants which is approved by the Bureau National de Métrologie (French measuring instruments authority).
2. Flux gradients were identified using cellulose triacetate films.

Accuracy of readings and dose rates was assessed at $\pm 15\%$ of average values adopted for calculating the period of irradiation.

VII. MEASUREMENTS

Tensile strength and elongation at break were measured using a 7025-3 Zwick machine fitted with mechanical extensometer and placed in a room maintained at $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

Variations in elongation at break were noted for elastomers (I1, I2, I9, H4, G10 and H3).

Variations in tensile strength were noted for injectable materials H3 and H6.

In addition, permanent set from compression was measured on O-rings J3 and J4 (French standard NFT 46 011).

The accuracy of tensile strength and elongation measurements is $\pm 5\%$.

The accuracy of permanent set from compression readings is estimated at $\pm 5\%$.

VIII. RESULTS

Figures 3 to 12 show the results for elongation at break and tensile strength of the samples.

PRC I1 (fig. 3)

The simultaneous test provokes greater deterioration of the material. The L1 test (R70 + LOCA air) is the most suitable sequential test for simulating the simultaneous test.

The choice of the type of ageing is less important than the choice of the type of accident.

EPDM I2 (fig. 4)

A simultaneous test provoked destruction of the material. Whatever the different types of ageing, elongation at break is 0 after the simultaneous test.

All the sequential tests give extremely low readings for elongation at break. Simulation L1 (R70 + LOCA) yields a result similar to the simultaneous test.

Brominated EPDM I9 (fig. 5)

The simultaneous test provoked the greatest deterioration of the material.

Simulation L1 (R70 + LOCA) yields the elongation values closest to those of the simultaneous tests.

Sequential test L1 is best suited for

simulating the simultaneous test.

To obtain grouped results after the different types of accident simulation, ageing B or D (R70 or 27 + T) would seem best.

VAMAC H3 and I3 (fig. 6 and 7)

Less deterioration is obtained on H3 dumbbell samples with the simultaneous tests as opposed to the sequential tests.

Different sequential tests may be selected to simulate the simultaneous tests. However, test L1 (R70 + LOCA) gives results closest to L3 (R + LOCA).

For running an L2 accident simulation (LOCA + R70), ageing B (R70 + T) is preferable.

O-rings (I3) are at the limit of use after each accident simulation.

The type of simulation chosen is therefore unimportant for this material.

EPR H4 and I4 (fig. 8 and 9)

For dumbbell samples (H4) the simultaneous test causes less deterioration than all the sequential tests. O-rings (I4) are at the limit of use after each accidental simulation.

Different sequential tests may be selected to simulate the simultaneous tests for each material in its dumbbell or seal form (H4 or I4).

Polydiallylphthalate H5 (fig. 10)

Sequential test L2 (LOCA + R70) is less severe than the simultaneous test L3.

Test L1 or L4 (R70 or 27 + LOCA) may be used to simulate the simultaneous tests. These two tests give similar results after type D ageing (R27 + T).

PPS H6 (fig. 11)

The results obtained from sequential simulations are close to the results for simultaneous tests.

Choice of the type of ageing is important. After type A (T + R70) ageing, sequential simulations have less effect than simultaneous simulations. However, after type C (T + R27) and D (R27 + T), simulation L2 is more severe than the simultaneous test.

Hypalon G10 (fig. 12)

The simultaneous test is less severe than the sequential tests.

All the sequential tests may be chosen to simulate the simultaneous tests.

The choice of the type of ageing only slightly effects the results obtained after accident simulations.

IX. REVIEW AND COMPARISON OF A PREVIOUS STUDY

Table 1 shows the results of tests. It covers all the materials with the exception of O-rings (J3 and J4).

Each type material in this table is attributed a 1 if its measured mechanical property after a given accident test and after given ageing shows that a sequential test has more or equivalent effect to the simultaneous test. The figure 0 is attributed to the material if the measured property shows that the sequential test has less severe effects than the simultaneous test. The sums of these figures are given at the bottom of the table.

The higher the sum, the more suited the sequential test cycle to which it refers is for simulating the simultaneous accident test.

It results from this table that the sequential test L1 (R70 + LOCA) is best for simulating the simultaneous test L3 (R70 + LOCA). In addition, two types of ageing have comparable results for the four tested configurations : ageing C (T + R27) and ageing D (R27 + T).

The method used can only reveal trends. It has the advantage of taking into account the product tested (except O-rings) but ignores concept of product life.

Table 2 provides a comparison between the results of the Franco-American study and the result of a study carried out at the Conservatoire National des Arts et Métiers (9). This comparison has been made based on elongation on failure of three elastomers : Hypalon, Vamac and EPDM (flame-retarded with a brominated product).

The test cycle for the study used at the Conservatoire is as follows :

Ageing type : (T + R70)

in which T : 135 °C for 950 hours
and R : irradiation of 250 kGy with Cobalt 60 at 70 °C.

Accident type : L1 (R70 + LOCA), L2 (LOCA + R70) or L3 (R + LOCA).

The comparison mainly refers to the effect of ageing (variable, from one study to another) on the measured property after accident simulation.

With regard to Hypalon, ageing has a considerable influence on final results. The relative position of results obtained after the sequential relative to the simultaneous tests de-

pends on the extent of ageing.

This comment may also be applied to Vamac but not to brominated EPDM.

X. CONCLUSIONS

The study has allowed different scenarios for simulating ageing under normal and accidental operating conditions in PWR to be assessed for 8 types of polymer.

A simultaneous test has been used to reproduce the conditions probably occurring in an accident as closely as possible. During this test, irradiation and thermodynamic shock were applied simultaneously.

As a result of this work, comparison of the mechanical properties has made it possible to determine the sequential accident which seems to produce equivalent or greater deterioration that caused by a simultaneous accident for each material.

Based on all these results, it is apparent that the L1 test (R70 + LOCA) seems most suitable for simulating the simultaneous accident. Furthermore, it would seem that heating the material to 70 °C during ageing under the effect of irradiation only has a slight influence on the mechanical properties of the polymers measured under different types of accident simulation.

A comparison was made between the results of the Franco-American study and the study carried out previously at ORIS Industrial Company in cooperation with the Conservatoire National des Arts et Métiers (9). Measurement of mechanical properties revealed the varying sensitivity of the materials with respect to the degree of ageing that occurred before the accident.

Although non-exhaustive, the results of this study agree with those put forward by L. Bustard at Sandia (7) together with T. Kusata (6) or Okada (8) at JAERI.

BIBLIOGRAPHY

1. M. LE MEUR - HENRY
"Règles de qualification des équipements électriques importants pour la sûreté".
Colloque International de la SFEN sur le vieillissement dans les essais de matériels de sûreté pour centrale nucléaire. PARIS Mai 1984.
2. C. ALBA - F. CARLIN - J. CHENION - G. GAUSSENS - M. LE MEUR
"Effets de synergie lors de la simulation d'un accident"
Colloque International de la SFEN sur le vieillissement dans les essais de matériels

de sûreté pour centrale nucléaire. PARIS Mai 1984.

3. L.D. BUSTARD - J. CHENION - F. CARLIN
C. ALBA - G. GAUSSENS - M. LE MEUR
"The effect of alternative aging and accident simulations on polymer properties"
NUREG/CR-4091. SAND84-2291 Mai 1985.
4. L.D. BUSTARD - MINOR - J. CHENION
F. CARLIN - C. ALBA - G. GAUSSENS -

M. LE MEUR

"The effect of thermal and irradiation aging simulation procedures on polymer properties"
NUREG/CR-3629. SAND83-2631 - Avril 1984.

5. J. BERTHET - G. GAUSSENS - J. LAIZIER
F. LEMAIRE
Commissariat à l'Energie Atomique -
"La qualification nucléaire des plastiques"
Caoutchoucs et Plastiques n° 582 - Août/
Septembre 1978 PP 73 à 76.

6. Y. KUSAMA - S. OKADA - M. YOSHIKAWA
M. ITO - T. YAGI - Y. NAKASE - T. SEGUCHI
Japan Atomic Energy Research Institute
Takasaki Radiation Chemistry Research
Establishment
"Methodology study for qualification testing of wire and cable at LOCA conditions".
USNRC Tenth water reactor safety research information meeting, October 12-13, 1982
Gaithersburg, Maryland.

7. Larry D. BUSTARD
"The effect of LOCA simulation procedures on ethylene propylene rubber's mechanical and electrical properties".
Sandia National Laboratories SAND83-1258
October 1983.

8. S. OKADA - Y. KUSAMA - M. ITO - T. YAGI
M. YOSHIKAWA - K. YOSHIDA - N. TAMURA
W. KAWAKAMI
Japan Atomic Energy Research Institute
Takasaki Radiation Chemistry Research
Establishment
"Progress on qualification testing methodology study of electric cables".

9. F. CARLIN
Compagnie ORIS Industrie - CEA
"Etude de l'influence sur certains polymères de l'ordre des phases de la simulation d'accident de référence des réacteurs à eau pressurisée".
Conservatoire National des Arts et Métiers
Thèse - Février 1986.

10. K.T. GILLEN et CLOUGH Sandia National
Laboratories
J. CHENION et GANOUNA-COHEN - CEA
(ORIS et IPSN)
DELMAS EDF
"The importance of oxygen in LOCA simulation test"
Nuclear Engineering and Design n° 74 - 1982
PP 271-285.

11. C. ALBA - X. ARMAND - J. BERTHET -
F. CARLIN - J. CHENION - G. GAUSSENS
F. LEMAIRE - D. PAOLI

"Détermination des conditions d'essais en vue de l'établissement d'un code pour la qualification nucléaire des matériaux incorporant des polymères".
Rapport interne ORIS/LABRA-022 du 5 Avril 1984.

TABLE I
REVIEW OF RESULTS

1 : Sequential test more severe or equivalent to simultaneous test

0 : Sequential test less severe to simultaneous test.

Material	R ₇₀ → LOCA L1		LOCA → R ₇₀ L2		R ₇₀ → LOCA L3			
M	1	1	0	0	0	0		
	1	1	1	1	0	0		
M	1	1	0	1	0	1		
	1	1	1	1	1	1		
M	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0	0		
M3	1	1	1	1	1	1		
	1	1	1	1	1	1		
M6	1	1	1	1	1	1		
	1	1	1	1	1	1		
M5	1	1	0	0	0	1		
	1	1	0	0	1	1		
M6	0	1	0	1	0	0		
	0	0	0	1	0	0		
G10	1	1	1	1	1	1		
	1	1	1	1	1	1	Partial test	
Partial test	6	7	3	3	3	3	12	17
	6	6	0	6	3	3	15	17
Sum	23		18		18			

A	C
B	D

Aging tests

TABLE 2

COMPARISON WITH A PREVIOUS STUDY

Study	Aging	Results with elongation at break of 3 elements after Accident Simulation		
		Nyloin	Yonac	EPDM
French/US	Cycle A	Simultaneous	Simultaneous	Simultaneous
	T = R70 T = 200 hours 120 or 140 °C	less severe than sequential	less severe than sequential	more severe than sequential
C N A M	T = R70	Simultaneous	Simultaneous	Simultaneous
	T = 920 hours 120 °C	more severe than sequential	equal sequential	more severe than sequential



Figure 2 CESAR facility

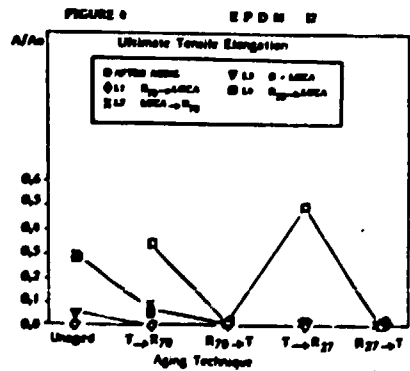
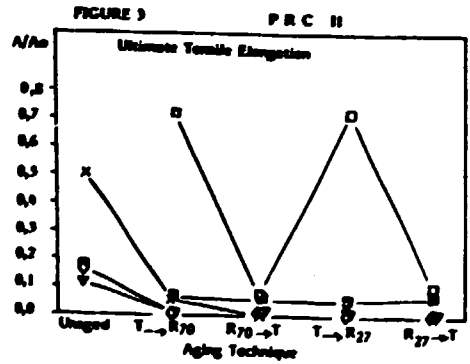
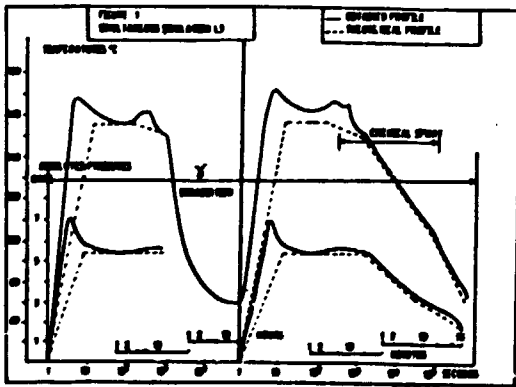


FIGURE 5 VITE-PROOF EPDM 10

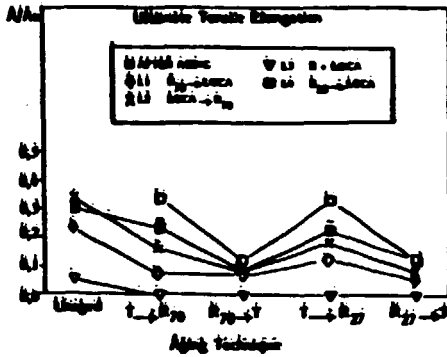


FIGURE 8 E P R 100

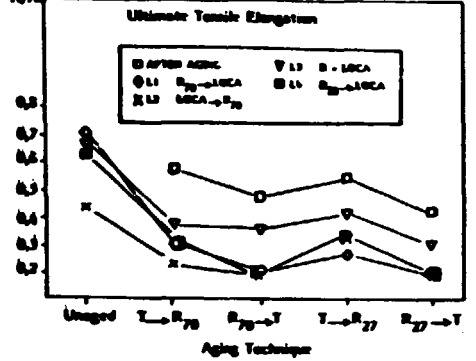


FIGURE 6 VAMAC 10

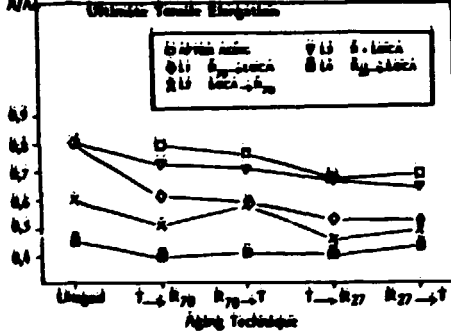


FIGURE 9 E P R 20

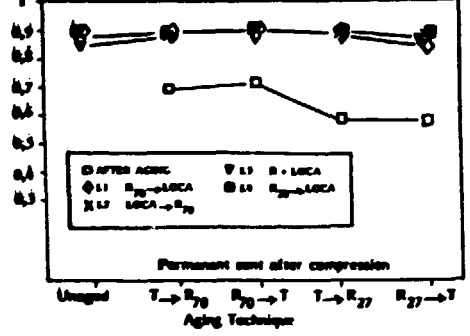


FIGURE 7 VAMAC 20

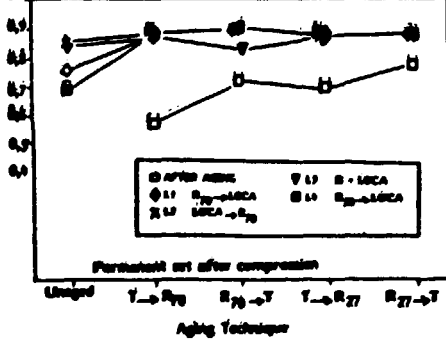
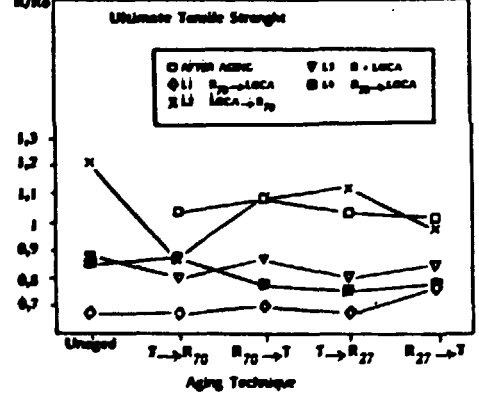
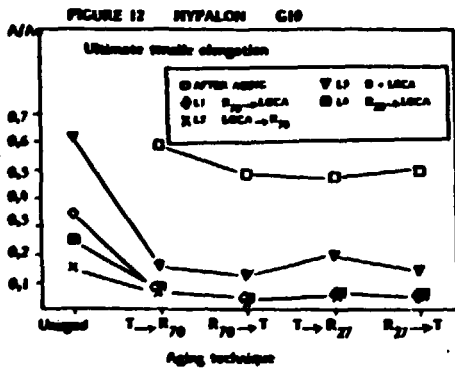
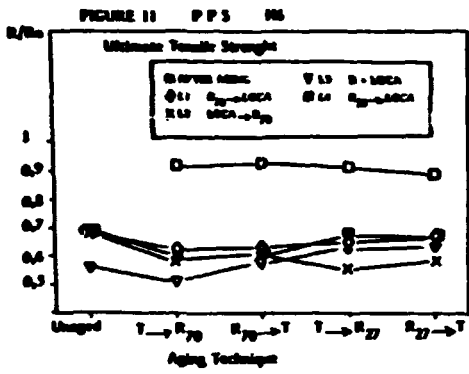


FIGURE 10 POLYDIALYLPHTHALATE 10





DIFFUSION CEA

M. le Haut Commissaire
 DSE
 DDS
 IPSN
 IPSN : M. SCHMITT
 IPSN : M. CANDES
 DRSN : M. BUSSAC
 DRSN : M. PELCE
 DAS
 SRDE
 BDSN
 LEFH
 BAIN
 GCSR
 SASR
 SACP
 SAEP
 SGNR
 SAREP
 SASICC
 SASLU
 SASLU/VALRHO
 SEC
 SAET
 SAED

STAS
 SASC
 SAEG
 SAM
 SPI
 BEP
 DERS Cadarache
 SES Cadarache
 SERE Cadarache
 SIES Cadarache
 SESRU Cadarache
 SRSC Valduc
 SEAREL
 DPS/FAR + DPS/DOC : Mme BEAU
 DPT/FAR
 DSMN/FAR
 CDSN/FAR : Mme PENNANEAC'H
 UDIN/VALRHO
 DEDR Saclay
 DRNR Cadarache
 DRE Cadarache
 DER Cadarache
 DMT Saclay
 DMECN/DIR Cadarache
 DMECN Saclay
 DTCE Grenoble
 Service Documentation Saclay :
 Mme COTTON (3 ex.)

DIFFUSION HORS CEA

Secrétariat Général du Comité Interministériel de la Sécurité Nucléaire : M. CUREAU
 Conseil Général des Mines : M. DE TORQUAT
 Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires : M. LAVERIE (+ 3 ex.)
 Service Central de Sûreté des Installations Nucléaires - FAR
 Monsieur le Président du G.P.d. : M. GUILLAUMONT
 Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières : Mlle TISSIER
 FRAMATOME : M. le Directeur Général
 NOVATOME : M. le Directeur Général
 TECHNICATOME : M. le Directeur Général
 TECHNICATOME : Service Documentation
 EDF / L'inspecteur général de sûreté et de sécurité nucléaires : M. TANGUY
 EDF / SEPTEN (2 ex.)
 EDF / SPT
 M. HOHLEFELDER) Bundes Ministerium für UMWELT, NATURSCHUTZ
 M. BREEST) und REAKTORSICHERHEIT - BONN (RFA)
 M. KREWER - Bundes Ministerium für Forschung und Technologie - BONN (RFA)
 M. BIRKHOFFER - Gesellschaft für Reaktorsicherheit - KOLN (RFA)
 M. JAHNS - Gesellschaft für Reaktorsicherheit - KOLN (RFA)
 M. HAUBER - U.S.N.R.C. - WASHINGTON (E.U.)
 M. BECKJORD - U.S.N.R.C. - WASHINGTON (E.U.)
 M. E.A. RYDER - U.K.A.E.A. - Safety and Reliability Directorate - RISLEY (G.B.)
 M. J.S. Mc LEOD - Nuclear Installations Inspectorate - LIVERPOOL (G.B.)
 M. GONZALES - Consejo de Seguridad Nuclear - MADRID (ESPAGNE)
 M. José DE CARLOS - Consejo de Seguridad Nuclear - MADRID (ESPAGNE)
 M. C. BORREGO - Département de l'Environnement - Université d'AVEIRO (PORTUGAL)
 M. E. HELLSTRAND - STUDSVIK ENERGITEKNIK AB -
 Nuclear Division, Safety and System Analysis - NYKOPING (SUEDE)
 M. NASCHI - Direttore Centrale della Sicurezza Nucleare e della Protezione Sanitaria -
 ENEA - ROMA (ITALIE)
 M. P. VANNI - Direttore relazioni esterne e informazione -
 ENEA - ROMA (ITALIE)

M. ZHANG YU MAN - National Nuclear Safety Administration (CHINE)
M. MA FUBANG, Director of the Nuclear Electricity Office - MIN (CHINE)
M. KANDA - MITI (JAPON)
M. EIICHI TSUJI - Science & Technology Agency -
Director of the Nuclear Safety Division (JAPON)
M. OKASAKI - Science & Technology Agency - Nuclear Safety Division (JAPON)
M. FUKETA - JAERI - Center of Safety Research (JAPON)

COPIE (SANS P.J.)

M. CHAVARDES (Attaché près de l'Ambassade de France aux Etats-Unis)
M. FELTEN (Attaché près de l'Ambassade de France au Japon)
M. WUSTNER (Attaché près de l'Ambassade de France en RFA)
M. GOURIEVIDIS (Attaché près de l'ambassade de France en Chine)