Étude de l'érosion due au phénomène d'arc dans les contacts de relais des centraux électromécaniques - Corrélation érosion-durée d'arc. Influence de la vapeur d'eau atmosphérique sur la durée d'arc

J.L. Queffelec, D. Travers, N. Ben Jemaa, J.P. Treguier, D. Collobert, H. Prigent

► To cite this version:

J.L. Queffelec, D. Travers, N. Ben Jemaa, J.P. Treguier, D. Collobert, et al.. Étude de l'érosion due au phénomène d'arc dans les contacts de relais des centraux électromécaniques - Corrélation érosion-durée d'arc. Influence de la vapeur d'eau atmosphérique sur la durée d'arc. *Revue de Physique Appliquée*, 1977, 12 (5), pp.885-891. 10.1051/rphysap:01977001205088500 . jpa-00244255

HAL Id: jpa-00244255

<https://hal.science/jpa-00244255>

Submitted on 1 Jan 1977

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification
 Physics Abstracts
 6.150 — 6.515 — 6.700

ÉTUDE DE L'ÉROSION DUE AU PHÉNOMÈNE D'ARC DANS LES CONTACTS DE RELAIS DES CENTRAUX ELECTROMÉCANIQUES

Corrélation érosion-durée d'arc.

Influence de la vapeur d'eau atmosphérique sur la durée d'arc (*)

J. L. QUEFFELEC, D. TRAVERS, et N. BEN JEMAA,

Université de Rennes I, Laboratoire de Physique Moléculaire 35031 Rennes Cedex, France.

J. P. TREGUIER, D. COLLOBERT et H. PRIGENT

C. N. E. T. Département C. P. M./P. M. T. 22301 Lannion, France

(Reçu le 20 décembre 1976, révisé le 24 janvier 1977, accepté le 3 février 1977)

Résumé. — Le phénomène d'arc dans les contacts des relais téléphoniques et l'érosion qui en résulte, ont été l'objet d'un grand nombre de travaux. Néanmoins, le problème dépendant de plusieurs paramètres (circuits électriques, atmosphère environnante, paramètres mécaniques, formes de contacts...), les connaissances restent encore partielles. C'est le cas pour les contacts utilisés dans les centraux téléphoniques du type Crossbar. Le but de cette étude est de montrer que l'érosion et la durée d'arc à l'ouverture sont corrélées et d'appliquer les résultats de cette corrélation pour calculer l'érosion sur deux formes différentes de paires de contacts en AgCu (90/10), fonctionnant en atmosphère ambiante 80 % d'humidité relative ou en atmosphère ambiante desséchée (15 % d'humidité relative).

Abstract. — Arcing in electrical contacts of telephone switching relays and subsequent erosion has been the subject of a great deal of work. Nevertheless the problem depends on many parameters (electrical circuits, environmental, mechanical, contact shapes...), of which the knowledge is incomplete. This is the case for the contacts used in Crossbar telephone exchanges. The aim of this work is to show that erosion and arc duration on break are correlated, and to apply the results of this correlation to calculate the erosion of two Ag/Cu (90/10) contact shapes operating in ambient atmosphere (80 % relative humidity) or in ambient dried atmosphere (15 % relative humidity).

1. Introduction. — Les relais sont des composants passifs utilisés en grand nombre, d'une part dans les centraux Crossbar du type Pentaconta et CP 400, dans lesquels ils assurent la commutation et la transmission (relais électromécaniques) et d'autre part dans les nouveaux systèmes électroniques (relais sous ampoules scellées). Les contacts de ces relais doivent assurer la transmission des signaux sans atténuation et ceci pour une durée de vie moyenne initialement prévue correspondant à 4×10^7 opérations. Pour ce faire, les contacts ne doivent pas se détruire (collage, soudage usure...) et les résistances de contact doivent être les plus faibles possible. Or, on observe, en exploitation, une dégradation accélérée dans certains centraux [1] (Baron *et coll.* 1976) et dans certains circuits. Depuis plusieurs années, il a été observé que cette dégradation est due principalement à deux phénomènes :

— existence de polluants dans les atmosphères des centraux (poussières, vapeur d'eau, vapeurs organiques, SO_2 , H_2S , NO ...) conduisant à la formation de couches ;

— existence de contraintes électriques conduisant au phénomène d'arc.

En première approximation, on attribue aux polluants l'augmentation de la résistance de contact et aux contraintes électriques l'érosion. En réalité, le problème est plus complexe ; les deux phénomènes de dégradation ne sont pas dissociables quand les contacts travaillent dans une atmosphère polluée et sous contraintes électriques. Dans certains cas, par exemple, on observe un phénomène d'activation des contacts conduisant à l'augmentation de la durée d'arc (érosion accélérée) ([2] Germer 1951 ; [3] Gray et Pharney 1973 ; [4] Shubert 1974 ; [5] Uhrig 1975). De plus, il faut tenir compte des contraintes mécaniques (force de contact, vitesse d'ouverture...) et de la métallurgie du contact (forme, homogénéité, état de surface...). Un grand

(*) Communication présentée au Congrès National de Physique des Plasmas, Paris, 6-10 décembre 1976.

nombre de travaux ont eu trait à ces problèmes au cours de ces dernières années. Ceux-ci ont permis de dégrossir les mécanismes de dégradation et de classer certains matériaux vis-à-vis des défauts pour des conditions opératoires bien définies. En fait, le comportement de chaque type de contact dépend de ses conditions opératoires propres, aussi il est difficile d'extrapoler l'ensemble des résultats connus à ce jour à tous les types de contacts. C'est la raison pour laquelle une action a été décidée par les *Télécommunications Françaises* pour étudier le comportement des matériaux de contact utilisés dans les systèmes français afin d'améliorer la qualité du service. De telles études ont pour but de classer vis-à-vis des défauts les alliages suivants : AgCu (90/10), AgAu (90/10), AgPd (70/30)... pour des tensions inférieures à quelques centaines de volts et des courants inférieurs à 2 A (de telles contraintes pouvant apparaître en régime transitoire), une humidité relative variant de 15 % à 80 % et en présence des polluants caractéristiques des atmosphères industrielles.

L'étude développée ici est axée sur la dégradation due aux arcs, c'est-à-dire principalement l'érosion. Dans un précédent travail [6], nous avons décrit l'ensemble des méthodes, optiques et électriques, qui permettent de caractériser l'arc. Aussi dans une première partie de ce travail, nous donnons les conditions opératoires des contacts et les caractéristiques générales du phénomène de dégradation. Dans une deuxième partie, nous développerons le comportement général de tels contacts à partir d'un cas concret dans le but de corréliser l'érosion à la durée moyenne d'arc. Dans une dernière partie, nous étudierons l'influence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ambiante sur la durée d'arc pour deux paires de contacts de formes différentes en AgCu (90/10).

2. Généralités. — 2.1 CONDITIONS EXPÉRIMENTALES.

— Rappelons tout d'abord les conditions dans lesquelles opèrent les relais. Les contacts de relais étudiés sont du type CP 400 (AgCu 90/10). Ils sont dissymétriques comme le montre la figure 1 où nous présentons des paires de contacts de géométrie différente. Ces

FIG. 1. — Formes des contacts CP 400 utilisés.
[Contact shapes of CP 400 used.]

contacts sont placés dans un circuit purement résistif pour éviter toute ambiguïté sur les paramètres de l'arc à l'ouverture et à la fermeture, les contraintes électriques étant les suivantes : $v = 48$ V et I variable de 200 mA à 2 A (Fig. 2). Un oscillateur actionne les contacts à la fréquence de 3 Hz. Dans toute cette étude, le contact le moins volumineux a été choisi comme anode.

FIG. 2. — Synoptique du montage.
[Schematic of the experiment.]

2.2 MESURE DE LA DURÉE D'ARC. — Dans ce type de circuit, la caractéristique de tension à l'ouverture (Fig. 3) est bien connue ([7] Boddy *et coll.* 1971 ; [8] Gray 1973) ; elle comprend une phase métallique à

FIG. 3. — Visualisation à l'oscilloscope de la durée d'arc.
[Oscilloscope visualization of arc duration.]

environ 12 V et une phase gazeuse à 25 V. A la fermeture seule une phase métallique existe ; sa durée est très faible par rapport à celle de l'ensemble de deux phases à l'ouverture : nous ne l'avons pas prise en considération dans ce travail.

Le dispositif de mesure de la durée d'arc (Fig. 2) comprend un circuit de mise en forme du signal aux bornes des contacts à l'ouverture (passage de 0 à 48 V), un compteur par 10^n , un chronomètre ainsi qu'une imprimante.

Le circuit de mise en forme du signal comprend entre autres, un dispositif à diode Zener qui déclenche deux monostables, le premier sur le front de montée 0-5 V, le second sur le front 40-45 V. La recombinaison de ces

deux signaux permet d'obtenir une impulsion carrée *signal chrono* dont la largeur est égale au temps de montée du signal d'entrée : durée des phases métallique et gazeuse, définissant la durée d'arc (Fig. 3).

Le compteur par 10^n a pour rôle d'ouvrir une porte pendant la durée de 10^n ouvertures. Il est déclenché par le signal de *remise à zéro* (R. A. Z.) et bloqué par le *signal chrono* 10^n . Un fréquencesmètre de 1 MHz utilisé en chronomètre totalise les 10^n durées d'arc à l'ouverture.

Dès le blocage du compteur, une impulsion est envoyée sur l'imprimante : *commande d'impression par impulsion* (C. I. I.), le nombre affiché sur le chronomètre est alors transcrit sur l'imprimante. A la fin du cycle d'impression, un *signal de cycle complémentaire* (S. C. C.) est appliqué sur l'entrée R. A. Z. pour déclencher le cycle de comptage suivant.

3. Corrélation érosion. Durée d'arc. — 3.1 TECHNIQUES DES MESURES ET MOYENS D'OBSERVATIONS. — Cette étude a été réalisée sur des contacts de forme F_1 (Fig. 1) pour des courants

$$0,2 \text{ A} < I < 1,64 \text{ A},$$

dans l'atmosphère non contrôlée du laboratoire, susceptible donc de contenir des traces de polluants.

Afin de maintenir constants les paramètres mécaniques, nous avons utilisé la même bobine de relais, et toujours placé les *lames contacts* qui travaillent à la même position dans le même empiement.

Pour déterminer la variation de masse des contacts (érosion) avec une bonne précision, ceux-ci effectuent d'une manière continue un nombre total d'ouvertures N d'autant plus grand que I est faible. Pour chaque valeur du courant choisi, nous prenons des *lames contacts* neuves pesées initialement au moyen d'une microbalance. Après les N ouvertures, les contacts sont repesés après lavage à l'alcool (sans grattage) pour les débarrasser d'un dépôt noirâtre très peu adhérent au niveau des contacts (Fig. 4a). Ce dépôt est principalement constitué de carbone amorphe et d'agrégats métalliques [9] (Gray 1976).

FIG. 4. — Contacts après fonctionnement : a) $I = 1,64 \text{ A}$ sans lavage à l'alcool. b) $I = 1,44 \text{ A}$ après lavage à l'alcool.

[Contacts after operating. a) $I = 1.64 \text{ A}$ without cleaning with alcohol. b) $I = 1.44 \text{ A}$ after being cleaned with alcohol.]

Afin de suivre l'évolution de la durée moyenne d'arc, nous avons réglé le compteur par 10^n sur 10^4 pour des raisons d'appareillage et d'exploitation des résultats.

Au cours des différentes études, l'évolution de l'aspect des contacts a pu être observée au moyen d'une lunette grossissante, et la caractéristique en tension de l'arc visualisée à l'oscilloscope.

3.2 DURÉE D'ARC ET RÉSULTATS DES OBSERVATIONS.

— Les premiers résultats obtenus [6] sur l'étude de l'évolution de la durée moyenne d'arc (sur 10^4 ouvertures) en fonction du nombre d'ouvertures (N) et pour divers courants ont été complétés pour les courants faibles.

Les résultats dans leur ensemble sont donnés sur les figures 5 et 6. Les observations visuelles à la lunette ainsi qu'à l'oscilloscope nous permettent de faire quelques commentaires sur ces résultats en classant les courants en quatre domaines : forts, moyens, faibles et très faibles.

Courants forts : $I = 1,64 \text{ A}$ et $I = 1,56 \text{ A}$.

Au cours du fonctionnement, il y a formation de pics anodiques instables, entraînant une augmentation de la durée moyenne d'arc. Ces pics se détériorent au cours du temps (Fig. 5, points D et E) puis se reforment. Un cratère cathodique apparaît. Nous notons une fluctuation importante de la durée moyenne d'arc par 10^4 ouvertures et cette fluctuation est notablement plus grande d'une ouverture à l'autre. L'arc se produit à chaque ouverture avec phases métallique et gazeuse.

Courants moyens : $I = 1,44 \text{ A}$ et $I = 0,96 \text{ A}$.

Pour $I = 1,44 \text{ A}$, un pic anodique stable se forme et se maintient jusqu'à l'arrêt du fonctionnement (Fig. 4b).

Pour $I = 0,96 \text{ A}$ (Fig. 5), un pic anodique stable se forme progressivement à partir du point A. Son augmentation de volume s'accompagne d'une augmentation de la durée d'arc jusqu'au point B où il y a rupture du pic accompagnée d'une chute brusque de la durée d'arc. Puis en C, un nouveau pic se forme à une cadence plus accélérée, accompagné d'une nouvelle augmentation de la durée d'arc. Comme pour les courants forts la cathode se creuse et l'arc se produit à chaque ouverture avec phases métallique et gazeuse. Par contre, nous notons ici une grande stabilité de la durée moyenne d'arc par tranche de 10^4 ouvertures, ainsi que d'une ouverture à l'autre.

Courants faibles : $I = 0,73 \text{ A}$; $I = 0,55 \text{ A}$ et $I = 0,4 \text{ A}$.

Nous n'observons plus de pic anodique. Les fluctuations de la durée moyenne d'arc par tranche de 10^4 ouvertures ainsi que d'une ouverture à l'autre réapparaissent.

Pour $I \leq 0,55 \text{ A}$, la phase gazeuse de l'arc disparaît, la phase métallique seule subsiste et sa durée diminue avec I . L'arc ne se produit plus à chaque ouverture et ce phénomène s'accroît vers les faibles intensités si bien qu'à $I = 0,4 \text{ A}$ environ 50 % des ouvertures

FIG. 5. — Etude en atmosphère ambiante de l'évolution de la durée moyenne d'arc en fonction du nombre d'ouvertures pour différents courants.

[Study in ambient atmosphere of average arc duration as a function of number of operations and current.]

FIG. 6. — Evolution de la durée d'arc pour $I = 0,2$ A. ● t_{eff} : durée moyenne des arcs effectifs ($> 1 \mu\text{s}$) par tranches de 10^5 ouvertures ; + t_{eff} : durée moyenne des arcs effectifs par tranches de 10^6 ouvertures ; ○ t : durée moyenne générale d'arc par tranches de 10^6 ouvertures.

[Evolution of arc duration for $I = 0.2$ A. ● t_{eff} : average duration of effective arcs ($> 1 \mu\text{s}$) on 10^5 operations. + t_{eff} : average duration of effective arcs on 10^6 operations. ○ t : average arc duration on 10^6 operations.]

donnent des arcs dont la durée est inférieure à $1 \mu\text{s}$, limite de détection de notre chronomètre.

Courants très faibles : $I = 0,2$ A (Fig. 6).

Pour ce courant un dispositif supplémentaire de comptage a été mis en place afin de déterminer le

nombre d'arcs par tranches de 10^4 ouvertures pour lesquels la durée est supérieure à $1 \mu\text{s}$ (arcs effectifs). Ceci nous a permis de déterminer la probabilité d'obtention d'un arc effectif à l'ouverture ; celle-ci passe de 1,4 % au début du fonctionnement à 0,7 % après 9×10^6 ouvertures. Ceci est conforme aux résultats de [10] (Holm 1967) relatifs à une valeur minimum de courant d'arc ($I = 0,4$ A).

3.3 EROSION. — Les résultats sont donnés par le tableau de la figure 7 et les courbes de la figure 8. Nous constatons que dans ce type de contacts l'érosion de la cathode se traduit par une perte de masse pour toutes les valeurs de courants utilisés. Par contre, l'anode ne subit de perte de masse (érosion) que pour des courants $I < 0,8$ A, au-delà de cette limite, il y a un transfert de masse de la cathode vers l'anode.

Nous avons calculé à partir des résultats de la figure 7 que l'érosion cathodique est proportionnelle à I^4 pour des courants inférieurs à 1 A (domaine principal des télécommunications) tandis que la durée d'arc est proportionnelle à I^3 [6]. La courbe de la figure 9 donne la corrélation entre la perte de masse de la cathode et la durée moyenne d'arc ; ainsi cette courbe permet de déterminer l'érosion cathodique à partir de la détermination expérimentale de la durée moyenne d'arc : donc de prévoir la durée de vie des contacts.

(A)	0,20	0,40	0,55	0,73	0,96	1,44	1,56	1,64	1,15	1,30
$N \times 10^{-4}$	900	404	247	188	221	152	104	104	20	20
t (ms)	0,000 9	0,039	0,173	0,492	0,811	0,941	1,40	1,51	0,860	0,910
$\Delta M_c \times 10^{10}$ (g)	-0,088	-0,21	-1,96	-4,60	-16,2	-26,2	-40,4			
$\Delta M_a \times 10^{10}$ (g)	-0,130	-0,18	-0,70	-1,04	+ 5,09	+ 17,9	+ 22,8			
$W_c \times 10^6$ (gc ⁻¹)			-2,05	-1,28	- 2,08	- 1,93	- 1,84			

FIG. 7. — Durée moyenne d'arc et variation de masse des contacts : N : nombre total d'ouvertures. t : durée moyenne d'arc par ouverture. ΔM_c : variation de masse de la cathode par ouverture. ΔM_a : variation de masse de l'anode par ouverture. W_c : variation de masse de la cathode par Coulomb.

[Average arc duration and contact weight variations. N : total number of operations. t : average arc duration on break. ΔM_c : cathode weight variations per operation. ΔM_a : anode weight variation per operation. W_c : cathode weight variation per Coulomb.

FIG. 8. — Variation de masse des contacts par ouverture en fonction du courant. ○ : cathode ; + : anode.

[Contact weight variations as function of current. ○ : cathode ; + : anode.

FIG. 9. — Variation de masse de la cathode par ouverture en fonction de la durée moyenne d'arc.

[Cathode weight variations per operation as a function of average arc duration.

3.3.1 *Précision des résultats.* — La précision des appareils de mesure donnant la variation de masse cathodique ainsi que la durée moyenne d'arc est telle que ces résultats sont donnés à 12 % près dans les cas les plus défavorables ($I < 0,4$ A). Cette précision s'améliore avec l'augmentation de I et atteint 1 % à partir de $I = 1$ A.

Une seule mesure d'érosion cathodique et de durée moyenne d'arc a été faite pour chaque courant. Cependant en raison du nombre important d'intensités de courant utilisé, nous estimons que les marges d'erreur sur les points expérimentaux des figures 8 et 9 sont faibles.

4. *Influence de la vapeur d'eau atmosphérique sur la durée d'arc.* — Le mécanisme de l'activation des contacts par les polluants organiques a été étudié par Gray *et coll.* [11, 12] : les vapeurs organiques adsorbées par la surface des contacts arrivent progressivement dans l'arc où elles se décomposent avec production de particules carboniques qui se déposent sous forme de poudre noire sur les contacts. Gray *et coll.* [13] citent que Haworth a montré que dans une atmosphère à 100 % d'humidité relative, l'activation pour des contacts en Pd pur est complètement supprimée : la poudre noire caractérisant généralement l'activation des contacts disparaît totalement. Cet auteur considère que la vapeur d'eau adsorbée en couche mince sur les contacts protège ceux-ci contre les polluants donc de l'activation.

Dans le but d'étudier cette influence de la vapeur d'eau atmosphérique sur les contacts Ag/Cu (90/10) nous avons mis au point un dispositif à deux voies (Fig. 10) permettant l'étude simultanée de durée d'arc de deux paires de contacts fonctionnant dans les mêmes conditions mécaniques et électriques : l'une dans l'atmosphère ambiante du laboratoire où le degré d'humidité relative est sensiblement de 80 % et l'autre dans une enceinte renfermant cette même atmosphère desséchée par du tamis moléculaire (humidité relative 15 %).

Cette étude a été faite avec des paires de contacts de

FIG. 10. — Schéma de l'ensemble du montage pour l'étude comparative des durées d'arcs en atmosphère sèche (15 % d'humidité relative) et en atmosphère ambiante (80 % d'humidité relative).

[General scheme of experiment for comparative studies of arc duration in dry atmosphere (15 % relative humidity) and in ambient atmosphere (80 % relative humidity).]

formes F_1 et F_2 et les résultats sont donnés par la figure 11 et le tableau de la figure 12.

D'une manière générale, nous constatons que les durées moyennes d'arc dans l'atmosphère sèche sont supérieures à celles obtenues dans l'atmosphère

FIG. 11. — Evolution de la durée d'arc en fonction du nombre d'ouvertures et du degré d'humidité de l'atmosphère. + : 15 % d'humidité relative. O : 80 % d'humidité relative.

[Evolution of arc duration as function of operating number and atmosphere humidity. + : 15 % relative humidity. O : 80 % relative humidity.]

$I(A)$	0,3	0,5	0,75	1
$t_s (\mu s)$	34	132	508	943
Forme F_1				
$t_A (\mu s)$	17	87	263	2 060
$t_s (\mu s)$	40	130	781	3 990
Forme F_2				
$t_A (\mu s)$	5	52	639	1 597

FIG. 12. — Tableau des résultats pour les deux formes de contacts F_1 et F_2 et pour les deux degrés d'humidité de l'atmosphère : t_s : durée moyenne d'arc à 15 % d'humidité relative. t_A : durée moyenne d'arc à 80 % d'humidité relative.

[Table of results for the two contact shapes F_1 and F_2 and for two degrees of relative atmosphere humidity. t_s : average arc duration at 15 % relative humidity. t_A : average arc duration at 80 % relative humidity.]

ambiante. Leur rapport varie de 1,5 à 2,5 environ pour les deux formes.

Des mesures d'érosion ont été faites pour $I = 1 A$ avec la forme F_2 . Les résultats donnent :

$$\frac{t_s}{t_A} = 2,49 \text{ et } \frac{\Delta M_c (\text{At. sèche})}{\Delta M_c (\text{At. ambiante})} = 3,17.$$

Ceci montre que l'érosion cathodique est augmentée sensiblement dans le même rapport que les durées moyennes d'arc.

Les résultats de la durée moyenne d'arc (Figs. 11 et 12) appellent certaines remarques :

— Toute condition égale par ailleurs mise à part, la forme des contacts, l'ordre de grandeur des durées d'arc sont comparables.

— Les durées moyennes d'arc dans l'atmosphère ambiante pour la forme F_1 sont sensiblement identiques à celles obtenues dans l'étude précédente (§ 3).

— Pour la forme F_1 à $I = 1 A$ (Fig. 11) le rapport t_s/t_A est inférieur à 1. Ceci est dû à un certain nombre de points aberrants pouvant provenir d'une activation momentanée des contacts.

— Dans presque tous les cas, le rapport t_s/t_A tend vers 1 après un nombre plus ou moins grand d'ouvertures. Nous n'expliquons pas pour le moment ce phénomène.

— Pour les courants faibles ($I <$ courant minimum d'arc), on a constaté une probabilité d'obtention d'arc importante (90 %) en atmosphère sèche alors qu'elle est seulement de 5 à 10 % environ dans l'atmosphère ambiante. La réduction du degré d'humidité dans notre atmosphère ambiante en abaissant le courant minimum d'arc [10] augmente la probabilité d'obtenir un arc.

4. Conclusion. — Dans cette étude sur les contacts de relais CP 400 AgCu (90/10), nous avons montré qu'il existe une corrélation entre la durée moyenne

d'arc à l'ouverture et la variation de masse des contacts fonctionnant dans l'atmosphère ambiante. Cette corrélation, établie de manière quantitative permet donc, par simple mesure de la durée moyenne d'arc de prévoir l'érosion des contacts et ainsi de déterminer leur durée de vie. L'étude comparative de l'érosion des contacts dans différentes atmosphères contrôlées, se ramène donc à la mesure des durées moyennes d'arc correspondantes.

L'application de cette méthode, dans le cas où l'on agit sur le paramètre *degré d'humidité de l'atmosphère*,

nous a permis de montrer que l'érosion est multipliée par un facteur 1,5 à 2,5 quand on passe de l'atmosphère ambiante (80 % d'humidité relative) à cette même atmosphère, mais desséchée (15 % d'humidité relative), et ceci pour les deux formes F_1 et F_2 .

Ces techniques expérimentales doivent nous permettre, non seulement de classer, vis-à-vis de l'érosion, les différents alliages constituant les contacts des relais électromécaniques (AgCu, AgAu, AgPd...), mais aussi d'étudier des relais sous ampoules scellées dans les nouveaux systèmes.

Bibliographie

- [1] BARON, J. P., LE TRAON, J. Y., RIOU, M. T. et AUREGAN, M., *Holm Seminar on electrical Contacts*, Chicago, sept. 1976.
 - [2] GERMER, L. H., *J. Appl. Phys.* **22** (1951) 955-964.
 - [3] GRAY, E. W. et PHARNEY, J. R., *J. Appl. Phys.* **44** (1973), 2124-2129.
 - [4] SCHUBERT, R., *J. Appl. Phys.* **45** (1974) 2422-2427.
 - [5] UHRIG, T. A., *J. Appl. Phys.* **46** (1975) 4705-4711.
 - [6] TREGUIER, J. P., BEN JEMAA, N., COLLOBERT, D., PRIGENT, H. et QUEFFELEC, J. L., *Holm Seminar on electrical contacts* Chicago, sept. 1976.
 - [7] BODDY, P. J. et UTSUMI, T., *J. Appl. Phys.* **42** (1971), 3369-3373.
 - [8] GRAY, E. W., *I. E. E. E., Trans. Plasma Sci.* **PS 1** (1973) 1, 30-33.
 - [9] GRAY, E. W., *I. E. E. E. Trans. Parts Hybrids and Packaging* **PHP 12** (1976) 1, 11-15.
 - [10] HOLM, R., *Electric Contacts*, (Springer, New York) 1967, 4th ed., 274-286.
 - [11] GRAY, E. W. et MCKNIGHT, L. G., *Int. J. Electronics* **37** (1974) 257-260.
 - [12] GRAY, E. W. et MCKNIGHT, L. G., *I. E. E. E., Trans Parts Hybride and Packaging* **PHP 11** (1975) 2, 121-124.
 - [13] GRAY, E. W. et MCKNIGHT, L. G., *Int. J. of Mass Spectrometry and Ion Physics* **17** (1975) 353-370.
-