HAL
open science

Analyse de la tension de contact pour des interfaces dégradées par des arcs de fortes puissances

Elsa Yee Kin Choi, C B Bourda, N B Benjemaa, James Brian Alexander Mitchell, Erwann Carvou

To cite this version:

Elsa Yee Kin Choi, C B Bourda, N B Benjemaa, James Brian Alexander Mitchell, Erwann Carvou. Analyse de la tension de contact pour des interfaces dégradées par des arcs de fortes puissances. Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement , 2015, 1 (1), 10.18145/jitipee.v1i1.67.g53 . hal-01495756

HAL Id: hal-01495756

https://hal.science/hal-01495756

Submitted on 26 Mar 2017

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.

JOURNAL INTERNATIONAL DE TECHNOLOGIE, DE L'INNOVATION, DE LA PHYSIQUE, DE L'ENERGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Analyse de la tension de contact pour des interfaces dégradées par des arcs de fortes puissances

E. Yeekinchoi, C. Bourda, N. Benjemaa, J.B. Mitchell, E. Carvou

ISSN : 2428-8500

DOI : 10.18145/jitipee.v1i1.67.g53

Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement
ISSN : 2428-8500 *vol. 1, n°1, 3, 2015*
DOI : http://dx.doi.org/10.18145/jitipee.v1i1.67.g53

Analyse de la tension de contact pour des interfaces dégradées par des arcs de fortes puissances

E. Yeekinchoi(1), C. Bourda(2), N. Benjemaa(3), J.B. Mitchell(1), E. Carvou(1)

(1) Université de Rennes 1, IPR (UMR/CNRS 6251), 35042 Rennes, France
(2) Metalor Technologies (France) SAS, Division Electrotechnique, BP 29, 28190 Courville-sur-Eure, France
(3) Contelec, 8 rue de la Motte Baril, 35000 Rennes, France
elsa.yeekinchoi@univ-rennes1.fr

Résumé – *Dans les contacts électriques de type relais, l'augmentation de la résistance de contact peut provenir d'une dégradation de l'interface de contact causée par des arcs électriques. Si ces dégradations sont importantes, elles peuvent causer l'apparition d'un phénomène de non-linéarité. En particulier, la loi d'Ohm n'est plus applicable au-delà d'un certain courant. Nous étudierons ici le passage du courant à travers une surface dégradée par des arcs d'ouverture sous une tension d'alimentation de 42VDC, un courant de 90A et une force de contact de 14N. Afin de tracer les caractéristiques courant-tension, deux rampes de courant sont appliquées, l'une croissante de 50mA à 75A et l'autre décroissante. Pour de forts courants, la tension de contact tend vers une valeur limite dépendant de la nature du matériau de contact. Quelques hypothèses sont émises pour expliquer cette saturation de la tension de contact, celle-ci pouvant être due au claquage des couches isolantes formées à la surface des contacts dégradés ou bien à l'élargissement des spots de contact.*

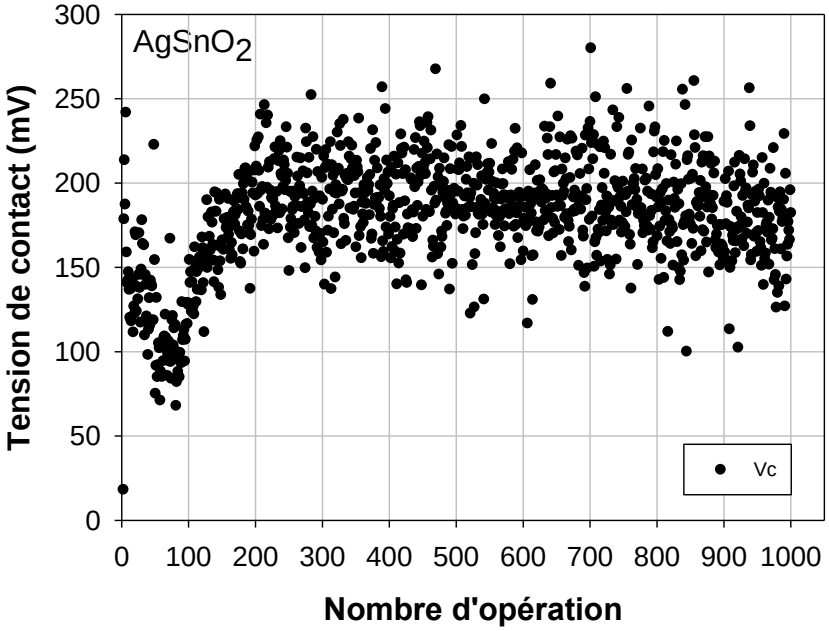
Mots clés *: arcs d'ouverture, tension de contact, résistance de contact.*

DOI : *10.18145/jitipee.v1i1.67.g53*

Introduction

Dans le domaine des contacts électriques, l'augmentation de la tension de contact peut provenir de la dégradation de l'interface de contact engendrée par les arcs électriques. La résistance de contact R_c est déterminée par le rapport de la tension de contact sur le courant. L'augmentation de cette valeur nous indique que l'interface de contact est dégradée. Toutefois, à forts courants, ce phénomène peut être dû notamment à l'effet Joule et/ou au claquage des films résistifs à la surface des contacts [1,3].

Afin de caractériser ce phénomène, dans les conditions réelles d'utilisation, nous avons mesuré la tension de contact V_c pour un courant de 90A sous une tension de 42VDC, après chaque opération de coupure et ce durant 1000 opérations (Figure 1). Après chaque fermeture sans courant, la tension de contact est mesurée une seconde après mise sous tension du circuit de manière à ce que la température soit stabilisée.



"Nombres d'opérations" corrigé au sein de l'image.

Figure 1. Exemple d'évolution de la tension de contact sous 42 VDC et 90 A, en fonction du nombre d'opérations, après chaque arc d'ouverture pour des électrodes en $AgSnO_2$.

La Figure 1 montre une augmentation de la tension de contact après que les contacts aient subi des amorçages d'arcs. La diminution après les premières opérations est due au nettoyage de l'interface de contact des couches résiduelles et autres aspérités par les arcs. Ensuite, la tension de contact augmente jusqu'à se stabiliser. Nous nous intéresserons à l'évolution des caractéristiques courant-tension pour effectuer une investigation électrique de ces niveaux de dégradation.

1. Matériaux testés

Les échantillons testés sont fabriqués par métallurgie des poudres. Ce sont des pastilles contenant des oxydes d'étain dans différentes proportions (Tableau 1). Les surfaces des anodes et cathodes sont bombées avec un rayon de courbure de 22mm et disposées en configuration croisée.

	Matériaux	**Composition**	
		Ag (% massique)	**$SnO_2Bi_2O_3$ (% massique)**
Pastilles **10X10mm**	Ag	100	0
	$AgSnO_2$EMB3,3	96,7	3,3
	$AgSnO_2$EMB5	95	5
	$AgSnO_2$EMB8	92	8
	$AgSnO_2$EMB10	90	10
	$AgSnO_2$EMB12	88	12
	$AgSnO_2$EMB14	86	14

Tableau 1. Échantillons testés.

2. Dispositif et protocole expérimentaux

Pour tracer les caractéristiques courant-tension, nous utilisons le montage présenté sur la Figure 2. Il est composé d'une alimentation stabilisée en tension, d'un microvoltmètre et de résistances permettant d'imposer le courant. La valeur de la force de contact est fixée à 14N par des ressorts qui permettent le maintien des contacts en position fermée. Pour étudier l'influence de la durée d'arc sur la caractéristique courant-tension, un dispositif d'extinction artificielle d'arc est utilisé pour contrôler la durée d'arc. Ce système est composé d'un thyristor monté en parallèle de l'arc. Une inductance de 80mH est utilisée dans le circuit afin de maintenir le courant constant lors de la coupure des arcs effectuée par thyristor et donc d'avoir un seul paramètre variable étudié qui est la durée d'arc.

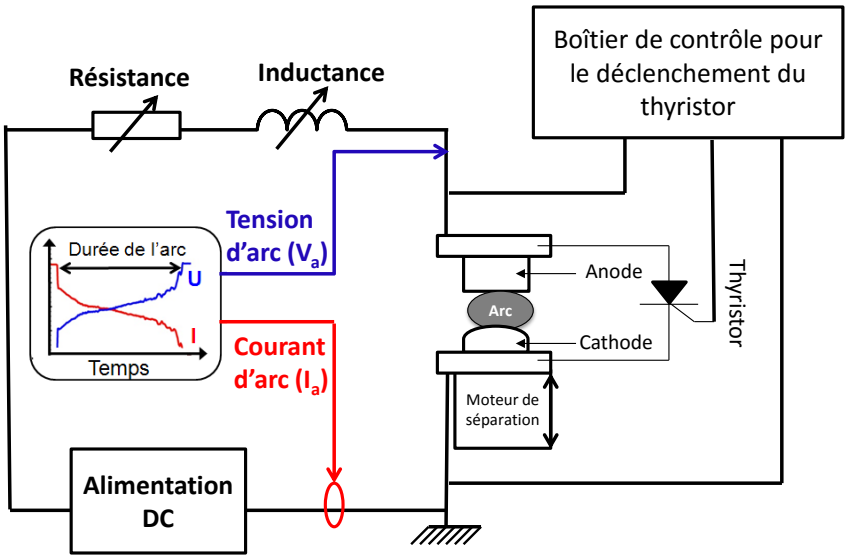


Figure 2. Schéma du banc de test pour les arcs d'ouverture.

Conditions électriques :

- Tension : 42 VDC
- Courant : 90 A
- Circuit résistif

Une fois que les contacts sont dégradés par 200 opérations d'arcs d'ouverture, sans enlever les échantillons de leur support, une rampe de courant croissante est appliquée de 50mA à 75A, puis une rampe de courant décroissante de 75A à 50mA, sans séparation des contacts (Figure 3). Ces deux rampes permettent de tracer la caractéristique courant-tension (Figure 4). Le temps mis pour effectuer une rampe complète de 50mA à 75A est de 192 secondes, soit 384 secondes pour faire les deux rampes. Celles-ci sont appliquées avant la dégradation des contacts afin d'avoir une référence de l'état initial, puis la même opération est appliquée après leur dégradation.

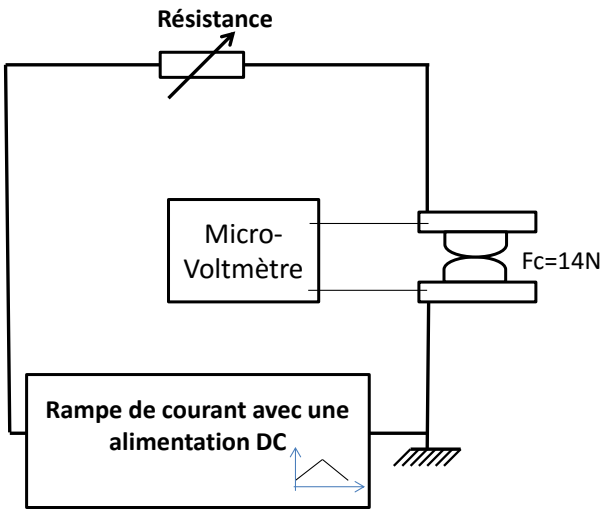


Figure 3. Banc de mesures utilisé pour les caractéristiques courant-tension.

3. Résultats expérimentaux et discussion

Nous observons deux comportements différents entre la rampe croissante et celle décroissante (Figure 4).

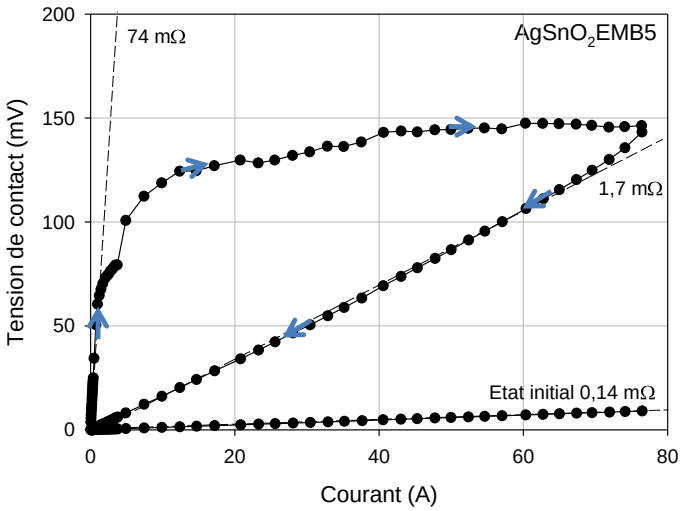


Figure 3. Exemple de caractéristique courant-tension pour des contacts en $AgSnO_2EMB5$ dégradés sous 42VDC et 90A, la durée d'arc est d'environ 20 ms.

Lorsque le courant augmente de 0 à 5A, la tension de contact augmente linéairement jusqu'à 70mV. Ce comportement peut s'expliquer par le fait que lorsque le courant augmente, l'interface en contact s'échauffe progressivement jusqu'à engendrer une ductilité du matériau entraînant un élargissement des surfaces de contact et abaissant la tension de contact. Lorsque le courant décroît de 75A à 50mA, la tension de contact diminue quasi-linéairement, la zone de contact a atteint un diamètre constant [5]. Lorsque la relation courant-tension est linéaire, cela signifie que celle–ci est ohmique, et quand le phénomène de non linéarité apparaît, la loi d'Ohm n'est plus applicable.

Lorsque deux rampes de courant croissante-décroissante sont effectuées successivement sans séparation des contacts (Figure 5), une droite est obtenue pour la deuxième caractéristique courant-tension. Elle suit la pente de la première rampe de courant décroissante. La résistance de contact est constante mais reste assez élevée comparée à la valeur de la résistance de contact à l'état initial. Ce phénomène semble irréversible, il y a peut-être eu des claquages couches isolantes et/ou un élargissement des zones de contacts. Cette non-linéarité peut être expliquée par l'implication de multiples facteurs pouvant affecter les propriétés physiques et mécaniques des contacts, par exemple les dimensions et répartitions des spots de contact, la dureté de la surface, la force de contact ou encore la température locale du spot de contact, etc. [1-3].

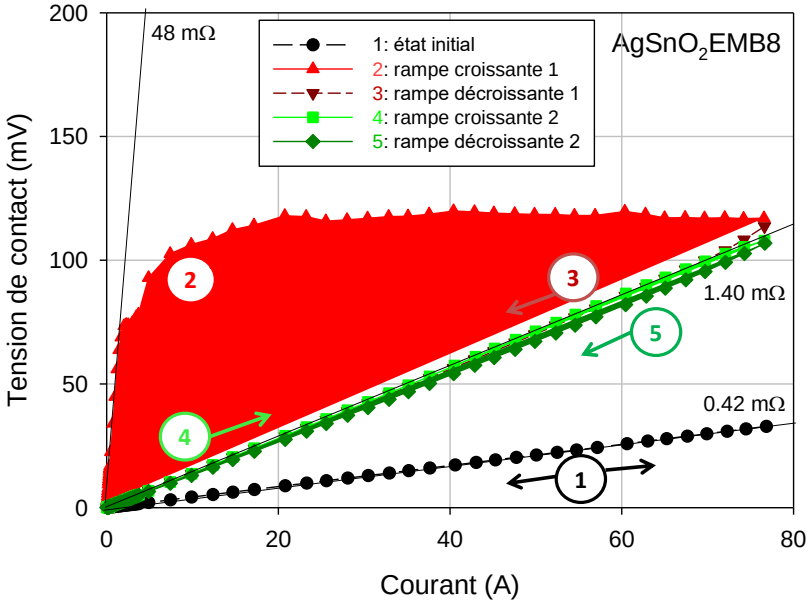


Figure 4. Exemple de caractéristique courant-tension pour des contacts en $AgSnO_2EMB8$ dégradés pour plusieurs cycles de rampes de courants.

Cependant, si les contacts sont ouverts entre les deux opérations, l'allure de la courbe ressemble à celle de la première courbe, le phénomène de non-linéarité réapparaît. Le fait d'ouvrir et de fermer les contacts va modifier la répartition des spots de contact.

Pour la suite, nous choisissons d'étudier uniquement les rampes croissantes, donc aux différents niveaux de saturation de la tension de contact pour différents matériaux. Nous essayons de déterminer quels facteurs peuvent avoir un impact majeur sur l'augmentation de la résistance de contact, qui est un signe d'endommagement des surfaces. Dans la première partie, nous verrons l'influence du pourcentage d'oxyde d'étain sur la tension de contact, dans un second temps nous étudierons l'influence de la durée d'arc sur ce phénomène de saturation et nous terminerons sur l'influence du gaz dans lequel l'arc se produit.

3.1. Influence du matériau

La Figure 6 présente les durées d'arc, de matériaux de contact en $AgSnO_2$ contenant divers pourcentage de SnO_2, obtenues pour des arcs d'ouverture sous 42VDC et 90A.

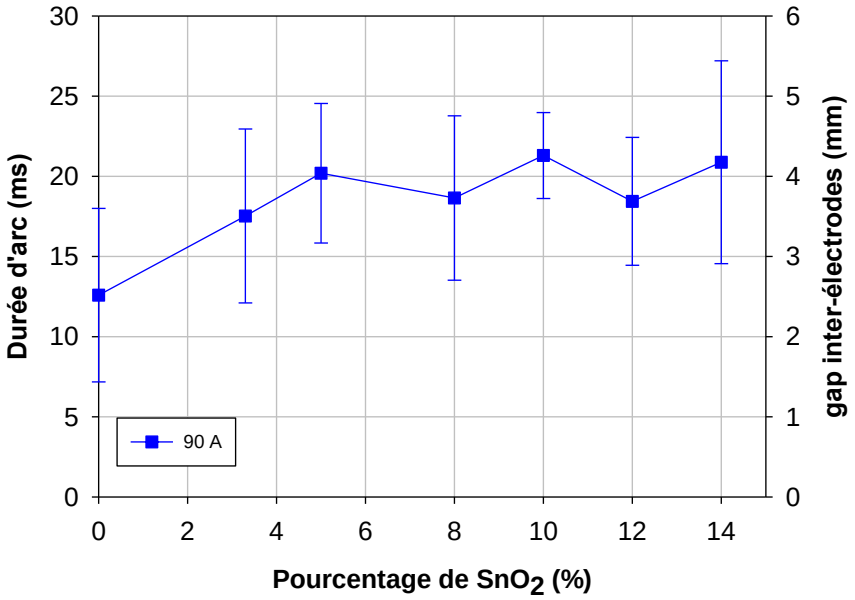


Figure 5. Durée d'arc et gap inter-électrodes en fonction du pourcentage de SnO2 sous 42VDC et pour un courant de 90A.

Si l'échauffement est important, il y a alors une modification de l'interface de contact. Il est ainsi possible d'établir une relation entre la chute de tension aux bornes des contacts V_c et la température de striction T, celle-ci est donnée par la relation de Kohlrausch :

$$L\left(T_\theta^2 - T_0^2\right) = \frac{V_c^2}{4}$$

où L est le coefficient de Lorentz ($L=2{,}45.10^{-8}$ $V^2.K^{-2}$), T_θ est la température de l'échauffement local (température de ramollissement, fusion ou ébullition du métal) et T_0 est la température de l'environnement ambiant.

Après chaque cycle de dégradation de 200 opérations d'arc d'ouverture, les caractéristiques courant-tension sont effectuées et les niveaux de saturation de la tension de contact sont relevés et représentés sur la Figure 7.

Pour le cas de l'Ag, le niveau de saturation est assez bas et il n'apparaît pas toujours comparé aux échantillons d'$AgSnO_2$. Nous supposons qu'à forts courants, l'argent se ramollit ou se liquéfie localement par échauffement, entraînant une augmentation du nombre de spots et de leurs dimensions. La zone de contact s'élargit, engendrant une amélioration de l'interface de contact donc une « auto-guérison » de celle-ci [1,2], mais peut provoquer aussi des risques de soudure. Pour les contacts en $AgSnO_2$ à 3,3 et 5%, la tension de saturation est autour de 100mV et n'atteint pas la valeur de la tension de fusion de Sn (130mV). Cependant, pour des concentrations plus importantes en SnO_2 (8 à 14%), la tension de saturation tourne autour de

200mV. Par ailleurs, la valeur moyenne ne semble pas trop évoluer pour les contacts en $AgSnO_2$ de 8 à 14%.

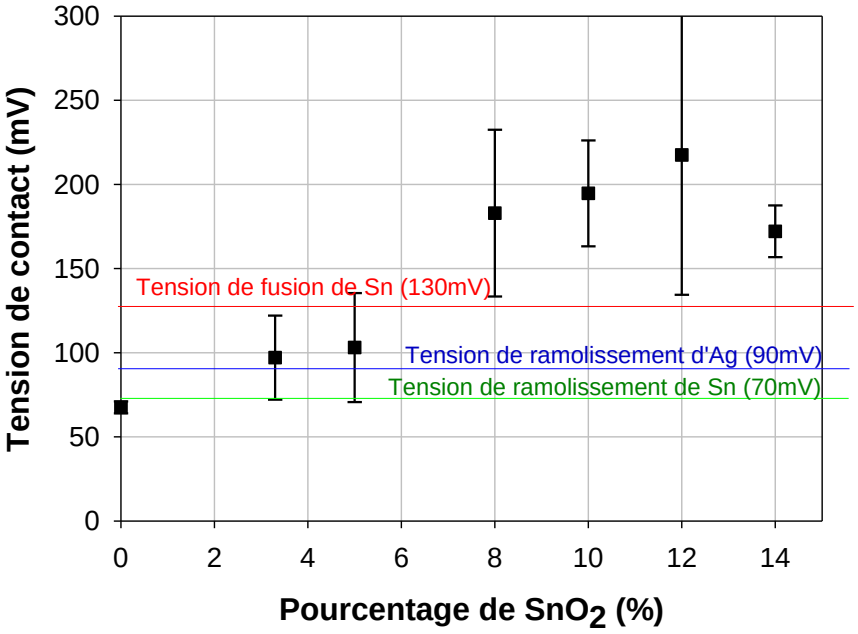


Figure 6. Tension de contact en fonction du pourcentage de SnO_2 pour des contacts dégradés à 90A.

3.2. Influence de la durée d'arc

Il est relaté dans la littérature que l'augmentation de la résistance de contact peut être attribuée à l'érosion et au dépôt de matière formé d'oxydes et de particules carbonées lorsque l'arc interagit avec l'environnement [4-7,9]. Ce plasma de gaz environnant succède au plasma de vapeurs métalliques, lorsque sa durée d'arc est supérieure à 2 ms [3,8]. Afin de confirmer l'implication de ce plasma de gaz environnant dans l'augmentation de la résistance de contact, l'influence de la durée d'arc sur le comportement de la tension de contact est alors étudiée.
Pour deux types d'échantillons, Ag et $AgSnO_2$EMB10, les durées d'arc sont contrôlées à l'aide d'un dispositif électronique et d'un thyristor placé en parallèle de l'arc.

La Figure 8 montre l'évolution de la tension de contact en fonction du courant pour différentes durées d'arc contrôlées pour des pastilles d'Ag.

Le phénomène de non linéarité n'apparaît pas, il n'y a pas de saturation de la tension. Cependant, nous constatons que la pente pour des arcs à 100 µs est plus faible que celle de l'état initial. En effet, des arcs extrêmement courts nettoient la surface des contacts et améliorent ainsi l'interface de contact.

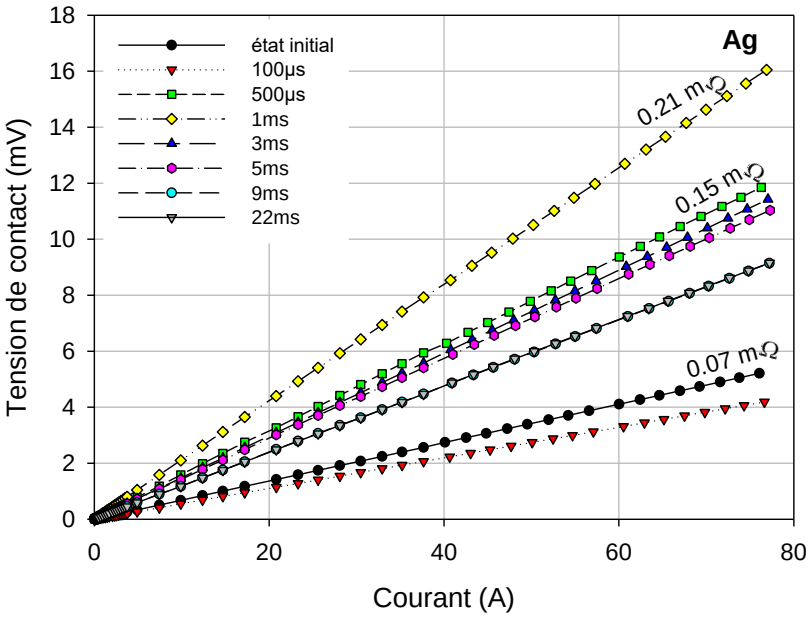


Figure 8. Évolution de la tension de contact en fonction du courant pour différentes durées d'arc sous 42VDC et 90A pour des électrodes en Ag.

Pour le cas d'$AgSnO_2$EMB10 (Figure 9), le phénomène de non linéarité commence à apparaître à partir de 5ms d'arc mais le niveau de la tension de contact reste assez faible, la valeur est inférieure à celle obtenue pour des arcs s'éteignant de manière naturelle (33 ms). Pour des durées d'arc supérieures à 9 ms, la tension de saturation arrive plus rapidement. Cela est probablement dû à la pollution déposée en surface des contacts par l'interaction du plasma d'arc avec l'environnement proche des électrodes et de la modification topographique plus importante lorsque les arcs durent plus longtemps.

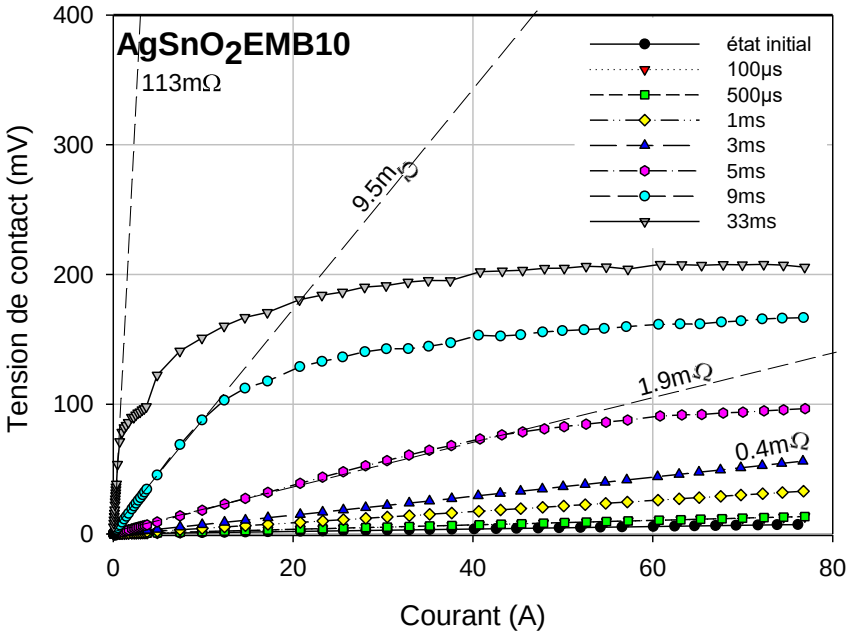


Figure 9. Évolution de la tension de contact en fonction du courant pour différentes durées d'arc sous 42VDC et 90A pour des électrodes en $AgSnO_2$EMB10.

3.3. Influence de l'atmosphère

Le plasma de gaz environnant est lié à la longueur de l'arc. Cependant, nous supposons que la pollution de la surface des contacts provient de la modification de la composition chimique de l'interface de contact due à l'interaction du plasma d'arc avec l'air ambiant (CO_2, O_2, N_2...). Afin d'observer l'influence de l'interaction de l'arc avec l'environnement des électrodes sur le comportement de la tension de contact, des contacts ont été dégradés par arcs dans de l'azote et dans de l'argon. Une enceinte a été utilisée afin de créer des arcs dans un milieu avec le gaz choisi et nous avons fait en sorte que l'injection du gaz n'engendre pas d'éventuelles turbulences pouvant perturber le plasma d'arc. Les durées d'arc sont contrôlées artificiellement par le dispositif électronique combiné au thyristor (Figure 2) et sont fixées à 9 ms avec un courant constant de 90 A.

Il en résulte que dans une atmosphère composée uniquement d'azote,la caractéristique courant-tension est ohmique.Il n'y a pas de tension de saturation aussi bien pour l'Ag que pour l'$AgSnO_2$EMB10 et les valeurs de résistances de contact restent faibles. Il est donc possible que la présence d'oxygène et/ou de carbone dans l'atmosphère environnant les électrodes conduisent à l'augmentation de la résistance de contact. Cependant, dans le cas des arcs effectués dans de l'argon, le phénomène de non linéarité est présent pour les contacts en $AgSnO_2$EMB10. Ainsi nous supposons que ce phénomène de non linéarité ne provient pas uniquement de la présence d'oxygène dans l'environnement du plasma mais qu'il y a d'autres facteurs, tels que les tensions de fusion.

Conclusion

La caractérisation de la dégradation surfacique des contacts par la résistance de contact résultant du rapport tension de contact sur courant n'est pas suffisante pour les forts courants. L'utilisation de la tension de contact semble être un meilleur outil d'investigation sur la dégradation de la conduction des contacts de puissance. En effet, au-delà d'une certaine valeur de courant, la tension de contact atteint une valeur limite. Ce phénomène de saturation apparaît plus ou moins rapidement suivant l'état de dégradation des contacts. La température des spots de contact semble jouer un rôle significatif à forts courants et semble responsable d'un phénomène d' « auto-guérison » conduisant à une saturation de la tension de contact. De plus, cette tension de saturation peut aussi être due à un claquage électrique des couches résistives similaire au phénomène de « fritting » connu dans le domaine des interfaces corrodées et décrites par Holm [3]. Cependant, la modification de l'environnement des électrodes montre que l'oxygène n'est pas la seule cause conduisant à l'apparition du phénomène de non-linéarité.

Références

[1] Timsit R.S. (1988), *Electrical Contact resistance properties of stationary interfaces*, IEEE Holm Conference, pp 1-19.

[2] Slade P.G. (1999), *Electrical contacts: principles and applications*, Marcel Dekker.

[3] Holm R. (2000), *Electrical contact, Theory and applications*, 4th edition, Springer.

[4] Chen Z.K., Arai K., Sawa K. (1994), *The influence of oxygen concentration on contact resistance behaviours of Ag and Pd materials in DC breaking arcs*, International Conference on Electrical Contacts, pp. 79-87.

[5] Hasegawa M., Makimoto J., Minoura N., Sawa K (2000), *Arc discharge and contact resistance characteristics of Ag, Cu and Pd contacts in air and nitrogen atmosphere*, International Conference on Electrical Contacts, pp. 45-50.

[6] Krätzschmar A., Herbst R., Mützel T., Niederreuther R., Braumann P. (2010), *Basic investigations on the behaviour of advanced Ag/SnO_2 materials for contactor applications*, IEEE Holm Conference, pp. 127-133.

[7] Yoshida K., Nakamura S., Tanimoto S. (2008), *Relationship between arc duration and contact resistance of Ag alloys contacts mounted on relays*, International Conference on Electrical Contacts, pp. 125-130.

[8] Sone H., Takagi T. (1989), *Role of the metallic phase arc discharge on arc erosion in Ag contacts*, IEEE Holm Conference, pp. 79-85.

[9] Chen PZ.K., Sawa K. (1995), Effect of oxide film and arc duration characteristics on Ag contact resistance behaviour, IEEE Trans. Comp. Packg. Manuf. Techn. Part A, vol.18, n°2, pp. 409-416. Doi : 10.1109/95.390325