



## Effet des terminaisons sur la série résistive DuPont 20x1

*Propriétés (valeur et coefficient en température) sur alumine des résistances Du Pont 2021, 2031, 2041 et 2051 en fonction des terminaisons (Ag, Ag:Pd et Au) utilisées.*

*Eigenschaften (Wert und Temperaturkoeffizient) auf  $Al_2O_3$  von Du Pont 2021, 2031, 2041 und 2051 – Widerstände, als Funktion der eingesetzten Terminierungen (Ag, Ag:Pd und Au).*

Thomas Maeder, 5.7.2000

**Projet:** référence pour TEPLAZID et METAL, et pour la fabrication de capteurs.

**Mots-clefs:** résistances, terminaisons, diffusion.

<b>1. Introduction</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Expériences</b> .....	<b>2</b>
<b>3. Résultats</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Conclusions</b> .....	<b>11</b>

### Résumé

L'effet de 6 terminaisons (ESL 8837 – Au fin, DP 5744 – Au, ESL 9635B – Ag:Pd 3:1, DP 5104 – Ag:Pd 3:1, ESL 9695 – Ag:Pd 25:1 et ESL 9912 – Ag) a été évalué sur la série de compositions résistives Du Pont (DP) 20x1. Comme prévu, Au donne les meilleurs résultats. Les terminaisons Ag et Ag:Pd 25:1 donnent des résultats équivalents à Ag:Pd 3:1 en conjonction avec DP 2021 (100  $\Omega$ ) et DP 2051 (100 k $\Omega$ ). En revanche, dans le cas de DP 2031 (1 k $\Omega$ ) et DP 2041 (10 k $\Omega$ ), les effets de terminaison sont plus importants avec Ag et Ag:Pd 25:1 qu'avec Ag:Pd 3:1, ce qui rend la conception de circuits hybrides plus délicate.

### Kurzfassung

Der Effekt 6 verschiedener Terminierungen (ESL 8837 – feines Au, DP 5744 – Au, ESL 9635B – Ag:Pd 3:1, DP 5104 – Ag:Pd 3:1, ESL 9695 – Ag:Pd 25:1 und ESL 9912 – Ag) wurde auf der resistiven Serie Du Pont (DP) 20x1 studiert. Wie erwartet liefern die Au-Terminierungen die besten Ergebnisse. Die Ag Ag:Pd 25:1 – Terminierungsmaterialien haben ungefähr die gleichen Terminierungseffekte wie Ag:Pd 3:1 mit DP 2021 (100  $\Omega$ ) und DP 2051 (100 k $\Omega$ ). Im Gegenteil sind die Effekte von Ag et Ag:Pd 25:1 grösser als von Ag:Pd 3:1 mit DP 2031 (1 k $\Omega$ ) und DP 2041 (10 k $\Omega$ ), was die Auslegung von Hybrid-Schaltungen etwas heikler macht.

## 1. Introduction

En raison de la tendance actuelle à réaliser des circuits de plus en plus petits, les terminaisons des résistances deviennent particulièrement importantes. D'autre part, les compositions résistives modernes ont de relativement bonnes propriétés, même avec des terminaisons à base d'argent, ce qui permet une diminution considérable de coûts.

Nous nous proposons donc ici d'étudier la série résistive Du Pont (DP) 20x1 (de 100  $\Omega$  à 100 k $\Omega$ ) avec 6 terminaisons, allant de l'argent pur à l'or en passant par divers alliages Ag:Pd.

## 2. Expériences

### Substrats

Les substrats sont en alumine "standard" 96% (Kyocera A-476, Haldemann & Porret), d'épaisseur 0.50 ou 0.63 mm.

### Circuit et pâtes

Le circuit "test patterns" est utilisé ici. Il a comme caractéristiques principales:

- Largeur de résistances 0.6 et 1.5 mm.
- Longueur de résistances 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.5 et 5.0 mm.
- 2 niveaux de conducteurs (terminaisons des résistances), usuellement AgPd et Au.
- 4 zones équivalentes par substrat = 4 (8 = 4 \* 2 pour la longueur 0.8 mm) résistances nominalement identiques par substrat.

Ici, 6 = 3\*2 terminaisons ont été étudiées (sérigraphie: trame 325 *mesh* / émulsion 20  $\mu$ m):

- ESL 9635B (Ag:Pd 3:1) et 8837 (or fin): les terminaisons "standard" ESL.
- DP 5144 (Ag:Pd 3:1) et 5744 (or): les terminaisons "standard" Du Pont.
- ESL 9912A (Ag) et 9695 (Ag:Pd 25:1): des compositions riches en Ag et bon marché.

Les résistances (sérigraphie: trame 325 *mesh* / émulsion 40  $\mu$ m) sont les 4 membres les plus courants de la famille DP 20x1: DP 2021 (100  $\Omega$ ), 2031 (1 k $\Omega$ ), 2041 (10 k $\Omega$ ) et 2051 (100 k $\Omega$ ).

Pour chaque combinaison, 3 substrats ont usuellement été fabriqués, ce qui donne dans la plupart des cas 12 = 4\*3 résistances nominalement identiques. Le tableau 2-I ci-dessous recense les numéros de substrat correspondants. Aucune couche de protection n'a été utilisée dans cette étude.

Terminaisons	Terminaisons Du Pont (DP) "standard"	Terminaisons ESL "standard"	Terminaisons "bon marché" riches en Ag
Niveau A	DP 5104 (Ag:Pd 3:1)	ESL 9635B (Ag:Pd 3:1)	ESL 9912A (Ag)
Niveau B	DP 5744 (Au)	ESL 8837 (or fin)	ESL 9695 (Ag:Pd 25:1)
Codes substrats: résistances DP 2021	99-011, 99-012, 99-013, 99-014, 99-015	99-075, 99-081	99-067, 99-089, 99-090
Codes substrats: résistances DP 2031	99-016, 99-017, 99-018, 99-019	99-076, 99-082, 99-085	99-087, 99-088, 99-091
Codes substrats: résistances DP 2041	99-130, 99-131, 99-132	99-059, 99-069, 99-070	99-071, 99-072, 99-092
Codes substrats: résistances DP 2051	99-020, 99-021, 99-022	99-077, 99-078, 99-096	99-068, 99-073, 99-074

Tableau 2-I. Pâtes utilisées et codes des *Test Patterns* correspondants.

### Cuisson

Les substrats ont été cuits posés directement sur la bande du four Sierratherm de l'IPM (résistances vers le haut). Le profil standard « 30MN\_PR » (tableau 2–II) a été utilisé pour tous les substrats. Ce profil donne un pic d'env. 10 min à 850°C. Le réglage correspondant du four est donné ci-dessous:

Température nominale [°C]	Vitesse de bande [cm/min]	Zone 1 [°C]	Zone 2 [°C]	Zone 3 [°C]	Zone 4 [°C]	Zone 5 [°C]	Zone 6 [°C]
850	8.67	540	765	866	867	876	890

Tableau 2–II. Réglages du four Sierratherm pour le profil standard « 30MN\_PR ».

### Mesures

Les résistances ont été mesurées dans l'armoire climatique Vötsch, à –25°C, +25°C et +100°C, afin de déterminer valeurs et coefficients en température. La valeur nominale de la résistance carrée  $R_c$  est donnée à +25°C, et correspond à la moyenne des résistances équivalentes,  $12 = 4 * 3$  substrats dans la plupart des cas.

$$R_c = \frac{b}{l} \cdot R$$

$R_c$	résistance carrée
$R$	résistance à +25°C
$b$	largeur de la résistance
$l$	longueur de la résistance (entre terminaisons)

A partir des mesures supplémentaires à –25°C et +100°C, on tire les coefficients en température à „froid“ et à „chaud“  $CTCR$  et  $HTCR$ :

$$CTCR = \frac{R_{-25^{\circ}C} - R_{+25^{\circ}C}}{-R_{+25^{\circ}C} \cdot 50^{\circ}C}$$

$$HTCR = \frac{R_{+100^{\circ}C} - R_{+25^{\circ}C}}{R_{+25^{\circ}C} \cdot 75^{\circ}C}$$

$CTCR$	coefficient en température à froid, entre +25°C et –25°C
$HTCR$	coefficient en température à chaud, entre +25°C et +100°C
$R_{-25^{\circ}C, +25^{\circ}C, +100^{\circ}C}$	valeur de la résistance, à resp. –25°C, +25°C, et +100°C

### 3. Résultats

Les valeurs (résistances carrées) des 4 compositions résistives sont données aux figures 3-1 à 3-4, et les coefficients en température aux figures 3-5 à 3-12.

En général, pour les effets de terminaison, on a DP 2021 > DP 2031 > DP 2041 > DP 2051, tant sur la valeur que sur les coefficients en température : ces effets décroissent avec l'augmentation de la résistivité de la pâte.

#### **DP 2021**

Cette composition présente les effets de terminaison les plus importants, tant sur la valeur que sur les coefficients en température. Les meilleures terminaisons sont bien entendu les conducteurs Au (DP 5744 et ESL 8837), mais on obtient quand même env. +30 ppm/K sur *CTCR* / *HTCR* pour les résistances les plus courtes (0.3 mm), et env. +10 ppm/K pour une longueur de 1.0 mm.

Pour les terminaisons à base Ag, l'effet de terminaison est très important : de l'ordre de +100 ppm/K pour 0.3 mm, et encore +30 ppm/K pour 1.0 mm de longueur. Pour DP 2021, les compositions Ag:Pd 3:1 (DP 5104 et ESL 9635B) ne sont pas meilleures que Ag (ESL 9912) et Ag:Pd 25:1 (ESL 9695). La valeur est aussi fortement touchée : env. -50% pour les résistances les plus courtes.

#### **DP 2031 et DP 2041**

Ces compositions présentent des effets de terminaison assez similaires, et beaucoup plus faibles que DP 2021. Les terminaisons Au occasionnent des variations maximales de l'ordre de 10-20 ppm/K, avec une faible dépendance des coefficients *CTCR* / *HTCR* en fonction de la longueur. En général (valable aussi pour les autres compositions résistives), l'or fin ESL 8837 présente moins d'effets de terminaison que l'or plus épais DP 5744, ce qui est vraisemblablement dû à une plus faible perturbation de la sérigraphie par l'or fin.

Les terminaisons à base Ag ont un effet sur *CTCR* / *HTCR* qui n'est pas monotone, et semble lié à deux mécanismes de diffusion distincts n'ayant pas la même portée :

- Entre 0.3 et 0.6 mm, *CTCR* / *HTCR* décroissent fortement avec la longueur. On observe un minimum vers 0.6 mm pour DP 2031, un peu décalé vers 0.5 mm pour 2041.
- Au-delà, *CTCR* / *HTCR* remontent progressivement et lentement.

Ces effets sont ici beaucoup plus importants pour Ag (ESL 9912) et Ag:Pd 25:1 (ESL 9695) que pour Ag:Pd 3:1 (DP 5104 et ESL 9635B). Pour Ag:Pd 3:1, les effets sont suffisamment faibles ( $\pm 20$  ppm/K) pour permettre une utilisation sans autre. En revanche, avec Ag et Ag:Pd 25:1, l'utilisation de résistances très courtes (< 0.6 mm) est délicate pour DP 2041, voire carrément déconseillée pour DP 2031. A partir de 0.6 mm, *CTCR* / *HTCR* augmentent progressivement, ce qui permet une bonne reproductibilité, mais la dépendance de la longueur doit être prise en compte dans la conception.

#### **DP 2051**

Cette composition présente les mêmes tendances que DP 2031 et DP 2041, mais les effets de terminaison sont ici très faibles. Hormis les résistances les plus courtes (0.3 mm) terminées par Ag ESL 9912A, toutes les résistances ont des coefficients en température évoluant dans une fourchette d'env  $\pm 10$  ppm/K. Cette composition accepte donc bien toutes les terminaisons, quasiment sans restrictions.

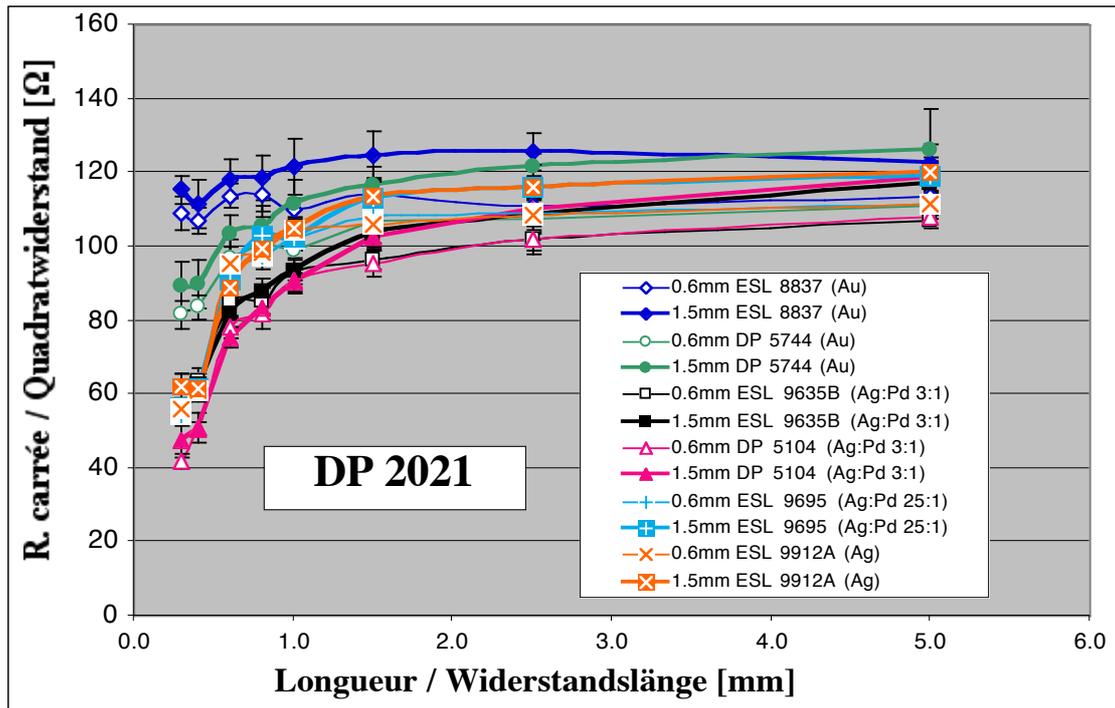


Figure 3-1. Valeur de DP 2021, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

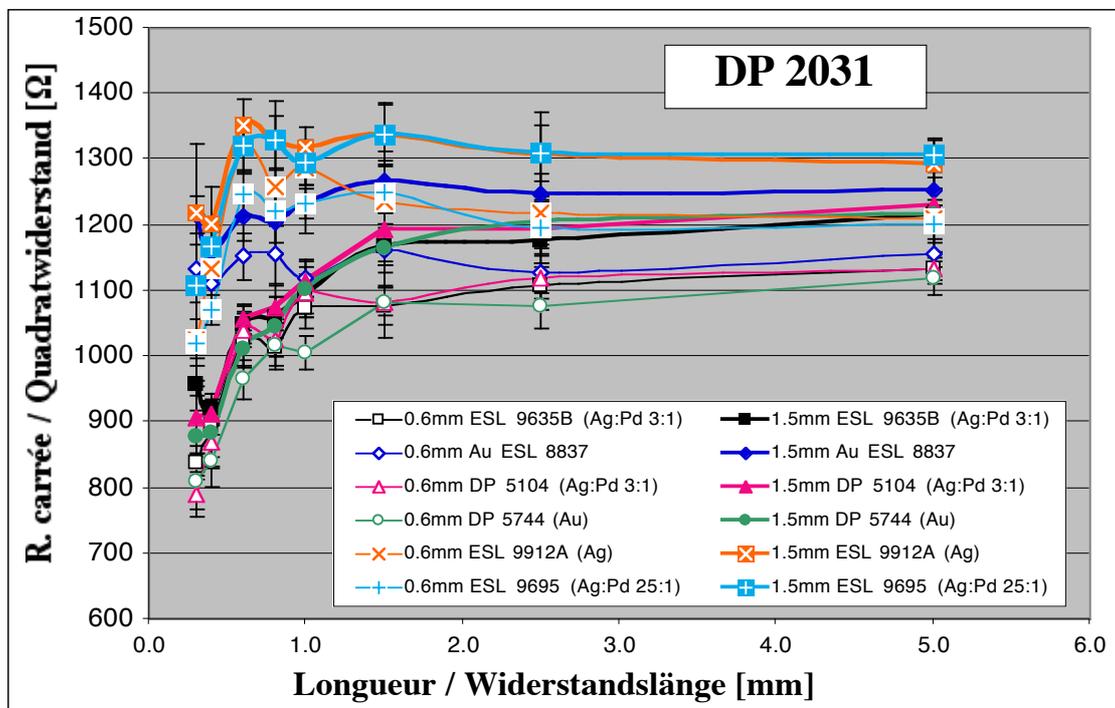


Figure 3-2. Valeur de DP 2031, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

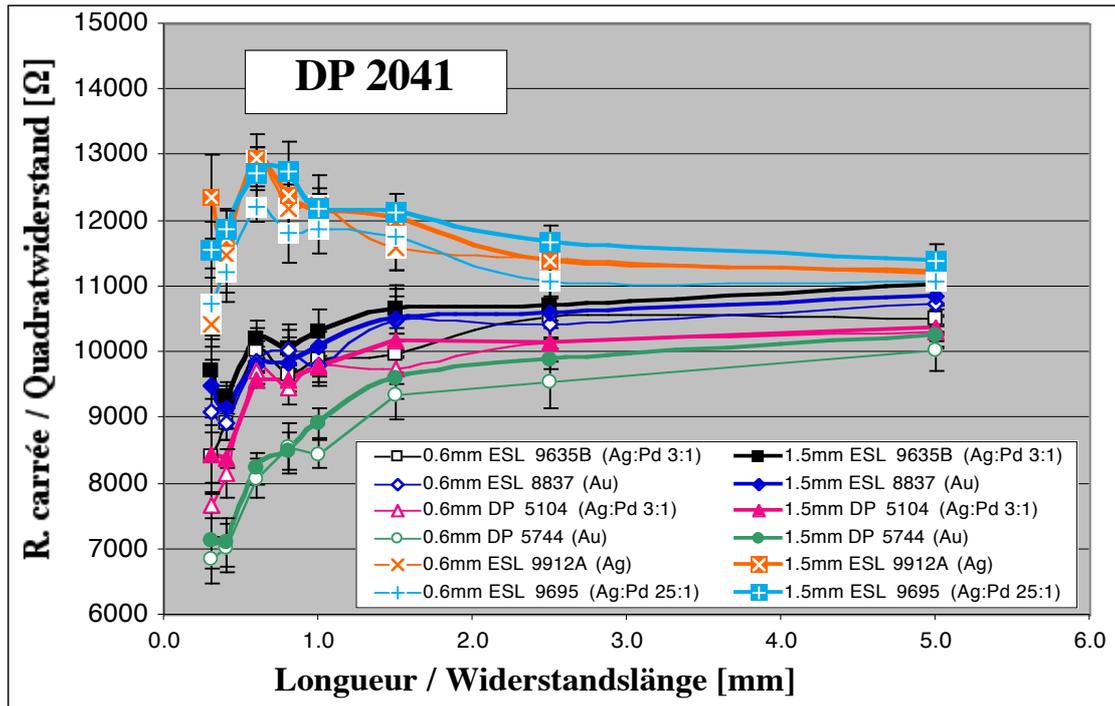


Figure 3–3. Valeur de DP 2041, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

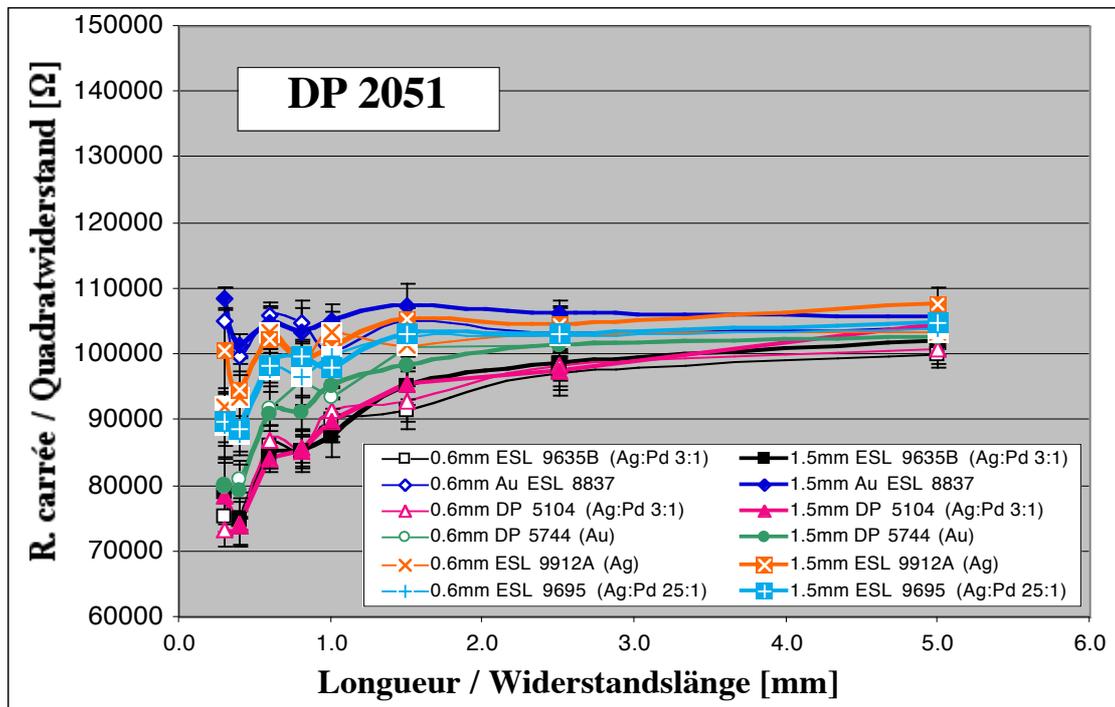


Figure 3–4. Valeur de DP 2051, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

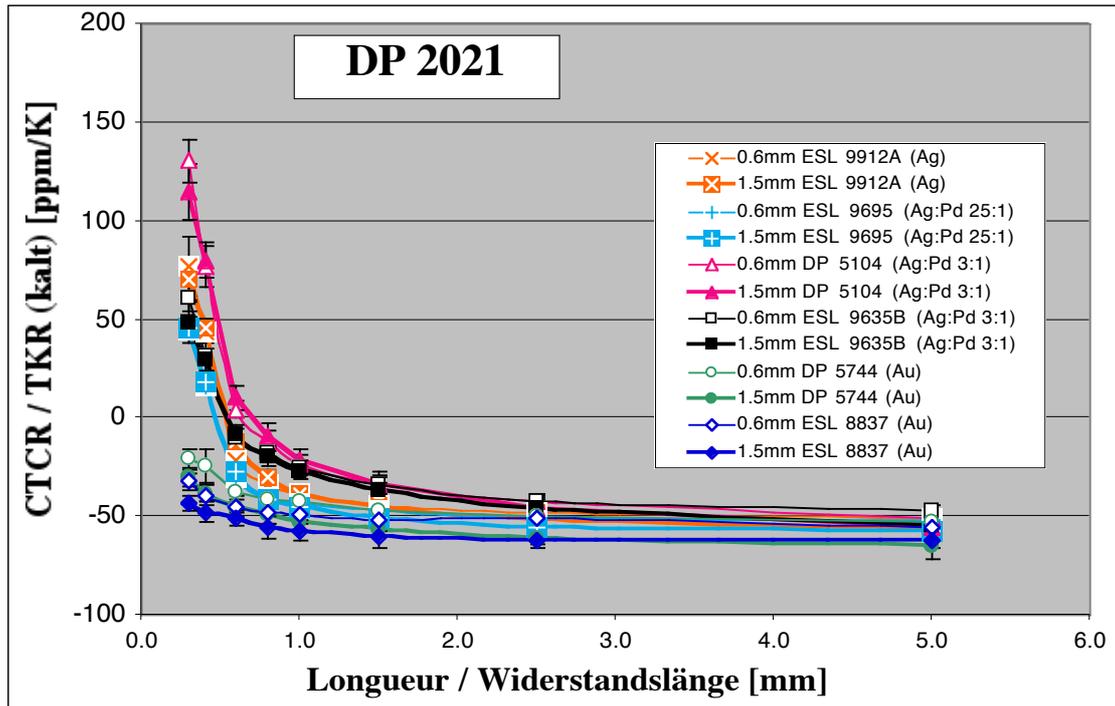


Figure 3–5. Coefficient en température à froid *CTCR* de DP 2021, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

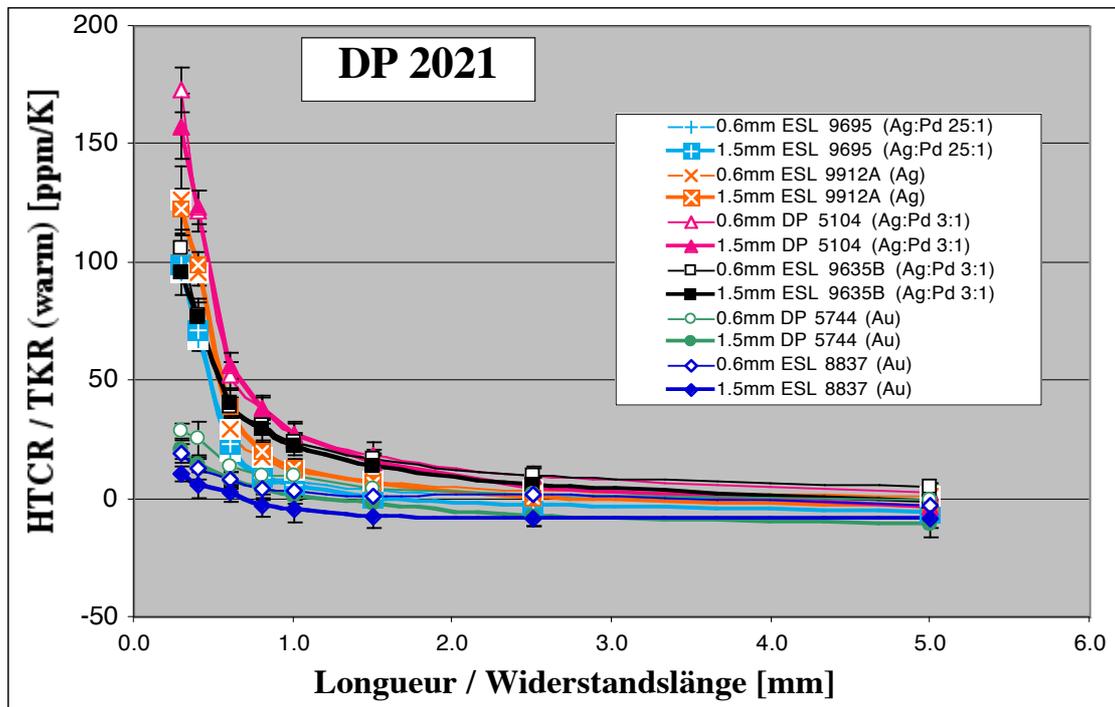


Figure 3–6. Coefficient en température à chaud *HTCR* de DP 2021, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

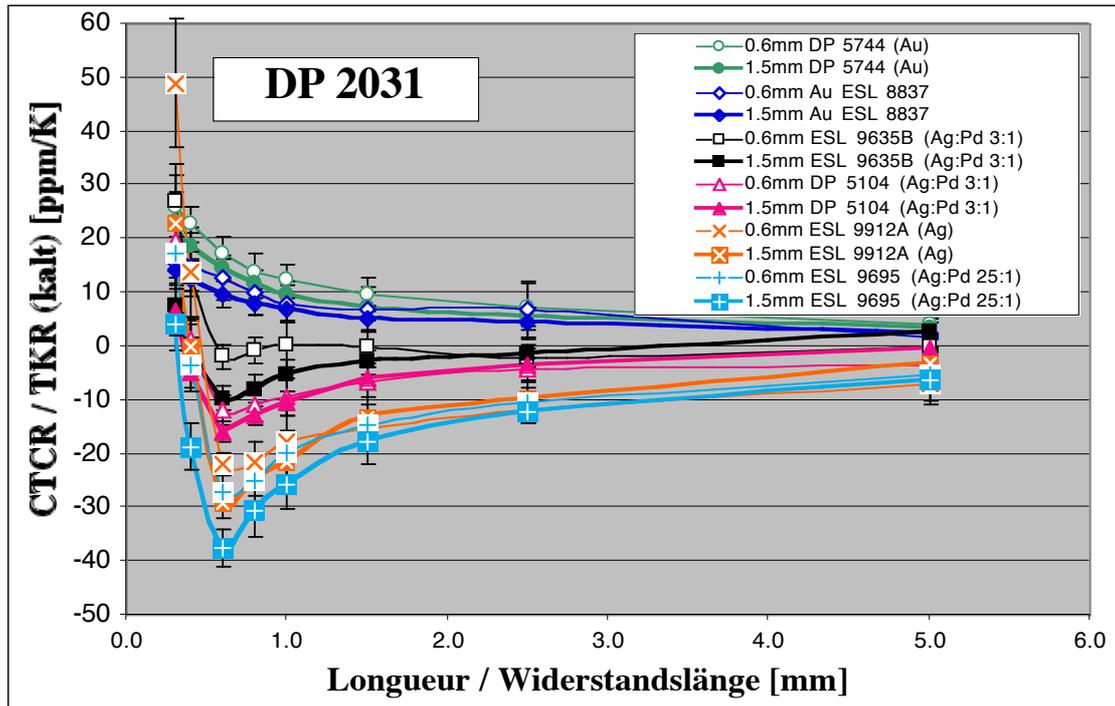


Figure 3-7. Coefficient en température à froid *CTCR* de DP 2031, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

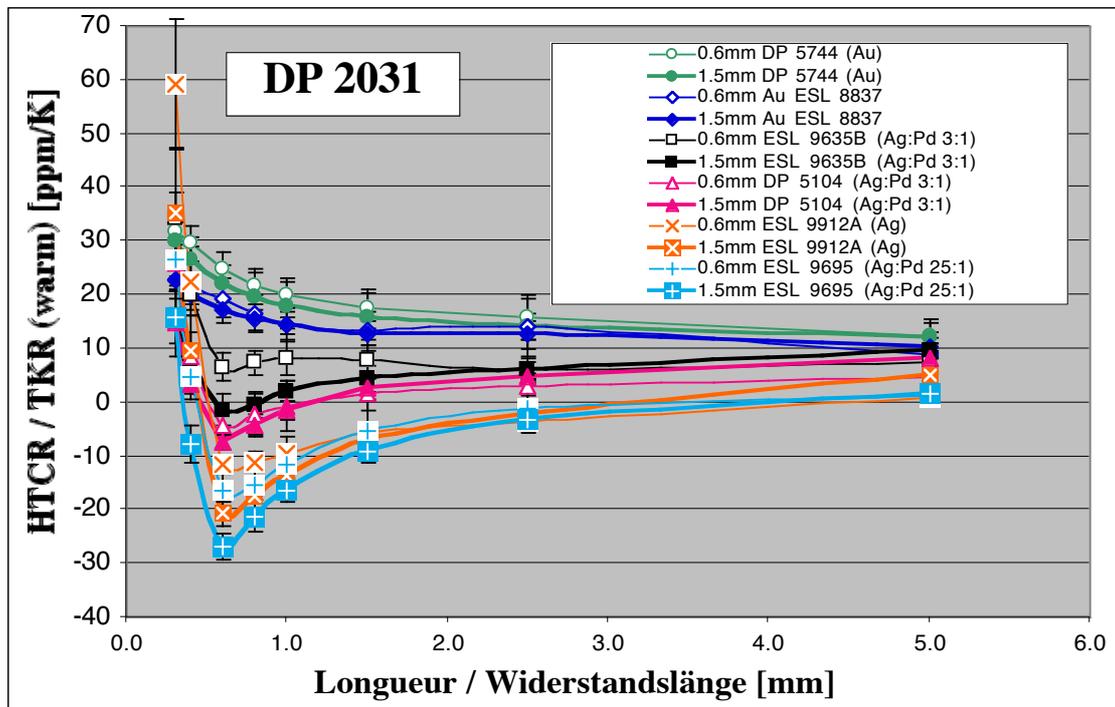


Figure 3-8. Coefficient en température à chaud *HTCR* de DP 2031, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

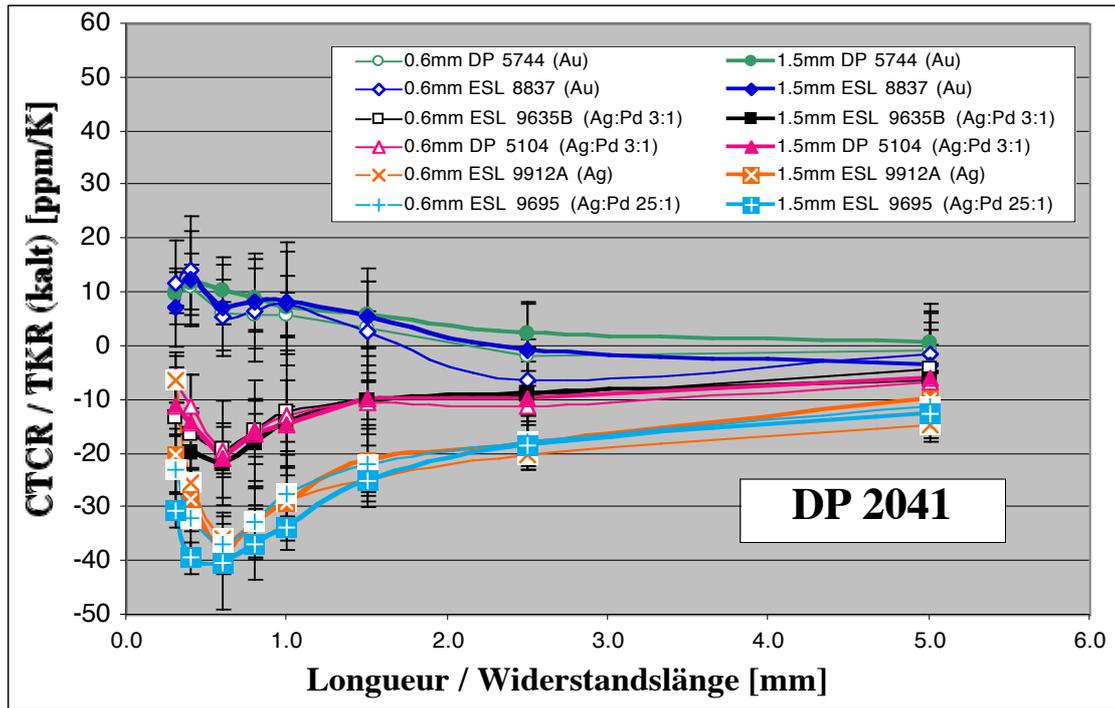


Figure 3–9. Coefficient en température à froid *CTCR* de DP 2041, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

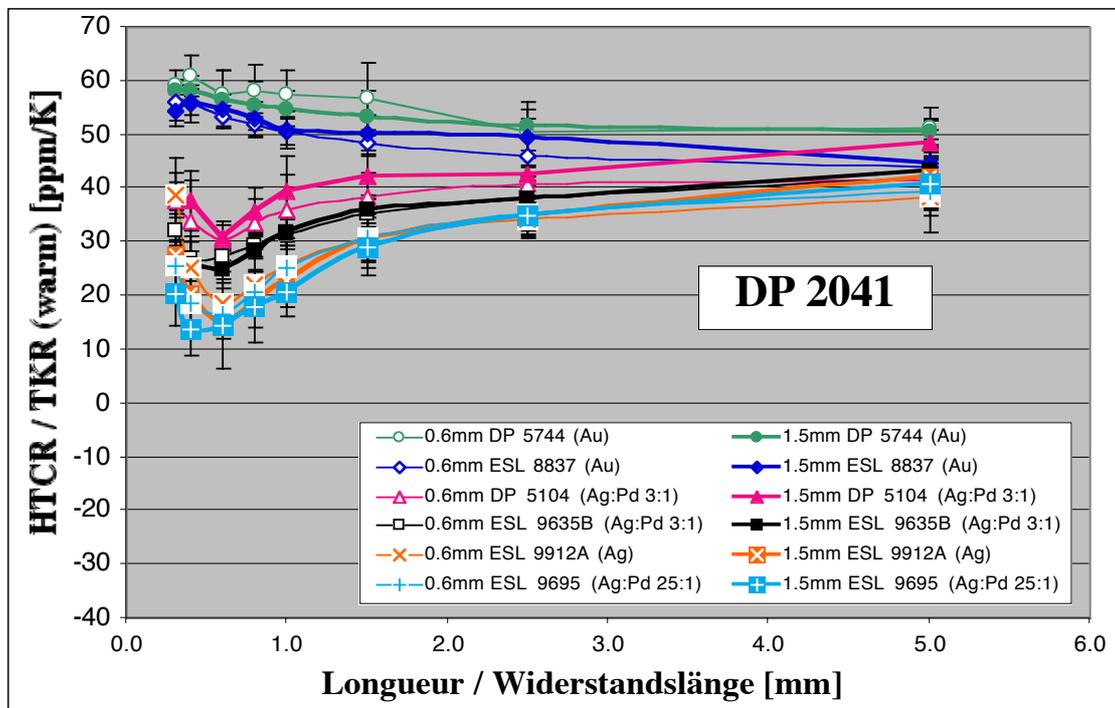


Figure 3–10. Coefficient en température à chaud *HTCR* de DP 2041, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

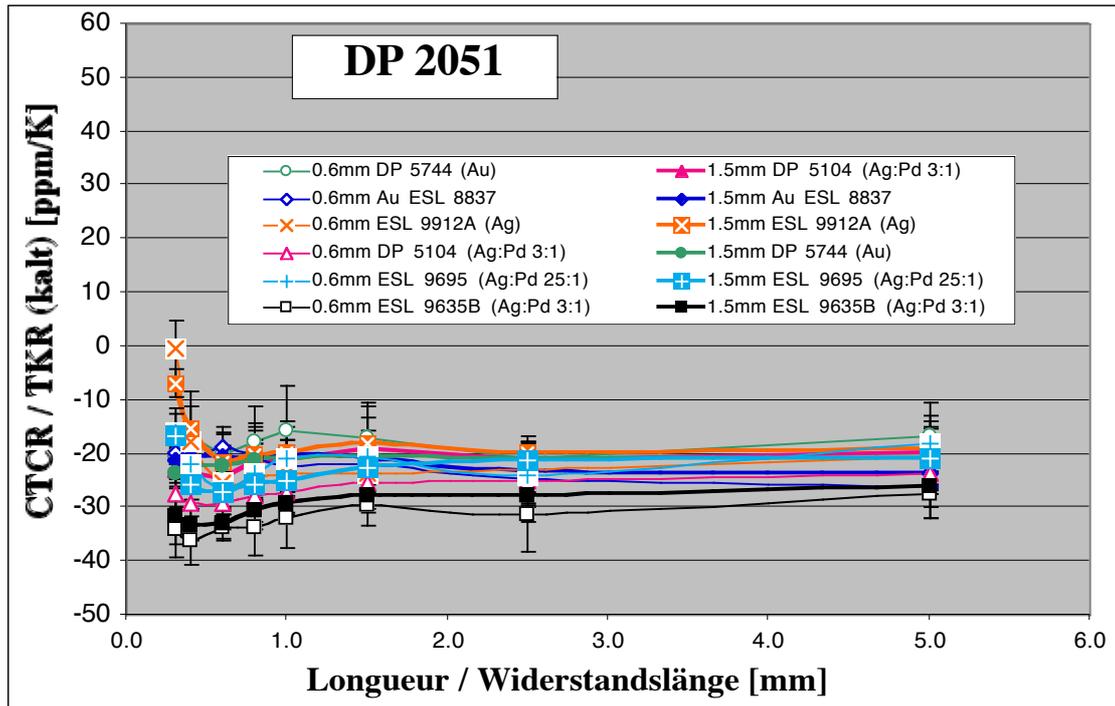


Figure 3-11. Coefficient en température à froid *CTCR* de DP 2051, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

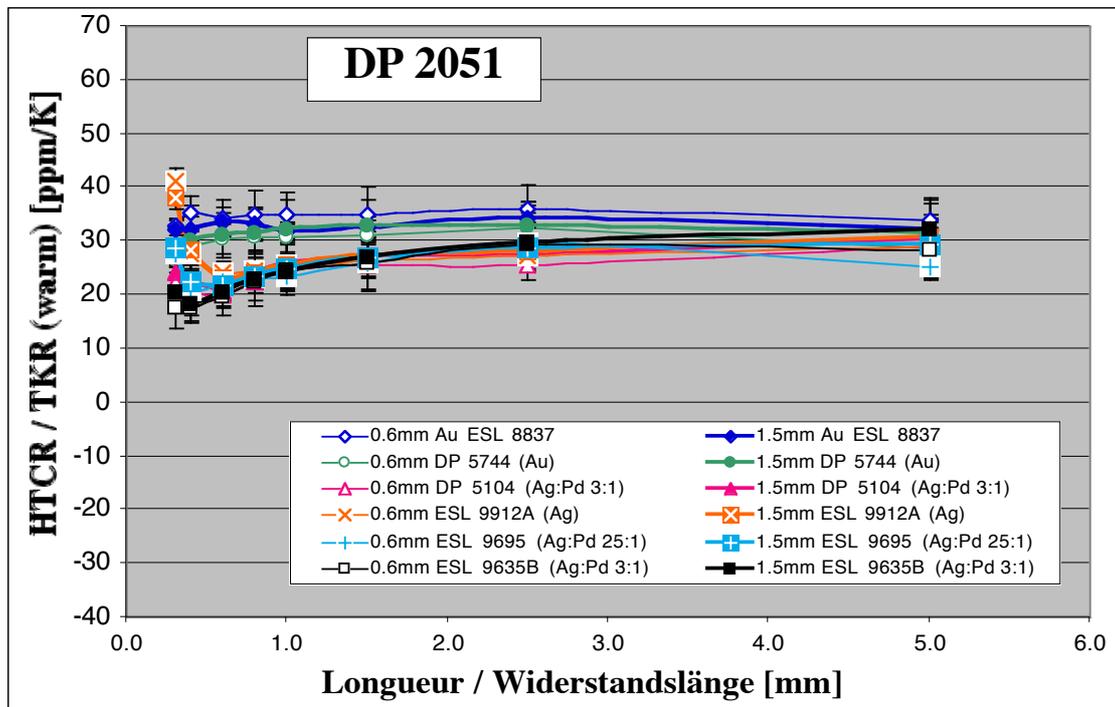


Figure 3-12. Coefficient en température à chaud *HTCR* de DP 2051, en fonction de la longueur, de la largeur et de la terminaison utilisée. Barres d'erreur = écart-type.

## 4. Conclusions

L'objet de cette étude était la caractérisation de l'effet de 6 différentes terminaisons (ESL 8837 – Au fin, DP 5744 – Au, ESL 9635B – Ag:Pd 3:1, DP 5104 – Ag:Pd 3:1, ESL 9695 – Ag:Pd 25:1 et ESL 9912 – Ag) sur la série résistive DP 20x1 (DP 2021, 2031, 2041 et 2051, de 100  $\Omega$  à 100 k $\Omega$ ). Il s'agissait surtout de déterminer si les terminaisons en Ag ou Ag:Pd 25:1 sont utilisables au même titre que Ag:Pd 3:1.

Pour DP 2021 (100  $\Omega$ ), les effets de terminaison sont importants pour tous les matériaux à base Ag, et Ag:Pd 3:1 n'est pas meilleur que Ag ou Ag:Pd 25:1 : on peut donc les substituer sans autre. La situation inverse se présente avec DP 2051 (100 k $\Omega$ ) : les effets de terminaison sur les coefficients en température *CTCR* / *HTCR* sont faibles quelle que soit la terminaison utilisée : une substitution est donc ici aussi possible.

En revanche, Ag:Pd 3:1 présente des effets de terminaison nettement plus faibles que Ag ou Ag:Pd 25:1 avec DP 2031 et DP 2041. Avec ces pâtes résistives, il faut s'attendre à une dépendance de *CTCR* / *HTCR* en fonction de la longueur si on utilise Ag ou Ag:Pd 25:1. L'emploi de résistances courtes est particulièrement délicat. Pour les résistances plus longues, la situation est gérable, mais il faut en tenir compte pour la conception des circuits.