



(22) Date de dépôt/Filing Date: 1998/05/19  
(41) Mise à la disp. pub./Open to Public Insp.: 1998/11/22  
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2005/07/12  
(30) Priorité/Priority: 1997/05/22 (97.06232) FR

(51) Cl.Int.<sup>6</sup>/Int.Cl.<sup>6</sup> C25D 5/10, C25D 3/60, C25D 3/56  
(72) Inventeurs/Inventors:  
RUIMI, MICHEL, FR;  
GUERBERT-JUBERT, JEAN-PAUL, FR  
(73) Propriétaire/Owner:  
SNECMA MOTEURS, FR  
(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : REVETEMENT DE PROTECTION DE PIECES METALLIQUES AYANT UNE BONNE RESISTANCE A LA CORROSION EN ATMOSPHERE SALINE, ET PIECES METALLIQUES COMPORTANT UN TEL REVETEMENT DE PROTECTION

(54) Title: PROTECTIVE COATING FOR METALLIC PARTS OFFERING GOOD CORROSION RESISTANCE IN SALT AIR, AND THE METALLIC PARTS COVERED WITH SUCH A PROTECTIVE COATING

<b>Nature du revêtement</b>	<b>Couplage galvanique avec le substrat en acier</b>	<b>Tenue au brouillard salin (après 330h)</b>	<b>Tenue en cyclage alterné (après 8 cycles)</b>
<b>Cadmium</b>	<i>bon</i>	<i>excellent</i>	<i>excellent</i>
<b>Zinc-Nickel (10-16% Ni)</b>	<i>bon</i>	<i>bon</i>	<i>moyen</i>
<b>Étain-Zinc (12-25% Zn)</b>	<i>excellent</i>	<i>bon</i>	<i>moyen</i>
<b>"sandwich"</b>		<i>bon</i>	<i>bon</i>

(57) Abrégé/Abstract:

Le revêtement de protection des pièces métalliques contre la corrosion en atmosphère saline comporte au moins une couche d'un alliage d'étain et de zinc contenant entre 8 et 35 % en poids de zinc. Avantagusement, la couche d'étain et de zinc est déposée sur une sous-couche d'un alliage de zinc et de nickel contenant entre 10 et 16 % en poids de nickel et la proportion en épaisseur des deux alliages constituant le revêtement est de deux tiers pour l'alliage de zinc et de nickel et de un tiers pour l'alliage d'étain et de zinc. Préférentiellement, le revêtement comporte en outre un film externe de chromate.

**ABREGE**

Le revêtement de protection des pièces métalliques contre la corrosion en atmosphère saline comporte au moins une couche  
5 d'un alliage d'étain et de zinc contenant entre 8 et 35 % en poids de zinc. Avantageusement, la couche d'étain et de zinc est déposée sur une sous-couche d'un alliage de zinc et de nickel contenant entre 10 et 16 % en poids de nickel et la  
10 proportion en épaisseur des deux alliages constituant le revêtement est de deux tiers pour l'alliage de zinc et de nickel et de un tiers pour l'alliage d'étain et de zinc. Préférentiellement, le revêtement comporte en outre un film externe de chromate.

Il est également connu que dans le domaine de la connectique, les revêtements d'étain-nickel comportant 35 % de nickel et appliqués sur une sous-couche de cuivre offrent de bonnes propriétés de résistance en corrosion. Cependant ce type de revêtement n'a pas un comportement sacrificiel par rapport aux substrats en acier ce qui limite sa durée de vie dans des conditions sévères telles que le cyclage alterné.

10 L'invention a pour but d'élaborer un revêtement de protection d'une pièce métallique ne comportant pas de cadmium, constituant une protection anodique efficace contre la corrosion en atmosphère saline et en cyclage alterné, et présentant une faible sensibilité à la corrosion galvanique.

15

Pour cela, l'invention a pour objet un revêtement binaire d'un alliage d'étain et de zinc comportant 8 à 35 % en poids de zinc.

20 Selon l'invention, le revêtement de protection de pièces métalliques ayant une bonne résistance à la corrosion en atmosphère saline est caractérisé en ce qu'il comporte au moins une couche d'un alliage d'étain et de zinc contenant entre 8 et 35 % en poids de zinc, une sous-couche d'un alliage de zinc et de nickel contenant entre 10 et 16 % en poids de nickel, la sous-  
25 couche étant disposée entre la pièce métallique et la couche d'alliage d'étain et de zinc, et la proportion en épaisseur des deux alliages du revêtement étant de deux tiers pour l'alliage de zinc et de nickel et de un tiers pour l'alliage d'étain et de zinc.

30

De préférence, l'alliage d'étain et de zinc comporte entre 12 et 25 % en poids de zinc.

35 Préférentiellement, le revêtement comporte en outre un film externe de chromate.

Avantageusement, la couche d'alliage d'étain et de zinc et/ou la sous-couche d'alliage de zinc et de nickel sont déposées par électrolyse.

5 L'invention concerne aussi une pièce métallique comportant un revêtement de protection contre la corrosion en atmosphère saline.

D'autres particularités ou avantages de l'invention apparaîtront  
10 clairement dans la suite de la description donnée à titre d'exemple non limitatif et faite en regard des tableaux intégrés dans le texte :

- le tableau 1 indique les valeurs des potentiels de dissolution  
15 et les valeurs de couplage galvanique de différents types de revêtements réalisés sur des substrats en acier ;

- le tableau 2 rappelle la composition de deux types d'aciers  
considérés ;

20

- le tableau 3 résume les résultats obtenus pour les différents types de revêtements considérés lors d'essais de tenue en présence de brouillard salin et en cyclage alterné.

25 Pour constituer un revêtement efficace pour la protection des pièces métalliques contre la corrosion saline, le revêtement doit se comporter anodiquement par rapport au substrat métallique, c'est à dire qu'il doit avoir un comportement sacrificiel par rapport au substrat. Par ailleurs, le couplage galvanique entre  
30 le revêtement et le substrat doit être faible pour diminuer les risques de sensibilité du revêtement à la corrosion galvanique et augmenter sa durée de vie.

Après avoir effectué une étude comparative des propriétés de  
35 différents types de revêtements binaires par rapport à un revêtement électrolytique de cadmium, nous avons déterminé qu'un

revêtement électrolytique binaire constitué d'un alliage d'étain et de zinc comportant entre 8 et 35 % en poids de zinc et préférentiellement entre 12 et 25 % en poids de zinc, présente un comportement en corrosion saline satisfaisant même dans des conditions sévères de cyclage alterné, et un faible couplage galvanique avec un substrat métallique.

Le revêtement électrolytique d'étain et de zinc peut être utilisé seul et déposé directement sur le substrat métallique.

10

Le revêtement électrolytique d'étain et de zinc peut aussi être utilisé dans un revêtement de type sandwich. Dans ce cas il est déposé sur une sous-couche d'un alliage de zinc:de nickel comportant 10 à 16 % en poids de nickel. L'alliage de zinc et de nickel est déposé par voie électrolytique sur le substrat métallique.

La proportion en épaisseur des deux alliages du revêtement sandwich est la suivante :  $2/3$  Zn-Ni +  $1/3$  Sn-Zn.

20

Le revêtement sandwich permet d'obtenir une double protection des pièces métalliques contre la corrosion saline, il permet d'augmenter la résistance à la corrosion en diminuant le couplage galvanique du revêtement par rapport au substrat métallique. L'alliage de zinc et de nickel est utilisé de préférence en sous-couche pour améliorer l'adhérence du revêtement sur la pièce métallique.

Le revêtement d'étain et de zinc ou de type sandwich peut comporter en outre un film externe de chromate permettant d'améliorer encore la tenue du revêtement en corrosion saline.

Les dépôts électrolytiques de l'alliage d'étain et de zinc et/ou de l'alliage de zinc et de nickel sont réalisés en utilisant des bains électrolytiques ne comportant aucun agent d'addition de

type brillanteur organique ou métallique, car ces agents d'addition sont source de fragilisation par l'hydrogène.

Le revêtement électrolytique d'étain et de zinc est déposé en utilisant un bain dont un exemple de composition est donné ci-dessous :

- stannate de sodium : de 30 à 75 g/l et de préférence 67 g/l
- cyanure de zinc : de 2 à 10 g/l et de préférence 5,4 g/l
- soude : de 2 à 10 g/l et de préférence 5 g/l
- 10 • cyanure de sodium : de 15 à 45 g/l et de préférence 28 g/l

La plage des températures du bain d'électrolyse est comprise entre 63 et 67°C ; la plage des densités de courant cathodiques appliquée pendant l'électrolyse est comprise entre 1 et 3 A/dm<sup>2</sup> ;  
15 la plage des tensions appliquées est comprise entre 2 et 5V.

Les anodes utilisées sont de préférence des anodes d'étain-zinc alliés, comportant par exemple 75 % en poids d'étain, et 25 % en poids de zinc.

20

Il est également possible d'utiliser deux anodes d'étain et deux anodes de zinc en alternance en tenant compte du fait que les anodes de zinc se dissolvent plus vite que les anodes d'étain, ce qui provoque un enrichissement progressif du bain en zinc.

25

La composition du bain électrolytique peut être différente ; en particulier, pour des raisons d'hygiène et de sécurité, le complexant cyanure peut être remplacé par un complexant alcalin azoté non cyanuré comportant par exemple une ou plusieurs  
30 fonctions amines et/ou une ou plusieurs fonctions amides.

Le revêtement électrolytique de zinc et de nickel (10 à 16 % en poids de nickel) est effectué en utilisant un bain électrolytique connu sous le nom commercial Slotoloy ZN50.

35

La composition de ce bain est la suivante :

- soude : ..... 12,5 g/l
- zinc : ..... 7,5 g/l
- nickel : ..... 1,3 g/l
- 5 • ZN51 : ..... 40 ml/l
- ZN52 : ..... 75 ml/l
- ZN53 : ..... 5 ml/l

L'additif de nom commercial ZN51 est un complexant comportant des  
 10 amines ; les additifs de noms commerciaux ZN52 et ZN53 sont des  
 affineurs de grain. Le zinc est introduit sous la forme d'oxyde  
 de zinc ZnO ; le nickel est introduit sous la forme de NiSO<sub>4</sub>,  
 6H<sub>2</sub>O. Les anodes utilisées sont des anodes de nickel. La plage  
 des températures du bain d'électrolyse est comprise entre 63 et  
 15 67°C ; la plage des densités de courant cathodiques appliquée  
 pendant l'électrolyse est comprise entre 1 et 3 A/dm<sup>2</sup> ; la plage  
 des tensions appliquées est comprise entre 3 et 6 V.

Le tableau 1 représente un tableau comparatif des valeurs des  
 20 potentiels de dissolution initial et mesuré au bout d'un temps t  
 égal à 5 minutes, et de la valeur de couplage galvanique de  
 différents types de revêtements réalisés sur des substrats en  
 acier.

Matériau /revêtement	Pdd (mV) / ECS t = 0mm	Pdd (mV) / ECS t = 5mm	Valeur du couplage galvanique (mV)
XES	-370	-430	0
XES + Cd	-740	-730	130
XES + Cd + Fic	-770	-780	80
XES + Sn-Zn (12 à 25% Zn)	-940	-930	70
XES + Sn-Zn (12 à 25% Zn) + FiC	-890	-870	10
15CDV6 (sablé)	-495	-530	0
15CDV6 + Zn-Ni (10 à 15% Ni) + FiC	-860	-910	150

25 FiC : finition chromique

Tableau 1

La mesure des potentiels électrochimiques de dissolution (notés pdd) permet d'évaluer les risques de sensibilité à la corrosion galvanique qui peuvent exister entre un revêtement et le substrat sur lequel il est déposé. En particulier, les valeurs de couplage galvanique supérieures à 250mV en milieu humide sont susceptibles de provoquer une corrosion galvanique qui se traduit par une attaque préférentielle du revêtement si celui-ci a un comportement sacrificiel par rapport au substrat sur lequel il est déposé. La mesure des potentiels électrochimiques de dissolution des matériaux ou des revêtements indiqués dans le tableau 1, est effectué à l'aide d'un multimesureur électronique en utilisant une électrode de référence au calomel saturé (notée ECS).

15

L'électrolyte employé est une solution comportant 30 g/l de chlorure de sodium, 1,284 g/l de phosphate dissodique et 0,187 g/l d'acide borique. Le pH de la solution électrolytique est maintenu à  $8 \pm 0,1$  et les mesures sont réalisées à température ambiante.

20

Les potentiels électrochimiques de dissolution sont mesurés au temps  $t = 0$  (mesure instantanée) et au bout de 5 minutes après stabilisation de la solution électrolytique pour deux types d'acier différents connus respectivement sous les noms commerciaux d'acier XES et d'acier 15CDV6, et pour différents types de revêtement déposés sur ces aciers.

25

La composition des deux types d'acier considérés est rappelée dans le tableau 2.

30

Nature du substrat	Base	% C	% Cr	% Mo	% V	Structure
Acier XES	fer	0,08				ferritique
Acier 15CDV6	fer	0,15	1,35	0,90	0,25	martensitique

Tableau 2

Les revêtements considérés sont un revêtement de cadmium déposé sur un substrat en acier XES sans finition chromique et suivi d'une finition chromique ; un revêtement d'un alliage d'étain et de zinc comportant 8 à 35 % en poids de zinc déposé sur un substrat en acier XES sans finition chromique et suivi d'une finition chromique ; un revêtement d'un alliage de zinc et de nickel comportant 10 à 16 % en poids de nickel suivi d'une finition chromique. Le revêtement de cadmium est utilisé comme référence. Les valeurs des potentiels électrochimiques de dissolution mesurées montrent que tous les revêtements ont un comportement sacrificiel, le substrat en acier muni de l'un des revêtements considérés étant plus anodique que l'acier seul.

Par ailleurs, la faible valeur de couplage galvanique entre l'acier XES et un revêtement d'un alliage d'étain et de zinc comportant 8 à 35 % en poids de zinc, laisse présager une longue durée de vie de ce type de revêtement.

Le tableau 1 montre également que le dépôt d'un film de chromate, appelé finition chromique, sur le revêtement de protection est particulièrement avantageux car il permet de diminuer notablement la valeur du couplage galvanique entre le substrat en acier et le revêtement et d'augmenter ainsi considérablement la durée de vie du revêtement.

Des essais de tenue du revêtement en présence de brouillard salin et en cyclage alterné ont été effectués pour tous les revêtements considérés sur le tableau 1 ainsi que pour un revêtement additionnel, appelé revêtement sandwich, comportant une première couche constituée d'un revêtement électrolytique d'un alliage de zinc et de nickel comportant 10 à 16 % en poids de nickel et une deuxième couche constituée d'un revêtement électrolytique d'un alliage d'étain et de zinc comportant 8 à 35 % en poids de zinc.

Les épaisseurs de tous les revêtements considérés sont comprises entre 10 et 15  $\mu\text{m}$ .

Les résultats obtenus au cours de ces essais sont résumés dans un tableau comparatif 3. Les essais de tenue en corrosion saline ont été réalisés conformément à la norme AFNOR NFX4/.002, c'est-à-dire en exposant les revêtements dans un brouillard contenant du chlorure de sodium à 5 % ; de pH 7 t 0,1 ; à une température de  $35^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . La durée de l'exposition est de 336 heures.

10

Nature du revêtement	Couplage galvanique avec le substrat en acier	Tenue au brouillard salin (après 330h)	Tenue en cyclage alterné (après 8 cycles)
Cadmium	bon	excellent	excellent
Zinc-Nickel (10-16% Ni)	bon	bon	moyen
Etain-Zinc (12-25% Zn)	excellent	bon	moyen
"sandwich"		bon	bon

Tableau 3

Avec ou sans finition chromique, les revêtements de cadmium ont un excellent comportement en présence de brouillard salin. Après 336 heures d'exposition, aucun point de corrosion du substrat en acier n'est observé, ce qui confirme l'effet protecteur de ce revêtement vis à vis de l'acier.

Le revêtement électrolytique d'un alliage de zinc et de nickel comportant 10 à 16 % en poids de nickel et les revêtements électrolytiques d'un alliage d'étain et de zinc comportant 8 à 35 % en poids de zinc ont des comportements similaires en présence de brouillard salin. A partir de 216 heures d'exposition au brouillard salin, des fines coulures de corrosion blanche apparaissent, mais celles-ci n'évoluent pas au cours du temps. Au bout de 336 heures d'exposition au brouillard salin, aucune attaque du substrat en acier n'est observée.

En ce qui concerne le revêtement sandwich Zn - Ni (10 à 16 % en poids Ni) + Sn - Zn (8 à 35 % en poids Zn), des fines coulures de corrosion blanche sont observées à partir de 192 heures d'exposition au brouillard salin, mais ces défauts sont insignifiants et n'évoluent pas jusqu'au temps d'exposition égal à 336 heures. Aucun point de corrosion du substrat en acier n'est observé.

Par conséquent, les revêtements Zn - Ni (10 à 16 % en poids Ni), Sn - Zn (8 à 35 % en poids Zn) et sandwich 2/3 Zn - Ni (10 à 16 % en poids Ni) + 1/3 Sn - Zn (8 à 35 % en poids Zn) ont un comportement très proche en corrosion saline jusqu'à 336 heures d'exposition au brouillard salin.

Les résultats obtenus après exposition au brouillard salin sont fréquemment différents de la corrosion observée lors de l'exposition à l'atmosphère terrestre. Ceci est dû aux variations cycliques des conditions climatiques et en particulier de l'humidité, la température, l'exposition à la lumière du soleil.

Des essais en cyclage alterné ont donc été effectués pour évaluer le comportement de tous les revêtements considérés sur la figure 1 ainsi que pour le revêtement sandwich 2/3 Zn - Ni (10 à 16 % en poids Ni) + 1/3 Sn - Zn (8 à 35 % en poids Zn).

Chaque cycle consiste à exposer un matériau donné pendant 15 heures en brouillard salin à une température de 35°C, puis à placer ce matériau à une température élevée prédéterminée pendant 6 heures. La température élevée est choisie inférieure à la température de fusion des différents éléments du revêtement.

Pour les revêtements ne contenant pas d'étain, la température élevée est choisie égale à 235°C ; pour le revêtement contenant un alliage d'étain et de zinc et le revêtement sandwich, la température élevée est choisie égale à 150°C en raison du bas point de fusion de l'étain.

En ce qui concerne le revêtement de cadmium, après huit cycles d'essais, aucune attaque du substrat en acier n'est observée. le comportement de ce revêtement est excellent.

5

En ce qui concerne le revêtement électrolytique d'un alliage de zinc et de nickel comportant 10 à 16 % en poids de nickel, après quatre cycles d'essais, la corrosion blanche occupe 50 % de la surface du revêtement. Au cinquième cycle d'essais, la corrosion  
10 blanche a progressé et s'étend sur la totalité de la surface du revêtement. Des points de corrosion du substrat en acier apparaissent au sixième cycle d'essais.

Le comportement, en cyclage alterné, du revêtement électrolytique  
15 d'un alliage d'étain et de zinc comportant 8 à 35 % en poids de zinc est similaire au comportement du revêtement électrolytique de l'alliage de zinc et de nickel. Au sixième cycle d'essais, 15 à 20 % de la surface du substrat en acier est attaquée par la corrosion blanche.

20

Le comportement du revêtement sandwich en cyclage alterné est nettement meilleur. Aucune corrosion blanche n'est observée après huit cycles d'essais. Cependant, quelques piqûres de corrosion de dimension voisine de 0,5 mm<sup>2</sup> apparaissent en surface à l'issue  
25 des huit cycles d'essais.

Par conséquent, le revêtement sandwich possède le meilleur comportement en corrosion saline et en cyclage alterné par rapport aux revêtements zinc-nickel et étain-zinc considérés et  
30 constitue une protection efficace contre la corrosion d'une pièce en acier lorsque celle-ci est utilisée dans des conditions sévères.

Les revêtements zinc-nickel et étain-zinc peuvent également être  
35 utilisés en tant que revêtements protecteurs de pièces en acier,

dans des cas où les conditions d'utilisation des pièces sont moins sévères.

Les revêtements zinc-nickel et étain-zinc peuvent également être  
5 appliqués sur des pièces métalliques autres que l'acier, telles  
que par exemple, des pièces en alliage d'aluminium préalablement  
revêtues d'une sous-couche de zincate chimique. L'invention n'est  
pas limitée aux exemples de réalisations précisément décrits ; en  
particulier le choix d'une voie électrolytique pour déposer les  
10 alliages du revêtement est avantageuse au niveau du coût de  
réalisation du dépôt et permet de contrôler de façon simple la  
concentration des éléments de l'alliage par le choix d'une valeur  
de densité de courant cathodique appliquée pendant l'électrolyse  
et par le choix d'une valeur de tension appliquée, mais le dépôt  
15 des alliages considérés peut également être effectué par toute  
autre méthode connue.

**REVENDICATIONS**

1. Revêtement de protection d'une pièce métallique ayant une bonne résistance à une corrosion en atmosphère saline, caractérisé en ce qu'il comporte au moins une couche d'un alliage d'étain et de zinc contenant entre 8 et 35 % en poids de zinc, une sous-couche d'un alliage de zinc et de nickel contenant entre 10 et 16 % en poids de nickel, la sous-couche étant disposée entre la pièce métallique et ladite au moins une couche d'alliage d'étain et de zinc, et une proportion en épaisseur des deux alliages du revêtement étant de deux tiers pour l'alliage de zinc et de nickel et de un tiers pour l'alliage d'étain et de zinc.

2. Le revêtement de protection de pièces métalliques selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite au moins une couche d'alliage d'étain et de zinc comporte entre 12 et 25 % en poids de zinc.

3. Le revêtement de protection de pièces métalliques selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il comporte en outre un film externe de chromate.

4. Le revêtement de protection de pièces métalliques selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'au moins une de : ladite au moins une couche d'alliage d'étain et de zinc et de : ladite sous-couche d'alliage de zinc et de nickel est déposée par électrolyse.

5. Le revêtement de protection de pièces métalliques selon la revendication 4, caractérisé en ce que des dépôts électrolytiques d'au moins un de l'alliage d'étain et de zinc et de l'alliage de zinc et de nickel sont réalisés en utilisant des bains électrolytiques ne comportant aucun agent d'addition de type brillanteur, ni organique ni métallique.

6. Le revêtement de protection de pièces métalliques selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'une composition d'un bain électrolytique utilisé pour le dépôt de l'alliage d'étain et de zinc est la suivante :

- 5 • stannate de sodium : .....67 g/l
- cyanure de zinc : .....5,4 g/l
- soude : .....5 g/l et
- cyanure de sodium : .....28 g/l.

10 7. Le revêtement de protection de pièces métalliques selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'un complexant cyanure, utilisé dans le cyanure de zinc et le cyanure de sodium, est remplacé par un complexant alcalin azoté non cyanuré.

15 8. Le revêtement de protection de pièces métalliques selon l'une quelconque des revendications 4 à 6, caractérisé en ce qu'un dépôt électrolytique de l'alliage d'étain et de zinc est effectué en utilisant des anodes d'étain-zinc alliés.

20 9. Pièce métallique comportant un revêtement de protection contre une corrosion en atmosphère saline, selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

1 / 1

Matériau / revêtement	Pdd (mV) / ECS t = 0mm	Pdd (mV) / ECS t = 5mm	Valeur du couplage galvanique (mV)
XES	-370	-430	0
XES + Cd	-740	-730	130
XES + Cd + Fic	-770	-780	80
XES + Sn-Zn (12 à 25% Zn)	-940	-930	70
XES + Sn-Zn (12 à 25% Zn) + FiC	-890	-870	10
15CDV6 (sablé)	-495	-530	0
15CDV6 + Zn-Ni (10 à 15% Ni) + FiC	-860	-910	150

FiC : finition chromique

**Fig : 1**

Nature du substrat	Base	% C	% Cr	% Mo	% V	Structure
Acier XES	<i>fer</i>	0,08				<i>ferritique</i>
Acier 15CDV6	<i>fer</i>	0,15	1,35	0,90	0,25	<i>martensitique</i>

**Fig : 2**

Nature du revêtement	Couplage galvanique avec le substrat en acier	Tenue au brouillard salin (après 330h)	Tenue en cyclage alterné (après 8 cycles)
Cadmium	<i>bon</i>	<i>excellent</i>	<i>excellent</i>
Zinc-Nickel (10-16% Ni)	<i>bon</i>	<i>bon</i>	<i>moyen</i>
Etain-Zinc (12-25% Zn)	<i>excellent</i>	<i>bon</i>	<i>moyen</i>
"sandwich"		<i>bon</i>	<i>bon</i>

**Fig : 3**

Nature du revêtement	Couplage galvanique avec le substrat en acier	Tenue au brouillard salin (après 330h)	Tenue en cyclage alterné (après 8 cycles)
Cadmium	<i>bon</i>	<i>excellent</i>	<i>excellent</i>
Zinc-Nickel (10-16% Ni)	<i>bon</i>	<i>bon</i>	<i>moyen</i>
Étain-Zinc (12-25% Zn)	<i>excellent</i>	<i>bon</i>	<i>moyen</i>
"sandwich"		<i>bon</i>	<i>bon</i>