

## Une vie d'acier zingué

### *Expériences sur l'élaboration d'un matériau*

par J.-L. VIGNES

Centre de Ressources Pédagogiques en Chimie :

Économie - Industrie - EXC-1

ENS de Cachan - 94235 Cachan Cedex

et CECM-CNRS - 94400 Vitry-sur-Seine

M. ABDRAHAB

IPEST - La Marsa - Tunisie

P. PIESSSEN

Galvazinc Association

et M. BABBIT

Sollac - 92050 Paris La Défense

---

Les expériences présentées dans cet article sont destinées à illustrer, au laboratoire, différents aspects d'un matériau largement utilisé dans la vie courante. Ces expériences font appel à du matériel disponible dans les collèges et les lycées et à des produits facilement accessibles ne présentant pas de grandes difficultés d'utilisation. Elles peuvent, en particulier, être mises en œuvre dans le cadre des nouveaux programmes de chimie de la classe de troisième.

Dans trois précédents articles [1, 2 et 3], nous avons traité la métallurgie du zinc, quelques propriétés chimiques importantes du zinc et son recyclage. Dans cet article, nous utiliserons le zinc pour élaborer l'acier zingué, matériau dans l'élaboration duquel est consommé la plus grande partie du zinc. Les propriétés de l'acier zingué ont été examinées dans l'un des articles précédents [3].

De façon générale, la protection de l'acier par un revêtement de zinc est appelée zingage. Cette protection peut être réalisée selon divers procédés, ceux-ci étant dans l'ordre décroissant :

- *la galvanisation à chaud* : qui consiste à immerger l'acier dans un bain de zinc fondu. Les produits formés sont appelés galvanisés ;
- *le zingage électrolytique* : obtenu par électrolyse d'une solution contenant des ions  $Zn^{2+}$ . Les produits formés sont appelés électrozingués.

D'autres techniques, moins utilisées, emploient la projection thermique de zinc fondu au pistolet, la matoplastie (recouvrement par écrasement de particules de zinc à

l'aide d'impacts de billes de verre), la shérardisation (diffusion superficielle de zinc par chauffage). Toutes ces techniques relèvent du zingage. Par contre, l'application de peintures riches en zinc (plus de 93 % de poudre ou de poussière de zinc dans l'extrait sec) est exclue de cette dénomination.

## 1. L'ACIER GALVANISÉ

Le terme galvanisation est lié à «l'effet galvanique» et au nom du savant italien Galvani qui a, en particulier, étudié la production d'électricité par le contact de deux métaux de nature différente. C'est Davy qui lors de l'étude de la pile Zn-Cu de Volta semble avoir proposé pour la première fois l'utilisation du zinc pour «la conservation du fer».

Le procédé de galvanisation à chaud a été inventé par le Français J. Malouin en 1742 puis développé, en France, par Stanislas Sorel, en 1837-1842. La première usine a été construite à Solingen, en Allemagne, en 1847.

Actuellement, la galvanisation à chaud est pratiquée selon deux voies :

- la galvanisation, au trempé, de produits finis,
- la galvanisation en continu de demi-produits sidérurgiques (tôles, tubes, fils).

### 1.1. L'interface acier-zinc et la composition du bain de zinc [4 et 5]

Lorsque de l'acier est plongé dans un bain de zinc fondu (à une température > 419°C), après refroidissement, on observe, à la surface de l'acier, une série d'alliages (composés intermétalliques) à teneur décroissante en fer lorsqu'on s'éloigne de l'acier de base (tableau 1). En général, la formation des couches d'alliages est rapide (quelques minutes) et l'épaisseur du revêtement (50 à 70 µm) n'augmente plus, même si le temps d'immersion se prolonge, sauf dans le cas particulier des aciers dits réactifs.

	Phase				
	Eta (Zn)	Zéta	Delta	Gamma	Acier
Composé	Zn	FeZn <sub>13</sub>	FeZn <sub>7</sub>	FeZn <sub>3</sub> , Fe <sub>5</sub> Zn <sub>21</sub>	Acier
Pourcentage de fer en masse	≤ 0,03	6 à 6,2	7 à 11,5	21 à 28	99 à 100
Dureté (MPa)	300-500	1800-2700	2500-4500	4500-5500	1200-1500
Épaisseur approximative (pourcentage de celle du dépôt)	20-30	50	20-30	1-2	

**Tableau 1 :** Interface acier-zinc.

On remarque la grande dureté des alliages interfaciaux par rapport aux deux métaux. Cette dureté élevée confère à l'acier galvanisé à chaud une bonne résistance au frottement et à l'abrasion ce qui convient bien à la galvanisation de produits finis.

Par contre, ces alliages sont fragiles et non déformables ce qui serait néfaste pour la galvanisation en continu de tôles destinées à être déformées par pliage ou emboutissage. Dans ce cas, pour éviter la formation de ces couches d'alliages, on ajoute au bain de zinc de 0,16 à 0,20 % d'aluminium qui inhibe la formation des alliages Fe-Zn et donne, après refroidissement, une très fine couche ( $< 0,2 \mu\text{m}$ ) d'alliage  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  contenant, en solution solide, de 10 à 15 % de zinc.

On ajoute également, dans le bain de zinc, principalement pour des utilisations dans le bâtiment, de 0,02 à 0,14 % de plomb qui améliore la mouillabilité de l'acier par le zinc fondu et permet une cristallisation du zinc en gros grains, observables à l'œil, appelée «fleurage». Lorsque la tôle galvanisée est destinée à recevoir un revêtement de finition, par exemple, pour les automobiles, de la peinture, il faut éviter le fleurage qui apparaîtrait à travers cette dernière.

## 1.2. Procédé industriel de galvanisation de produits finis [4 et 5]

Pour chaque étape de l'élaboration industrielle, parmi toutes les variantes utilisées, nous ne décrivons que la plus courante.

La nature de l'acier utilisé a un rôle et en particulier sur l'épaisseur du dépôt de zinc pour certains teneurs en silicium et phosphore (voir la norme NFA 35 503). En dehors des classes définies par cette norme on a un acier dit «réactif» et l'épaisseur de zinc peut atteindre des valeurs importantes, jusqu'à  $500 \mu\text{m}$ . Le revêtement a un aspect gris mat au lieu de l'aspect brillant obtenu habituellement et il est moins résistant aux chocs.

### 1.2.1. Préparation de la surface de l'acier

La surface est en général dégraissée dans une solution de carbonate de sodium et de soude, en présence de détergents et de tensioactifs, vers  $60\text{-}80^\circ\text{C}$ . Après rinçage, un décapage à l'acide chlorhydrique ( $3 \text{ à } 6 \text{ mol.L}^{-1}$ ), à la température ambiante, permet d'éliminer l'oxyde présent en surface. L'ajout d'inhibiteurs permet de limiter l'attaque du métal de base. Un rinçage soigné suit cette opération.

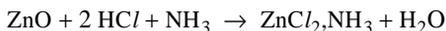
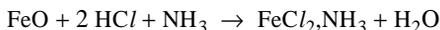
Avant galvanisation, la surface doit être revêtue par un flux qui permet d'éliminer les oxydes qui se reforment instantanément après décapage. Les pièces sont plongées dans une solution concentrée de chlorure de zinc et d'ammonium, à environ  $60^\circ\text{C}$ , puis

séchées vers 120°C dans une étuve. Après fluxage, la surface de l'acier est ainsi recouverte d'une fine couche de chlorure double de zinc et d'ammonium ( $ZnCl_2, 2NH_4Cl$ ).

Lors de la galvanisation, vers 450°C, les sels du flux se décomposent selon la réaction :



$NH_3$  et  $HCl$  «dissolvant» les oxydes selon les réactions :



Les ammoniacates (sels complexes)  $FeCl_2, NH_3$  et  $ZnCl_2, NH_3$ , appelés sels brûlés, donnent des «cendres» qui surnagent à la surface du zinc.

### 1.2.2. Galvanisation au trempé

Le bain de zinc pur ou contenant divers ajouts ( $Al$ ,  $Pb$ ) est maintenu à la température de 445-460°C. La masse de zinc mis en œuvre dans un bain peut atteindre jusqu'à 800 tonnes. La durée d'immersion qui dépend du volume de la pièce varie de trois à dix minutes. Avant retrait des pièces, les cendres sont éliminées par spatulage de la surface. Afin d'obtenir une épaisseur de dépôt constante, la sortie du bain se réalise à faible vitesse ( $0,5$  à  $1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ). Pour de petites pièces (boulons, vis...), une centrifugation à environ  $700 \text{ tours} \cdot \text{min}^{-1}$  permet d'éliminer le zinc en excès dans les parties filetées. Le refroidissement est effectué, en général, à l'air ambiant.

La norme française NF-A 91-121 indique les masses et épaisseurs minimales des revêtements. Quelques exemples sont regroupés dans le tableau 2.

Acier	Masse de zinc déposé par face	Épaisseur du dépôt
Épaisseur < 1 mm	$350 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$	$49 \mu\text{m}$
Épaisseur $\geq 5$ mm	$500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$	$70 \mu\text{m}$

**Tableau 2** : extrait de la norme NF-A 91-121.

Une des réalisations les plus spectaculaires de la galvanisation au trempé concerne la structure métallique en acier de la Renault Espace.

### 1.3. Procédé industriel de galvanisation en continu de demi-produits [6]

Ce procédé concerne les tôles et fils. Nous ne traiterons que le cas des tôles et décrirons l'une des chaînes de fabrication de Sollac à Florange en Moselle. Ce procédé industriel a été mis au point par un ingénieur polonais, Sendzimir, en 1933, et développé en France puis aux États-Unis à partir de 1936.

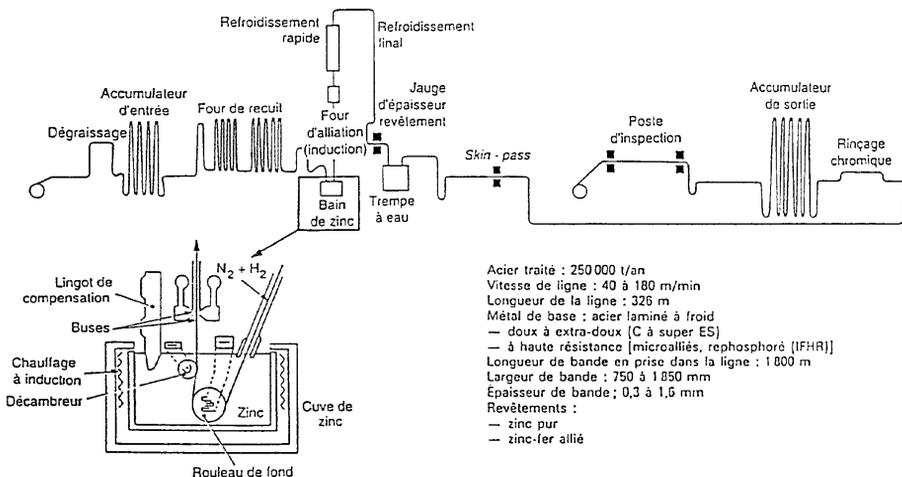
Les tôles provenant de bobines (1,2 à 2,1 m de diamètre, 31 tonnes) sont déroulées en continu, dégraissées, préchauffées (600-650°C) sous atmosphère réductrice (diazote avec environ 12 % de CO<sub>2</sub>, 2 % de CO, 3 % de H<sub>2</sub>) afin de parfaire le nettoyage et la désoxydation de la surface, chauffées (750-850°C) sous atmosphère de diazote avec 5 à 20 % de dihydrogène, opération de recuit qui permet à l'acier, fortement écroui lors des opérations de laminage et devenu cassant, de retrouver sa ductilité. Lors du recuit, la microstructure du métal se réorganise avec diminution ou suppression des obstacles les plus importants aux mouvements des dislocations (voir l'article «*Une vie de cuivre*» dans ce numéro). Les tôles sont ensuite refroidies sous atmosphère protectrice (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) pour atteindre la température du bain de zinc (450-500°C). La durée d'immersion est très courte : environ trois secondes. Le bain de zinc contient de 0,16 à 0,20 % d'aluminium afin d'inhiber la formation des alliages Fe-Zn. A la sortie du bain de galvanisation, un essorage par des lames d'air ou de diazote sous pression permet de régler l'épaisseur du dépôt de zinc (10 à 13 µm pour les tôles destinées aux automobiles).

Des traitements complémentaires peuvent être effectués, toujours en continu.

- Lorsque les tôles sont destinées aux automobiles ou à l'électroménager, le fleurage est minimisé en éliminant le plomb dans le bain de zinc ou en projetant de la poudre de zinc très fine (< 5 µm) sur la surface du zinc liquide et ainsi, en créant un grand nombre de germes de cristallisation, obtenir des grains de taille réduite (< 100 µm), invisibles à l'œil.
- A la sortie du bain de galvanisation un chauffage rapide, dix secondes à 500°C, permet, si cela est souhaité, la diffusion du fer dans le zinc liquide et la formation d'un alliage Fe-Zn à 8 à 10 % de fer.
- Après refroidissement à la température ambiante, un laminage à faible taux de réduction (environ 1 %), appelé skin-pass, améliore les propriétés mécaniques de la tôle et son aspect de surface.
- Enfin, avant d'être réenroulée en bobine, la bande d'acier galvanisé peut être passivée par aspersion d'une solution d'acide chromique afin de retarder, lors du stockage la formation de rouille blanche, ou seulement huilée, par exemple dans le cas des tôles destinées aux automobiles.

La masse de zinc déposé, par face est comprise entre 50 et 300  $\text{g.m}^{-2}$ , avec des épaisseurs de 7 à 42  $\mu\text{m}$ .

La ligne de galvanisation de Sollac à Florange d'une longueur de 326 m traite 250 000 tonnes d'acier par an. La vitesse de défilement de la bande d'acier varie de 40 à 180  $\text{m.min}^{-1}$ . La largeur de la bande varie de 0,75 à 1,85 m, son épaisseur de 0,3 à 1,6 mm, pour une longueur de bande, présente dans la ligne, de 1800 m (figure 1).



**Figure 1** : Ligne de galvanisation au trempé de Florange.

#### 1.4. Réalisation expérimentale d'une galvanisation d'acier

##### Matériel de départ

Plaques ou feuilles d'acier (non inoxydable) d'environ 2 cm de large sur 5 à 10 cm de long et d'une épaisseur quelconque, par exemple 0,5 mm. Les dimensions des plaques d'acier doivent être adaptées au creuset employé pour fondre le zinc.

##### Traitements préliminaires

Ces traitements sont les traitements classiques de nettoyage d'une surface métallique destinée à recevoir un revêtement. Ils conditionnent l'adhérence du dépôt sur le substrat. Ils consistent à dégraisser la surface et à éliminer la couche d'oxyde (rouille dans le cas de l'acier).

- *Dégraissage* : à l'aide d'une lessive (type poudre à laver), à chaud ou à l'aide d'un solvant approprié (acétone...) à la température ambiante.
- *Décapage* : à l'aide d'une solution acide, HCl de concentration environ  $5 \text{ mol.L}^{-1}$ , pendant quelques minutes, à la température ambiante. Ce décapage peut également être réalisé à l'aide d'une toile émeri à grain fin.
- Rinçage abondant à l'eau du robinet puis à l'eau distillée ou déminéralisée, séchage à l'aide d'un papier absorbant ou à l'aide d'alcool et d'un sèche-cheveux.

### Matériel complémentaire

- Creuset en terre réfractaire (par exemple de 6 cm de hauteur).
- Pince et spatule métallique.
- Bec Bunsen ou bec à air chaud type bec d'Hofmann.
- Un bécher de 100 ou 250 mL.
- Un sèche-cheveux (facultatif).

### Produits

- Grenaille de zinc (environ 40 g).
- Chlorure de zinc.
- Chlorure d'ammonium.

### Risques et précautions particuliers

Présence d'un métal en fusion à une température supérieure à  $419^\circ\text{C}$ . Il faut éviter les risques de renversement, sur la peau, du métal en fusion.

#### 1.4.1. **Bain de zinc**

La grenaille de zinc (température de fusion  $419^\circ\text{C}$ ) peut être fondue dans un creuset en terre réfractaire. Le creuset peut être récupéré après l'expérience ou consacré en permanence à cette expérience, le zinc restant dans le creuset. Un seul creuset peut être utilisé par une classe ou un ensemble de classes. Lors du chauffage, à l'aide d'un bec Bunsen ou d'un bec électrique à air chaud, la surface du zinc s'oxydera. Pour réduire au minimum cette oxydation, il faut éviter de chauffer à une température trop élevée, il suffit d'obtenir la fusion du zinc. Il faut également éviter d'agiter le métal liquide afin de réduire la surface de contact zinc-dioxygène de l'air.

### 1.4.2. Traitement préalable de l'acier : fluxage

Afin de permettre un mouillage satisfaisant de l'acier par le zinc, il faut éviter la présence d'oxydes à la surface de l'acier. Pour cela, il est nécessaire de recouvrir la surface de l'acier, avant galvanisation, par une solution de fluxage : on plongera, pendant quelques secondes, sans rinçage ultérieur, la plaque d'acier dans une solution aqueuse contenant, pour 100 mL de solution, 55 g de  $ZnCl_2$  et 45 g de  $NH_4Cl$ . Le même bœcher peut être utilisé par toute une classe. La plaque recouverte de flux est ensuite séchée à l'aide d'un sèche-cheveux afin d'éviter d'éventuelles projections de zinc lors de la galvanisation.

Le fluxage est la dissolution, à haute température, d'une couche d'oxyde métallique par un sel. Le fluxage sera en fait réalisé lorsque la plaque d'acier sera plongée dans le bain de zinc : la température de la plaque s'élèvera, les chlorures de zinc et d'ammonium dissoudront l'oxyde ou l'empêcheront de se former.

Dans le cas d'un revêtement de zinc, il est possible d'obtenir un résultat satisfaisant en évitant l'opération de fluxage ce qui n'est pas le cas pour un revêtement d'étain. Le fluxage ne pourra, pour l'acier galvanisé, qu'améliorer la qualité du dépôt et il est systématiquement employé dans les opérations industrielles.

### 1.4.3. Galvanisation

Plonger la plaque d'acier tenue par une pince métallique dans le bain de zinc en ayant pris soin de repousser, à l'aide d'une spatule, l'oxyde formé à la surface du zinc sur les côtés du creuset et la laisser environ une minute. La galvanisation, avec formation des alliages à l'interface Fe-Zn, est réalisée très rapidement. Laisser refroidir, à l'air, la plaque galvanisée.

### 1.4.4. Complément d'expérience : détermination de l'épaisseur du dépôt de zinc

#### Matériel nécessaire

– Balance au mg.

Peser la plaque d'acier avant fluxage et après galvanisation, en déduire la masse de zinc déposé. Après mesure de la surface revêtue, donner l'épaisseur de la couche de zinc (penser à tenir compte d'une galvanisation sur les deux faces de la plaque et ne pas tenir compte du zinc déposé sur la tranche). Dans nos conditions expérimentales nous avons obtenu des épaisseurs comprises entre 50 et 70  $\mu m$ .

## 2. L'ACIER ÉLECTROZINGUÉ

L'électrozingage en continu concerne principalement les tôles destinées à l'automobile, cette industrie utilisant également des tôles galvanisées. Dans ce marché, le moindre coût, le contrôle précis de l'épaisseur, de la composition et de l'aspect, font que ce procédé est parfois préféré à la galvanisation à chaud. Il s'est, en particulier, considérablement développé depuis 1980. Le procédé d'électrozingage est également employé pour revêtir divers produits finis : de la vis jusqu'au caddy de supermarché ou des demi-produits tels que les tôles destinées à l'électroménager.

L'épaisseur de zinc déposé est, de 7 à 10  $\mu\text{m}$  et il est aisé de recouvrir seulement une face ou de revêtir les deux faces d'une tôle par des épaisseurs différentes. Contrairement à la galvanisation à chaud, il ne se forme pas d'alliages à l'interface acier-zinc. Si la propreté de la bande d'acier avant électrodéposition est satisfaisante et si la formation du dépôt s'est effectuée dans de bonnes conditions, les dépôts obtenus sont adhérents.

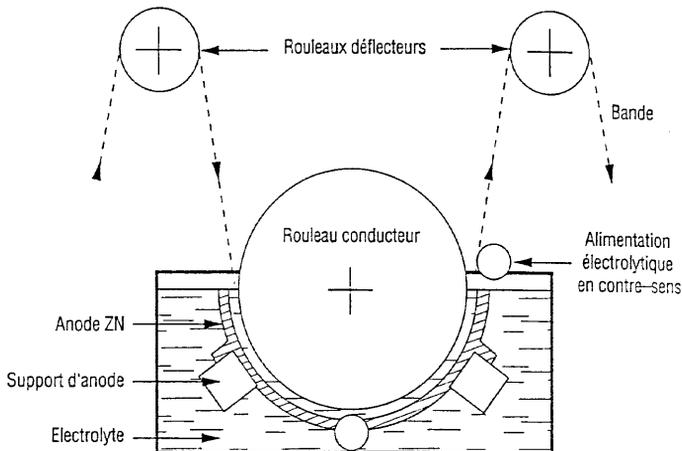
### 2.1. Procédé industriel d'électrozingage de demi-produits [7 à 9]

De très nombreux procédés existent que ce soit au niveau des bains utilisés ou de la technologie employée. Nous nous limiterons à la description du procédé acide aux chlorures et de la ligne ELSA de Sollac à Florange en Moselle.

Après les opérations de dégraissage et décapage d'une bande d'acier préalablement recuite, celle-ci passe dans une série de huit ou seize cuves d'électrolyse. Dans le procédé Carosel utilisé par Sollac à Florange, la bande d'acier est appliquée sur un rouleau conducteur constituant la cathode, les anodes solubles en zinc pur (99,99 %) épousent la forme du cylindre conducteur, l'électrolyte circule à contre courant par rapport à la bande d'acier (figure 2). L'absence d'électrolyte au contact de la face appliquée sur le cylindre empêche son zingage. Si un zingage des deux faces est souhaité, un retournement de la bande est effectué avant une nouvelle électrolyse. La vitesse de la bande est d'environ  $150 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Après dépôt, la bande est rincée à l'eau, séchée puis huilée.

L'électrolyte peut être à base de chlorure de zinc (teneur en  $\text{Zn}^{2+}$  de quelques dizaines de  $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), en présence de divers ajouts qui améliorent la qualité du dépôt (nivelants, brillanters...). La densité de courant est d'environ  $5 \text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$  et la vitesse de dépôt d'environ  $1 \mu\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Le zinc consommé à la cathode lors du dépôt (par réduction des ions  $\text{Zn}^{2+}$ ) est régénéré à l'anode par dissolution (oxydation du zinc en ions  $\text{Zn}^{2+}$ ). Le zinc peut se déposer sur l'acier car la surtension du dihydrogène sur l'acier est importante. En début d'électrolyse le zinc se dépose simultanément avec un dégage

de dihydrogène, ce dernier cessant dès que le zinc recouvre totalement l'acier, la surtension du dihydrogène sur le zinc étant encore plus élevée.



**Figure 2** : Schéma d'une cellule d'électrodéposition de zinc (cellule Carosel développée par US Steel) [9].

## 2.2. Réalisation expérimentale d'un électrozincage

### Matériel et produits

- Alimentation continue de 6 V ou pile de 4,5 V.
- Un bécher de 250 mL.
- Agitateur magnétique (facultatif).
- Plaque d'acier dégraissée et décapée (voir expérience précédente).
- Plaque de zinc.
- Sulfate de zinc,  $\text{ZnSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$ .
- Acide borique,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ .
- Dextrine.
- Chlorure de potassium.
- Alcool polyvinylique.

### Risques et précautions particuliers

- Aucun.

### 2.2.1. Solution d'électrolyte

Pour une solution de 100 mL, dissoudre dans de l'eau distillée ou déminéralisée, 16,5 g de sulfate de zinc, 10 g de KCl, 3 g d'acide borique, 0,3 g de dextrine et quelques grains d'alcool vinylique. Vérifier que le pH est compris entre 4,5 à 6, sinon l'ajuster à l'aide d'acide borique et de soude diluée.

### 2.2.2. Électrodes

Relier la plaque d'acier au pôle négatif et la plaque de zinc au pôle positif de l'alimentation continue.

### 2.2.3. Électrolyse

Réactions aux électrodes :

– à l'anode :  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^-$

– à la cathode :  $\text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$

Le zinc consommé à l'anode (observer après quelques électrolyses la diminution de l'épaisseur de la plaque de zinc) se dépose sur la cathode. Pour obtenir un dépôt de zinc d'épaisseur satisfaisante une durée d'électrolyse de dix minutes suffit, en opérant à la température ambiante.

### 2.2.4. Complément d'expérience : détermination de l'épaisseur du dépôt de zinc

#### Matériel nécessaire

– Balance au mg.

Peser la plaque d'acier avant et après électrolyse puis séchage. En déduire l'épaisseur de zinc déposé. Dans nos conditions expérimentales nous avons obtenu un dépôt de 10  $\mu\text{m}$ .

## 3. ASPECTS ÉCONOMIQUES DU ZINGAGE [10 à 12]

Dans les pays industrialisés, le coût annuel de la corrosion de l'acier est estimé à une valeur comprise entre 2,5 à 4 % du produit national brut (PNB) soit, pour la France, 3500 francs par habitant.

La protection de l'acier par galvanisation ou électrozingage est la principale utilisation du zinc (tableaux 3 et 4).

Secteurs d'utilisation	Monde occidental	Europe	France
Protection anticorrosion	49 %	32 %	42 %
Demi-produits en laiton	19 %	28 %	14 %
Alliages pour fonderie	14 %	15 %	12 %
Chimie	9 %	12 %	7 %
Laminés de zinc	7 %	12 %	24 %
Divers	2 %	1 %	2 %
Consommation totale en 10 <sup>3</sup> t	6 358	2 431	415

**Tableau 3 :** Consommations et secteurs d'utilisation du zinc en 1995 [10, 12].

Consommation de zinc	Tôles	Produits finis	Fils	Tubes
162 300 t	103 500	46 000	11 600	1 200

**Tableau 4 :** Consommation de zinc, en France, en 1995, dans la galvanisation à chaud de divers produits [12]. L'électrozingage a consommé 12 200 t de zinc.

Les produits galvanisés après fabrication sont extrêmement variés : charpentes, pylônes électriques, candélabres d'éclairage public, serres, structures de véhicules automobiles, réservoirs, boulons, écrous... Le tableau 5 donne l'importance relative des divers secteurs d'utilisation.

	France	Europe
Bâtiment - Construction	36 %	40 %
Mobilier urbain	19 %	16 %
Énergie	14 %	11,5 %
Équipement industriel	9 %	14 %
Agriculture - Élevage	12 %	9 %
Transport	7 %	5 %
Visserie	3 %	5 %

**Tableau 5 :** Répartition des secteurs d'utilisation de l'acier galvanisé après fabrication en 1995 [11].

Le tonnage d'acier galvanisé après fabrication, en France, est, en 1994, de 621 584 tonnes, celui des tôles galvanisées en continu de 2,052 millions de tonnes, celui des fils galvanisés de 241 000 tonnes et celui des tubes de 16 400 tonnes. Au total, avec l'acier électrozingué et les différents autres procédés de protection à l'aide de zinc, en France, chaque année, environ 3,5 millions de tonnes d'acier sont protégées contre la corrosion par plus de 170 000 tonnes de zinc.

En 1992, dans l'Union Européenne (à douze) il y a cinquante lignes de galvanisation en continu et vingt-cinq lignes d'électrozingage.

En France, les lignes de galvanisation en continu, exploitées par Sollac, sont situées à Montataire (trois lignes, Oise), Florange (Moselle), Desvres (Pas-de-Calais) et Strasbourg (Bas-Rhin). La ligne de Mouzon (Ardennes) qui produit principalement de la tôle aluminée produit également de la tôle galvanisée. La Fabrique de Fer de Maubeuge (FFM) exploite une ligne à Louvroil (Nord) ainsi que la société Haironville (division Galvameuse) à Revigny-sur-Ornain (Meuse).

Les lignes d'électrozingage sont exploitées par Sollac à Mardyck (Nord) et Florange (Moselle) et par Cockerill (Aciéries et Laminoirs de Beautor) à Beautor (Aisne).

En France, les usines de galvanisation de produits finis sont réparties sur le territoire (figure 3 et tableau 6 en annexe).

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier pour leur aide les techniciens du département de chimie de l'ENS de Cachan ainsi que les étudiants en première année (1993-94) de l'ENS de Cachan et du Magistère de Physico-chimie Moléculaire de l'Université d'Orsay qui ont bien voulu tester quelques expériences.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] J.-L. VIGNES, M. ABDRAHAB et J.-M. BABY : «*Une vie de zinc : les minerais de zinc et leur grillage*», B.U.P. n° 766, juillet-août-septembre 1994.
- [2] J.-L. VIGNES, M. ABDRAHAB, J.-M. BABY et C. EUSEBE : «*Une vie de zinc : l'hydrometallurgie des minerais de zinc*», B.U.P. n° 770, janvier 1995.
- [3] J.-L. VIGNES, M. ABDRAHAB, D. JALASJA, H. CORDIER, M. TOURAULT, S. MARTIN et F. MAISONNEUVE et P. PIESSEN : «*Une vie de zinc : quelques propriétés chimiques du zinc et son recyclage*», dans ce B.U.P.
- [4] D. QUANTIN : «*Galvanisation à chaud*», Techniques de l'Ingénieur.
- [5] «*La galvanisation à chaud après fabrication*», Galvazinc Association - 92038 Paris La Défense Cedex.
- [6] M. BABBIT : «*Les produits revêtus à chaud*», La chimie des matériaux, ENS Cachan, 1995.

- [7] P. PIESSSEN : «*Zingage*», Techniques de l'Ingénieur.
- [8] J. KELLER, M. SARDOY et E. CHAUVEAU : «*Les revêtements électrolytiques*», Le livre de l'acier, Sollac, Tec & Doc, Paris, 1994.
- [9] M. FRANÇOIS et D. DEPARIS : «*Les revêtements*», Le livre de l'acier, Sollac, Tec & Doc, Paris, 1994.
- [10] J.-L. VIGNES, G. ANDRÉ et F. KAPALA : «*Données industrielles, économiques, géographiques sur des produits chimiques (minéraux et organiques), métaux et matériaux*», sixième édition, 1994, Union des Physiciens et Centre de Ressources Pédagogiques en Chimie : Économie et Industrie - EXC-1 (ENS de Cachan).
- [11] M. PIERRE, B. WOJCIEKOWSKI et P. PIESSSEN : «*La protection anticorrosion de l'acier par galvanisation*», La chimie des matériaux, ENS Cachan, 1995.
- [12] «*Le marché du zinc et du cadmium en France et dans le marché en 1995*», Chambre Syndicale du zinc et du Cadmium - 30, avenue de Messine - 75008 PARIS.

**Annexe**  
**Sociétés de galvanisation de produits finis**  
*(adhérentes à Galvazinc Association)*

---

<b>Société</b>	<b>Adresse</b>
A.C.G.R. Rosult	1, place de la Gare - 59230 ROSULT
Achard	11, boulevard Monge - Zone Industrielle - 69330 MEYZIEU
Arbel-Cofimeta	194, boulevard Faidherbe - B.P. 650 - 59506 DOUAI Cedex
Bieber	40, rue du Général Leclerc - 67320 DRULINGEN
Européenne de Galvanisation	30, rue du Vingtième Bataillon - 54120 BACCARAT
FAV-LCAB	42, rue de la Meuse - 08120 BOGNY-SUR-MEUSE
France Galva Lorraine	Zone Industrielle - 57340 MORHANGE
Frenehard et Michaux	La Mousse - B.P. 171 - 61305 L' AIGLE Cedex
Galva-Med	Zone Industrielle du Pont - 13750 PLAN D'ORGON
Galva 45	Route Nationale 152 - 45300 ESCRENNES
Galva 60	B.P. 15 - 60340 SAINT-LEU-D'ESSEMENT
Galvacier	Rue Y. Bongars - B.P. 1 - 81370 SAINT-SULPICE
Galvader	Zone Industrielle Le Bec - B.P. 77 - 42501 LE CHAMBON-FEUGEROLLES
Galva Éclair	Zone Industrielle du Pont Pannay - 03500 SAINT-POURÇAIN
Galva Express	52, avenue du Maréchal Leclerc - 10121 SAINT-ANDRÉ-LES-VERGERS Cedex
Galvalandes	Usine de Sarbazan - 40120 ROQUEFORT
Galvalek	Rue du Poirier - 14650 CARPIQUET
Gal'Valence	Quartier Fontaine - B.P. 16 - 26120 CHABEUIL
Galvamaine	Zone Industrielle route de la Boorie - B.P. 10 - 53700 VILLAINES-LA-JUHEL
Galvamétal	Boulevard de l'Industrie - Zone Industrielle d'Écouflant - 49000 ANGERS
Galvanisation de l'Artois	437, chemin de Noyelles - 62110 HENIN-BEAUMONT
Galvanisation du Cambrésis	Champ de la Cheminée - B.P. 11 - 59980 HONNECHY
Galvanisation C. Gaillard	Zone Industrielle La Péronnière - 42320 LA GRAND CROIX
Galvanisation Gilhac	Route de Pussemange - B.P. 5 - 08700 GESPUNSART
Galva S.O.	Avenue de Canéjan - B.P. 14 - 33602 PESSAC Cedex

Galvatlantique	Rue de Québec - Zone Industrielle Chef de Baie - 17043 LA ROCHELLE
G.T.S.	4, rue des Forges - Zone Industrielle Nord - 86200 LOUDUN
Matra Automobile	1, faubourg Saint Roch - 41200 ROMORANTIN
Nordgalva	Zone Industrielle - 6, rue du Marais Sec - 60180 NOGENT-SUR-OISE
Safam SNC	B.P. 505 - 64105 BAYONNE Cedex
SOBAT	B.P. 3008 - 34513 BÉZIERS
Société Bretonne Galvanisation	La Chapelle Caro - 56460 SERENT
Société Nantaise Galvanisation	4, rue de l'Europe - Zone Industrielle - B.P. 5804 - 44470 CARQUEFOU
SOPIGA	B.P. 15 - 60340 SAINT-LEU-D'ESSEMENT
Technilor	16, rue de Boussange - B.P. 55 - 57302 HAGONDANGE Cedex
Techniques Leroy	Zone Industrielle - B.P. 35 - 62452 BAPAUME Cedex

Tableau 6



Figure 3 : Répartition des usines de galvanisation après fabrication, en France.