

**BIBLIOTHÈQUE DE L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE**

Directeur : L. PASTOURIAUX, Inspecteur général de l'Enseignement technique

**ÉCOLES NATIONALES PROFESSIONNELLES  
COURS PROFESSIONNELS - ÉCOLES TECHNIQUES**

---

L. PASTOURIAUX

A. VAROQUAUX

M. BELLIER

# **ÉLECTRICITÉ INDUSTRIELLE**

**Courant continu**



**LIBRAIRIE DELAGRAVE  
15, Rue Soufflot, Paris**



## Applications industrielles de l'électrolyse : Dépôts métalliques adhérents. Galvanoplastie.

### 1. Dépôts métalliques adhérents.

Pour protéger certains objets métalliques contre l'oxydation et leur donner en même temps un aspect agréable, on les recouvre par électrolyse d'une couche mince (0,001 à 0,025 mm) d'un métal peu altérable, voire d'un métal précieux. C'est le but du *nickelage*, du *chromage*, du *coballage*, du *cadmage*, de l'*argenture*, de la *dorure*.

Il faut que le métal déposé adhère solidement au métal sous-jacent et que le dépôt ait belle apparence.

1. La qualité d'un dépôt électrolytique dépend de nombreux facteurs.

1<sup>o</sup> De l'état de la surface du corps sur lequel on effectue le dépôt : cette surface doit être rigoureusement propre, sans traces d'oxydation ni de graisse. On commence donc par polir, décaper, dégraisser l'objet à métalliser.

Nickel, argent et or n'adhèrent bien qu'au cuivre. Si donc l'objet est en fer ou en zinc, il convient de le cuivrer.

Le chromage se fait sur nickelage préalable.

2<sup>o</sup> De la composition du bain d'électrolyse. Cette composition est complexe en général, sans que l'on puisse souvent expliquer le rôle de tel ou tel constituant.

3<sup>o</sup> De la densité du courant. Les faibles densités donnent des dépôts très adhérents, mais le métal cristallisé est de vilain aspect. Si l'intensité est grande, le dépôt se fait en une boue non adhérente.

4<sup>o</sup> De la température du bain. Les résultats obtenus sont souvent meilleurs si l'électrolyte est un peu chauffé.

1. A étudier au début de la 3<sup>e</sup> Année des ENP.

Il y a intérêt aussi à brasser le bain en y soufflant de l'air ou en le faisant circuler dans la cuve et l'obligeant à traverser des filtres.

2. La préparation des pièces qui doivent recevoir les dépôts métalliques exige beaucoup de soins.

Elle comporte des opérations mécaniques et chimiques.

a) *Préparation mécanique.* — Les pièces venant de fabrication sont polies, d'abord avec des disques de bois ou de cuir émerisés, puis avec du drap imprégné d'un abrasif à grain très fin.

b) *Préparation chimique.* — Le dégraissage s'obtient en plongeant la pièce dans une solution chaude de carbonate de sodium à laquelle on ajoute de la chaux, ou dans une solution de soude caustique.

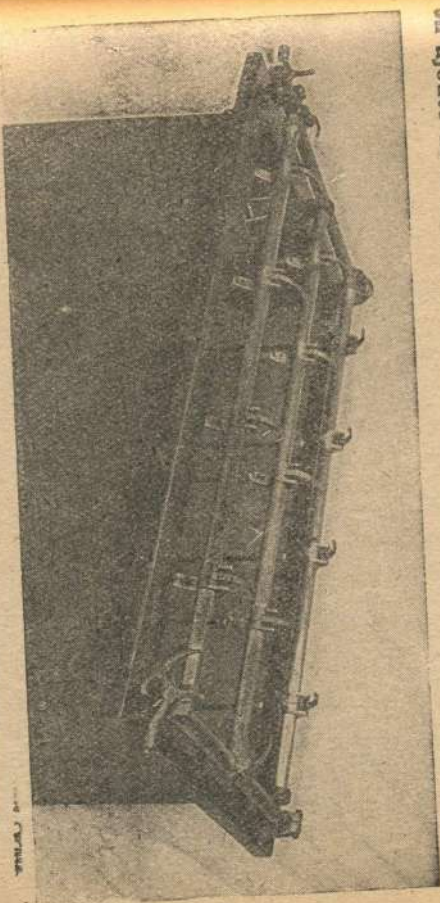


Fig. 1. — Cuve à électrolyse équipée avec des dispositifs auto-serreurs assurant de bonnes connexions.

A chaque bout de la cuve est une barre isolée par laquelle le courant est amené. Trois barres parallèles aux grands côtés de la cuve supportent : celle du milieu, les objets à métalliser (barre cathode) ; celles des bords, les anodes (barres anodes). Chaque barre, cathode ou anode, est connectée, à l'une de ses extrémités, à l'une des barres d'amenée du courant.

On préfère actuellement dégraisser par électrolyse. Les pièces sont mises comme cathodes dans une solution de soude caustique (5 %) et de cyanure de sodium 1 (4 %) avec une densité de courant de 7 à 10 ampères par décimètre carré (A/dm<sup>2</sup>).

Les objets, rincés à l'eau courante, sont décapés dans de l'acide chlorhydrique (10 %), lavés et transportés dans le bain où se fait le dépôt.

1. Le cyanure de sodium ou de potassium est un poison très violent, fort dangereux à manipuler.



Les différentes opérations, électrolytiques ou non, sont effectuées dans des cuves disposées les unes à côté des autres, en *train*, dans l'ordre des opérations que les pièces ont à subir.

Une barre cathode, portant les objets à métalliser, subit toute la gamme des opérations, jusqu'à un poste terminus où elle est dégarnie. Elle est ensuite regarnie d'objets et remise en circuit.

Pour les petites productions, le transport des barres cathodes d'une cuve à la suivante est opéré à la main. Pour les productions importantes, il est effectué par des appareils de manutention semi-automatiques.

Les cuves ont une largeur et une profondeur standards et une longueur proportionnée à la durée de l'opération.

**3. Cuirage.**

Le sulfate de cuivre en solution ne peut servir que pour les métaux (aiton, plomb) qui ne précipitent pas le cuivre de ses sels. Pour cuirer le zinc, le fer, l'acier, on emploie de l'acétate, du tartrate ou du cyanure de cuivre auxquels on ajoute du cyanure de sodium (au total environ 150 grammes de sels par litre).

La densité du courant atteint 0,5 A/dm<sup>2</sup> de surface à cuirer. L'anode est une plaque de cuivre rouge.

Dégraissage électrolytique et cuirage s'effectuent parfois en une seule opération en mélangeant dans le même bain soude, cyanure de cuivre et cyanure de sodium.

**4. Nickelage.**

Un bain de nickelage est fait de :

Sulfate de nickel.....	220 grammes par litre.
Chlorure de nickel.....	20 grammes par litre.
Acide borique .....	20 grammes par litre.

Il est chauffé à 35°. La densité de courant est de 5 à 10 A/dm<sup>2</sup>. L'anode est constituée par des plaques de nickel pur.

La suite des opérations est la suivante :

- Dégraissage-cuirage.
- Rinçage en eau courante.
- Attaque en solution chlorhydrique.
- Rinçage répété en eau courante.
- Nickelage à chaud en bain agité et filtré.
- Rinçage en eau froide et eau chaude.
- Séchage en étuve.

Le nickelage se fait aussi à froid, beaucoup plus lentement, avec une densité de 0,5 A/dm<sup>2</sup>.

**5. Chromage.**

Les pièces sont d'abord nickelées.

Le bain de chromage se prépare avec 250 grammes par litre d'anhydride chromique (CrO<sub>3</sub>) et 30 grammes d'acide sulfurique. Il est chauffé

vers 30°. L'anode est insoluble, généralement en plomb. La densité de courant est de 10 à 15 A/dm<sup>2</sup>.

Des vapeurs dangereuses d'hydrogène et d'anhydride chromique se dégagent de la cuve, il faut les évacuer avec un ventilateur.

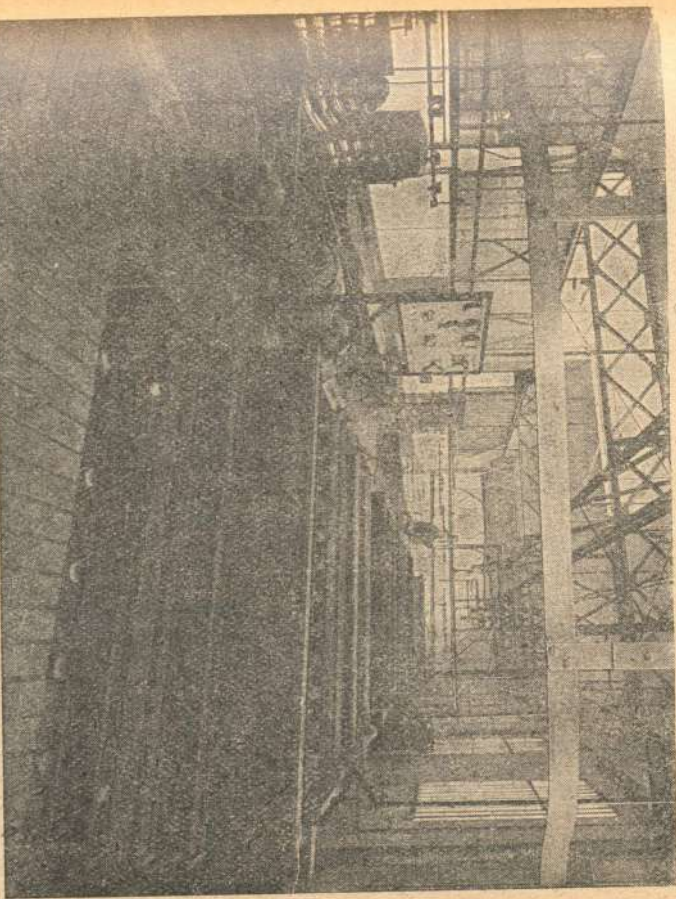


Fig. 2. — Train semi-automatique de nickelage et de chromage.

Les cuves sont disposées dans l'ordre de leur utilisation. Elles sont isolées électriquement du sol au moyen de blocs de porcelaine afin d'éviter la circulation des courants parasites qui se transmettent par la terre. Remarques à gauche les dynamos génératrices et un tableau de distribution; et, au-dessus des cuves, les rails pour le transport des barres cathodes d'une cuve à la suivante.

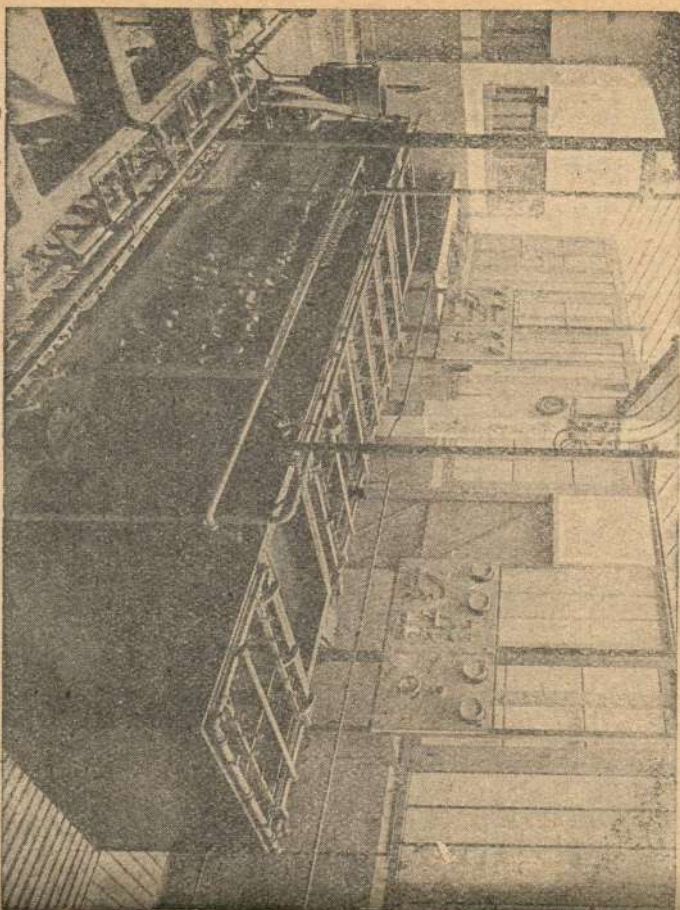
On réalise des dépôts de nickel et de chrome ayant jusqu'à 2 millimètres d'épaisseur s'il est nécessaire pour recharger des pièces mécaniques usées. Ces dépôts sont très durs et résistent bien à l'usure. La recharge au chrome de calibres à tolérance est une opération courante dans certaines usines.

Le nickelage et le chromage sont actuellement très employés. La fig. 2 représente un train semi-automatique de nickelage et de chromage.



## 6. Argenture.

L'argent adhère mieux au cuivre sous-jacent si le cuivre a été un peu amalgamé. C'est après dégraissage que les objets en cuivre ou cuivrés sont plongés pendant quelques secondes dans une dissolution à 1 % de



Cliché de la Société Française

Fig. 3. — *Trais de nickelure pour objets volumineux, tels que chauffe-bains, réservoirs de motocyclette, membranes en tubes, calendres de radiateurs.*

Observer les anodes disposées longitudinalement et transversalement, pour obtenir une répartition judicieuse du courant, assurant un dépôt métallique d'épaisseur uniforme.

nitrate de mercure. Ils blanchissent rapidement. On les rince et on les porte dans le bain d'argenture.

Ce bain est une dissolution de cyanure double d'argent et de potassium à 10 grammes par litre. L'anode est une plaque d'argent pur. La densité de courant est de 0,5 A/dm<sup>2</sup>.

Le dépôt obtenu est mal. On le rend brillant en le frottant avec un brunissoir d'acier.

## 7. Dorure.

Le bain est une solution de chlorure d'or et de cyanure de potassium (par litre : 3 à 5 grammes de chlorure d'or, 5 à 7 grammes de cyanure).

L'anode est un fil de platine. L'électrolyse se pratique vers 70° avec une densité de courant de 0,1 A/dm<sup>2</sup>.

## II. Galvanoplastie.

8. La galvanoplastie permet de fabriquer des objets métalliques par électrolyse.

Proposons-nous de reproduire, en cuivre, l'une des faces d'une médaille.

a) *Moulage.* Nous prenons une empreinte de la médaille avec de la cire, ou de la gutta-percha, ou du plâtre fin gâché très clair. La médaille a été huilée au préalable pour que le moule n'y adhère pas.

b) *Métallisation du moule.* — Pour que le moule puisse servir de cathode, il faut que sa surface au moins soit conductrice. Nous la frottons avec de la plombagine.

c) *Production du dépôt.* — Dans une solution de sulfate de cuivre au dixième, acidulée par un peu d'acide sulfurique, nous plongeons une anode en cuivre et le moule qui sert de cathode. La densité du courant est d'abord, maintenue très faible (0,2 A/dm<sup>2</sup> de cathode), puis portée à 2 ou 3 A/dm<sup>2</sup>. La source de courant est une pile ou un élément d'accumulateur. Nous obtenons un dépôt de 1 millimètre d'épaisseur en 6 heures.

C'est par un procédé analogue que l'on fabrique les clichés d'imprimerie à partir des planches gravées, ou les moules pour disques de phonographe. Au lieu de cuivre, on peut déposer un métal plus dur : du fer ou du nickel.

## III. Rendement des électrolyses industrielles

9. Les bains d'électrolyse sont généralement, comme nous venons de le voir, des mélanges d'électrolytes. Le courant qui les traverse libère parfois, avec le métal dont on cherche le dépôt, de l'hydrogène produit par l'action sur l'eau du bain du potassium ou du sodium qui tendent à se former à la cathode.

Il en résulte que pour obtenir le dépôt d'une valence-gramme du métal désiré, il faut faire passer dans la cuve plus que les 96 500 coulombs théoriquement nécessaires. Le rapport du poids du métal effectivement déposé au poids théorique correspondant à la quantité d'électricité utilisée est le rendement de l'opération.

Ce rendement est particulièrement faible pour le chromage : il ne dépasse pas 12 à 15 %.

Pour l'*affinage électrolytique du cuivre*, il atteint 95 %.

10. L'épaisseur des dépôts usuels de nickelage et de chromage est très faible : elle est de l'ordre de 50 microns pour un nickelage soigné sur cuivre, dont 25 de nickel ; une couche de chrome de 1 micron peut être considérée comme suffisante.



## Exercices.

1. Un bon dépôt d'argent correspond à  $3,5 \text{ g/dm}^2$ . Combien dure l'électrolyse qui produit ce dépôt avec une densité de courant de  $0,5 \text{ A/dm}^2$ ? On admet que le rendement de l'opération est 100 %.
2. Une opération de chromage dure 10 minutes avec une densité de courant de 7 ampères par  $\text{dm}^2$ . Le chrome est trivalent, sa masse atomique est 52, sa densité  $6,92 \text{ g/cm}^3$ . Quelle est l'épaisseur de la couche de métal déposée. Le rendement est 12 %.
3. L'intensité étant de  $0,5 \text{ A/dm}^2$  de surface de cathode, une épaisseur de 1 centième de millimètre de nickel est obtenue en deux heures dans une opération de nickelage à froid. Quel est le rendement de l'opération? Le nickel est bivalent, sa masse atomique est 58, sa densité  $8,6 \text{ g/cm}^3$ .
4. La production prévue d'un atelier de nickelage est de 2 kg de nickel par journées de 8 heures. De quelle intensité de courant faut-il disposer?
5. On désire recouvrir l'une des faces d'une plaque de cuivre de  $200 \times 250 \text{ mm}$  d'une couche d'argent de  $0,1 \text{ mm}$  d'épaisseur. L'argent a pour densité  $10,5 \text{ g/cm}^3$ , son poids atomique est 108, il est monovalent. Le rendement de l'électrolyse est 0,75. L'opération nécessitera combien d'ampères-heures?  
Pour que le dépôt soit bien adhérent, une densité de courant de  $0,5 \text{ A}$  par décimètre carré est recommandée. Combien de temps durera l'électrolyse?
6. Quand on affine le cuivre brut, pour éviter le dépôt des divers métaux constituant des impuretés, on ne dépasse pas une tension de  $0,5 \text{ V}$  par bac, produisant une densité de courant de  $2 \text{ A/dm}^2$ . Les cathodes sont retirées des cuves quand l'épaisseur du cuivre déposé atteint  $2 \text{ cm}$ . L'électrolyse se continue nuit et jour, son rendement atteint 0,95.  
Calculer :  
1<sup>o</sup> Combien de temps une cathode reste dans le bac à électrolyse ;  
2<sup>o</sup> Quelle est l'énergie électrique consommée dans le bac pour affiner 1 kg de cuivre ?  
Le cuivre a pour densité  $8,8 \text{ g/cm}^3$ , son poids atomique est 63, il est divalent.

## 4. — ACTIONS CALORIFIQUES DU COURANT

12<sup>e</sup> LEÇON

### Énergie électrique. Différence de potentiel : Volt.

1. Le courant électrique peut fournir de l'énergie sous diverses formes.

Un courant électrique peut, à volonté, dans des récepteurs appropriés, fournir :

- 1<sup>o</sup> De l'énergie calorifique ou chaleur, par échauffement de conducteurs convenablement choisis;
- 2<sup>o</sup> De l'énergie chimique, en provoquant des décompositions chimiques dans des cuves à électrolyse;
- 3<sup>o</sup> De l'énergie mécanique ou travail mécanique, en faisant tourner des moteurs électriques.

Dans les récepteurs calorifiques, le courant électrique produit seulement de la chaleur, alors que dans les autres récepteurs la production d'énergie chimique ou de travail mécanique s'accompagne toujours d'un dégagement de chaleur plus ou moins important.

C'est donc dans une portion de circuit où ne se manifestent ni phénomènes chimiques ni phénomènes mécaniques que nous pourrions le plus commodément mesurer l'énergie fournie par un courant électrique : s'agit alors d'une simple mesure calorimétrique.