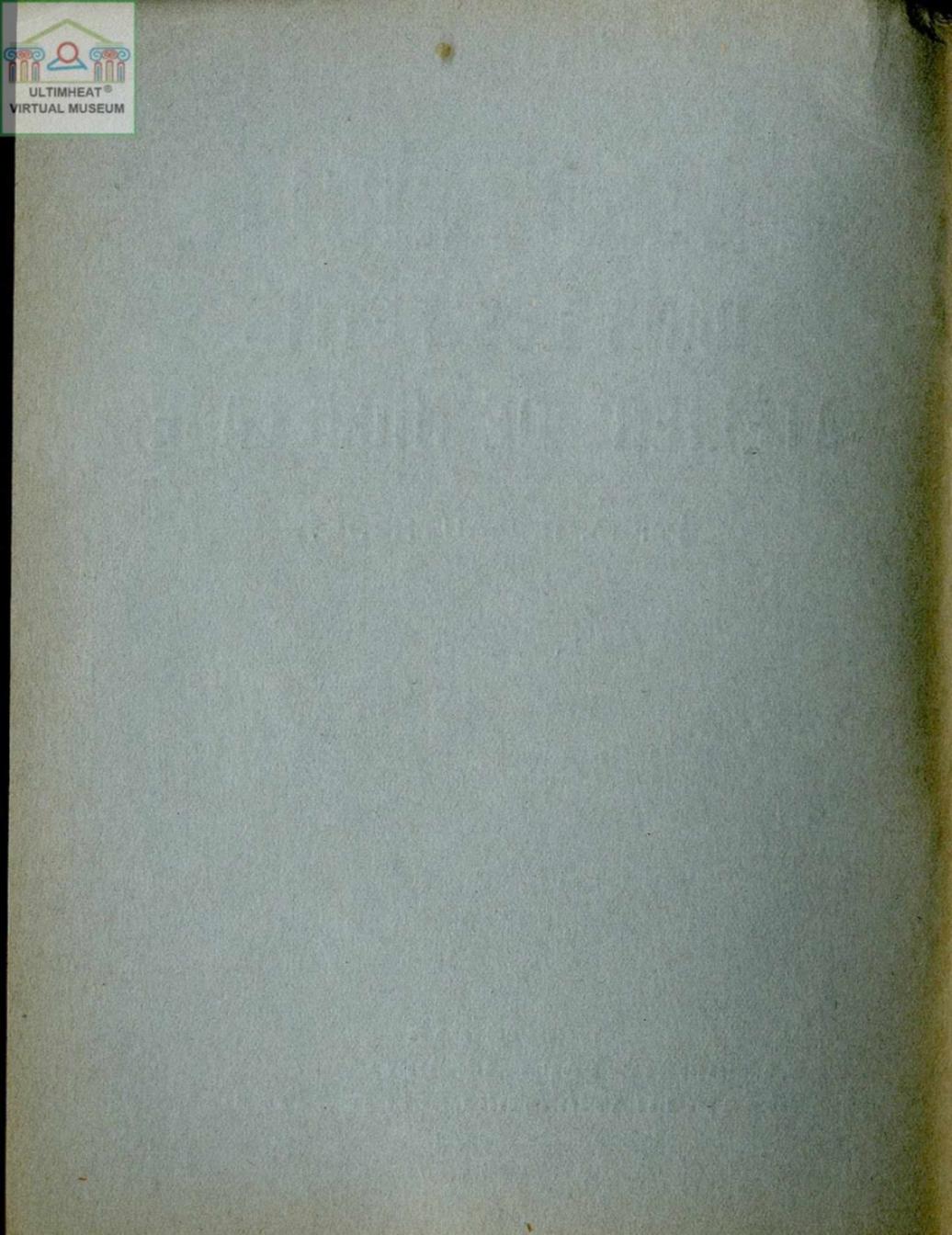


L'ÉLECTRICITÉ DANS LES PETITS ATELIERS DE NICKELAGE

Par M. R. GAUTHERET

ÉDITÉ PAR
LA SOCIÉTÉ POUR LE DÉVELOPPEMENT
DES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ APEL



L'électricité dans les petits ateliers de nickelage⁽¹⁾

Par M. R. GAUTHERET

SOMMAIRE

- A) *Rappel sommaire de quelques notions sur l'électroplastie.*
- B) *Principales opérations effectuées dans les ateliers de nickelage.*
 - B 1) *Préparation et finition des pièces.*
 - B 2) *Électrolyse.*
 - B 3) *Conclusion.*
- C) *Principales applications de l'électricité dans les ateliers de nickelage.*
 - C 1) *Éclairage.*
 - C 2) *Force motrice.*
 - C 3) *Usages thermiques.*
- D) *Données d'exploitation.*
- E) *Conclusion.*

(1) *Étude parue dans la revue Électricité juillet, août, octobre, novembre 1937. Éditions de « Science et Industrie » 29, rue de Berri — Paris (8^e).*

L'ÉLECTROLYSE a pris dans l'industrie une place importante et son domaine s'étend chaque jour. Parmi ses applications, nous ne retiendrons que l'*électroplastie*. Encore ne traiterons-nous plus particulièrement que des petits ateliers d'électrolyse, communément dénommés « ateliers de nickelage » et où l'on effectue, le plus couramment, des opérations de cuivrage, laitonnage, nickelage, chromage, etc.

D'une manière générale, l'électroplaste se propose :

1° Soit d'assurer la protection des objets métalliques contre tous agents destructeurs (humidité, gaz, acides, tous autres agents chimiques), et plus particulièrement contre l'oxydation (exemples : cadmiage, zincage) ;

2° Soit de réaliser le décor des métaux (exemple : dorure) ;

3° Soit d'augmenter la protection contre l'usure mécanique (exemple : chromage à épaisseur) ;

4° Soit d'obtenir à la fois la protection et le décor (exemples : cuivrage, nickelage, chromage).

Le but est atteint en recouvrant l'objet à protéger ou à décorer d'un dépôt électrolytique :

Dépôt mince (une ou plusieurs couches de métaux différents déposées successivement sur le métal de base) ;

Dépôt épais (dans certains cas, en particulier pour la protection contre l'usure mécanique).

Les ateliers qui nous intéressent sont :

a) Soit des ateliers d'électrolyse appartenant à de grandes usines et ne travaillant que pour les besoins de l'usine, donc faisant essentiellement du travail de série. Ce sont, dans l'ensemble de la France, les plus nombreux ;

b) Soit des ateliers d'électrolyse travaillant à façon. Dans la région parisienne, et d'une manière générale dans les grandes villes, ce sont les plus répandus.

La puissance varie, en général, entre 10 et 50 kVA et l'utilisation annuelle (rapport de la consommation annuelle d'énergie électrique à la puissance souscrite dans le cas d'alimentation par le secteur) n'est pas très élevée (entre 500 et 1 500 h par ex.). Il est difficile de déterminer la consommation globale correspondante pour l'ensemble des ateliers répartis dans toute la France. Il semble qu'elle soit de l'ordre de 25 à 30 millions de kWh.

Pour déterminer les possibilités d'utilisation de l'énergie électrique dans les « ateliers de nickelage », il faut connaître, d'une façon assez précise, la nature des opérations qui y sont normalement effectuées. Or, ces opérations peuvent être groupées d'une façon simple, en suivant les divers stades de la fabrication. Ainsi apparaîtront, en cours de route, les différentes applications de l'électricité relatives à l'éclairage et à la force motrice (que nous ne ferons que mentionner) et aux autres usages (sur lesquelles nous insisterons parce qu'elles sont plus récentes et qu'elles peuvent concourir à la diminution du prix de revient moyen ou à l'augmentation de la vente).

Il est nécessaire tout d'abord de rappeler quelques notions fondamentales relatives à l'électrolyse ou plutôt à l'électroplastie (1).

A) Rappel sommaire de quelques notions sur l'électroplastie

Définitions.

On appelle *électrolyte* toute substance conductrice qui se laisse décomposer par le courant. Le phénomène de la décomposition se nomme *électrolyse*.

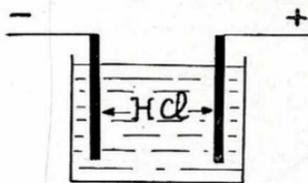


Fig. 1

Principe de l'électrolyse (2).

Phénomène principal. — Si l'on fait passer, au moyen d'électrodes inattaquables (platine), du courant continu dans une solution d'acide chlorhydrique (fig. 1), les ions d'hydrogène (ions chargés positivement ou cations) se

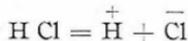
(1) On distinguait autrefois et on distingue encore quelquefois — suivant le point de vue auquel on se place — la galvanostégie et la galvanoplastie.

La galvanostégie est un procédé de recouvrement par lequel on dépose sur un métal donné une ou plusieurs couches d'un ou de plusieurs autres métaux adhérents ; exemples : cuivrage, nickelage, chromage, cadmiage.

La galvanoplastie permet de reproduire électrolytiquement en un métal déterminé (cuivre en général) un objet donné (en passant par l'intermédiaire d'un moule sur lequel se forme le dépôt que l'on sépare ensuite du moule, le plus souvent du moins). La galvanotypie est considérée comme une application particulière de la galvanoplastie (reproduction des planches typographiques).

(2) Pour la théorie complète de l'électrolyse et de l'ionisation, nous renvoyons aux ouvrages spécialisés.

portent vers la cathode (électrode négative) et les ions de chlore (ions chargés négativement ou anions) vont à l'anode. Les ions se déchargent au contact des électrodes pour donner des molécules libres qui se groupent sous forme de bulles de gaz qui se dégagent. La relation symbolique est la suivante :



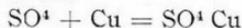
Loi fondamentale. — *Les métaux ou l'hydrogène (cas des acides) sont libérés à la cathode ; les métalloïdes ou les groupements métalloïdiques sont mis en liberté à l'anode.*

Phénomènes secondaires. — Dans certains cas, il peut y avoir des réactions secondaires provenant de l'attaque des produits de la décomposition.

a) Soit sur les électrodes. Exemple : électrolyse d'une solution de sulfate de cuivre avec une anode en cuivre.



Le cuivre se dépose à la cathode. A l'anode, le radical SO^4 se combine au cuivre pour reconstituer du sulfate de cuivre qui se dissout dans le bain.



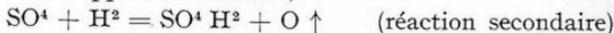
Tout se passe, en définitive, *comme si* le courant avait simplement transporté le cuivre de l'anode à la cathode.

b) Soit sur l'électrolyte.

Exemple 1. — Electrolyse d'un acide avec électrodes inattaquables.



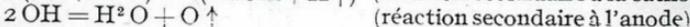
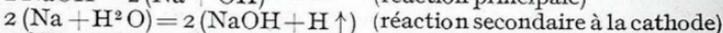
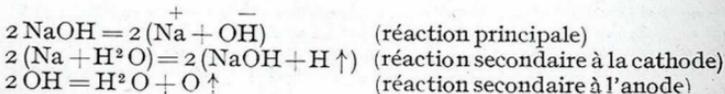
H s'échappe à la cathode ;



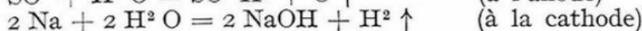
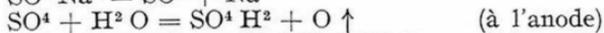
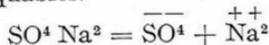
O se dégage à l'anode.

$\text{SO}^4 \text{ H}^2$ est régénéré.

Exemple 2. — Electrolyse d'une base avec électrodes inattaquables.



Exemple 3. — Electrolyse d'un sel avec électrodes inattaquables.



c) Soit sur tout autre substance se trouvant dans le bain.

Pratiquement, les sels des bains d'électrolyse sont souvent très complexes et par suite les phénomènes dits « secondaires » peuvent être très compliqués.

Loi quantitative de l'électrolyse.

Loi de Faraday. — *Le poids de métal déposé est proportionnel à la quantité d'électricité qui a traversé l'électrolyte.* Il faut un faraday (96 570 coulombs) pour déposer un équivalent-gramme (quotient du poids atomique par la valence) d'un métal quelconque.

Soient :

\hat{p} = poids de métal déposé par le passage de 9 coulombs ;

a = poids atomique du métal ;

v = valence du métal.

On a :

$$\hat{p} = \frac{I}{96\,570} \frac{a}{v} q$$

Epaisseur du dépôt. — Soient :

P = poids de métal déposé en un temps t (en minutes) sur un objet placé à la cathode ;

e = épaisseur du dépôt (supposé uniforme) ;

V = volume du métal déposé ;

S = surface de la cathode ;

d = densité du métal déposé ;

I = intensité du courant à la cathode ;

σ = densité du courant à la cathode ;

\hat{p}' = poids de métal déposé par le passage de 1 ampère en 1 mn (60 coulombs).

On a :

$$\hat{p}' = \frac{I}{96\,570} \frac{a}{v} 60$$

$$P = \hat{p}' It = V d = Se d$$

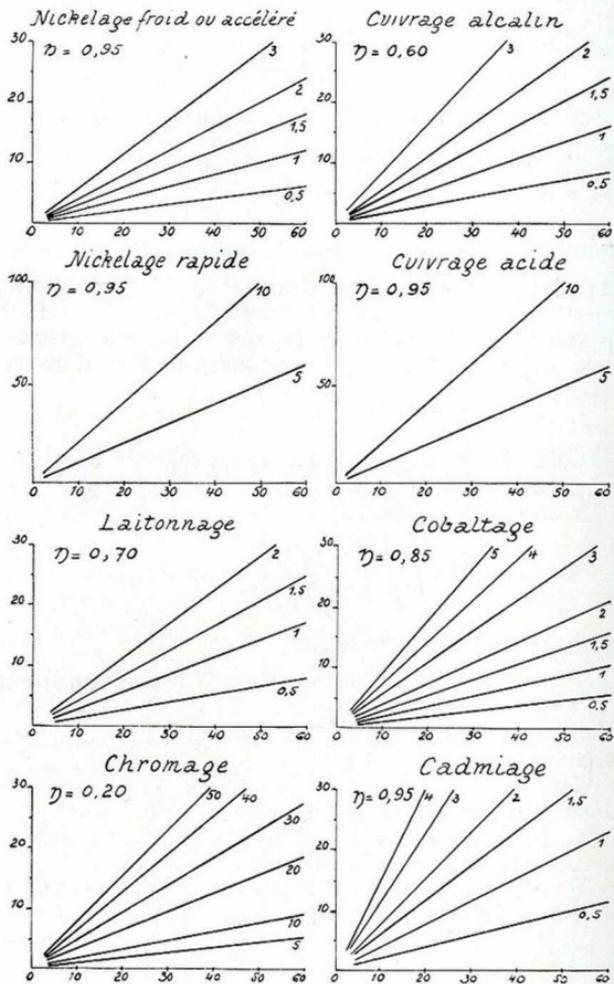


Fig. 2

D'où :

$$e = \frac{\rho' It}{St} = \frac{60}{96\,570} \frac{a}{v} \frac{1}{d} \sigma t = K \sigma t$$

$$e = K \sigma t$$

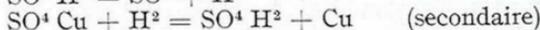
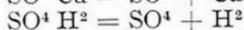
K désignant une constante pour le métal considéré :

$$\left(K = \frac{60}{96\,570} \frac{a}{v d} \right)$$

Donc, la quantité ou plus simplement l'épaisseur de métal déposé dépend de l'intensité (ou de la densité) du courant et de la durée de l'électrolyse. Elle est (théoriquement, tant que ces facteurs n'influencent pas sur le rendement dont nous allons parler) indépendante de la température, de la résistance, de la formule et de la concentration de l'électrolyte. On ne saurait trop insister sur ce résultat trop souvent méconnu.

On exprime le plus souvent e en microns, σ en A/dm², t en minutes.

Dans la pratique, on a généralement des mélanges de sels et il faut tenir compte des phénomènes secondaires. Théoriquement, les lois de Kirchhoff et de Faraday s'appliquent, sous réserve que l'on prenne la totalité du métal déposé (primaire et secondaire) et que les réactions soient totales. Exemple : soit un mélange (SO⁴ Cu + SO⁴ H²). On aura :



Si une partie de l'hydrogène de la deuxième réaction se dégage, la troisième réaction sera incomplète et le cuivre déposé sera en quantité moindre que ne l'indique la loi de Faraday.

Rendement en quantité. — On appelle rendement le rapport du métal réellement déposé à celui que donne la loi de Faraday. C'est, en somme, le rapport du courant utile (c'est-à-dire ayant concourru effectivement à la formation du dépôt de métal) au courant total, le reste du courant ayant conduit à la formation de produits divers (acides, alcalins) ou de gaz libéré, en pure perte pour l'épaisseur du dépôt. Pour fixer les idées, le rendement cathodique peut varier, par exemple, de 15 à 95 p. 100 suivant la nature et les conditions de l'électrolyse.

A titre indicatif, les diagrammes de la figure 2 donnent la

valeur des épaisseurs en microns (épaisseurs en ordonnées) pour certains bains de rendement déterminé et pour diverses valeurs de σ (temps en mn en abscisses). Le tableau (I) qui suit complète ces diagrammes.

Métal	Poids atomique	Poids d'un dépôt de 0,1 mm:dm ² g	Valence	Équi- valent électro- chimique g:Ah	Épaisseur du dépôt en microns pour 1 Ah:dm ² (*)	Nombre d'Ah:dm ² nécessaire pour un dépôt de 100 microns (*)
Cu ..	63,57	8,9	1	2,372	26,7	3,75 (alc.)
Cu ..	63,57	8,9	2	1,186	13,3	7,50 (ac.)
Ni ..	58,69	8,9	2	1,095	12,6	7,95
Cr... 52,01	7,1	3	0,647	9,1	10,95	
Cr... 52,01	7,1	6	0,323	4,6	21,90	
Cd .. 112,41	8,6	2	2,097	24,4	4,10	
Co .. 58,94	8,9	2	1,100	12,4	8,09	
Pb .. 207,22	11,3	2	3,865	34,2	2,92	
Sn .. 118,70	7,3	2	2,214	30,3	3,30	
Fe .. 55,84	7,9	2	1,042	13,2	7,58	

(*) Compte non tenu du rendement.

Cuves d'électrolyse.

L'électrolyte est contenu dans une cuve appropriée (2), par exemple :

Pour les bains alcalins, en tôle d'acier (dégraissage, dégraissage-cuivrage, cuivrage alcalin, cadmiage, étamage, etc.) ;

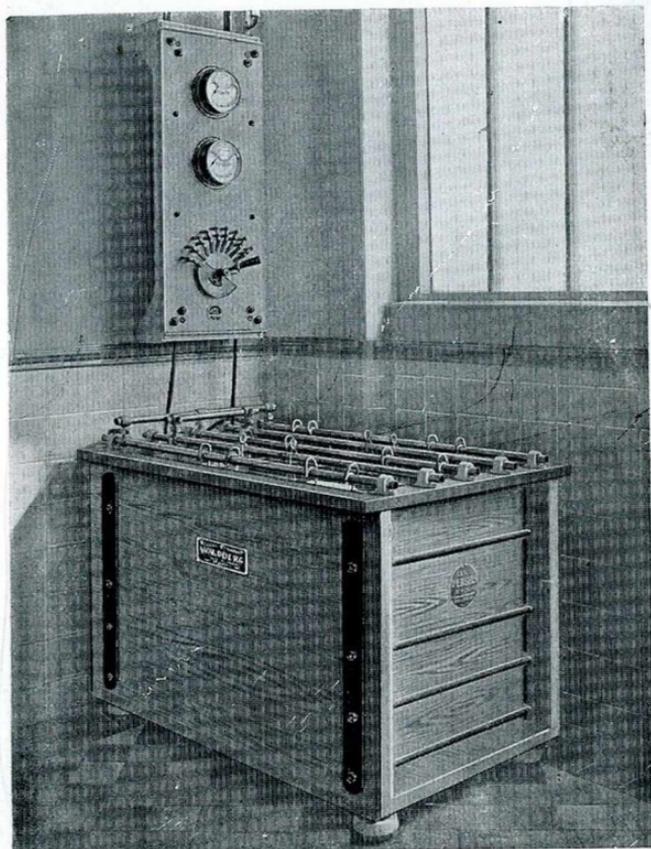
Pour les bains acides, en bois (sapin, pitchpin) ou en tôle revêtus en général de plomb (cuivrage acide, nickelage, etc.), en tôle simple ou recouverte d'un alliage à base de plomb et d'antimoine (chromage), en tôle recouverte de caoutchouc, voire en grès, ardoise ou verre genre Pyrex (petits bains).

(1) D'après Electroplating and Electroforming, par W. BLUM and HOGABOOM.

(2) Les photographies des figures 3 à 9 montrent quelques exemples d'installations d'électrolyse (dont l'une est alimentée par redresseurs). Nous avons tenu à donner dans cette étude quelques vues d'ateliers parfois assez importants afin de mettre en évidence le développement considérable de l'électroplastie dans l'industrie.

Composition du bain (1).

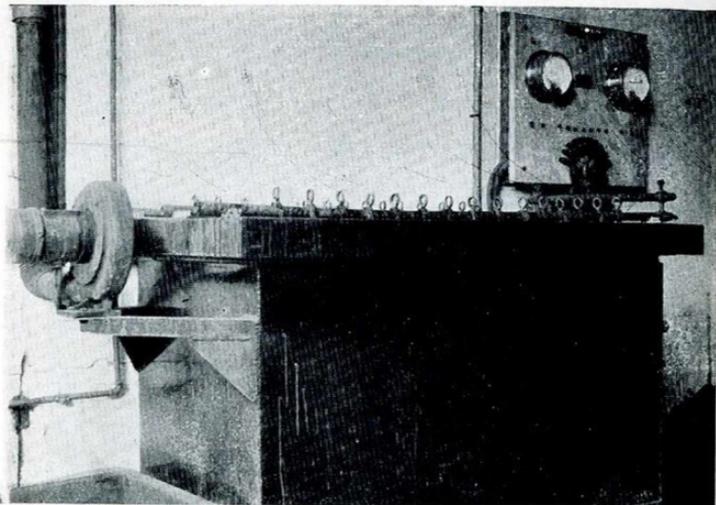
En principe, la solution contient deux sortes de sels :
Les « sels de métal » proprement dits qui concourent effectivement par leur décomposition à la formation du dépôt ;



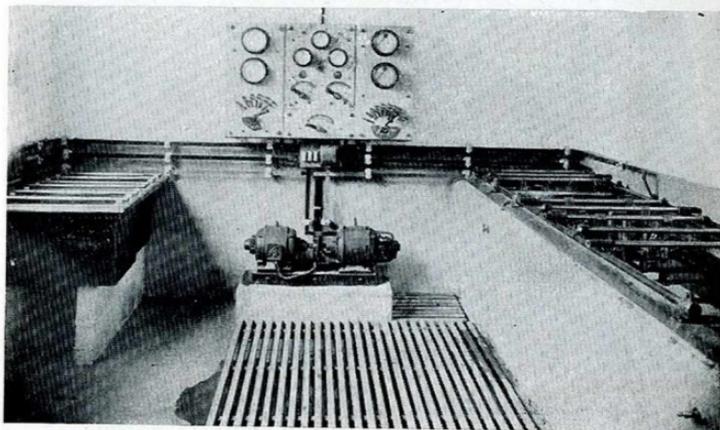
(Document Waldberg)

Fig. 3. — Cuve d'électrolyse, 3 rangs d'anodes et 2 rangs de cathodes
tableau de réglage : voltmètre, ampèremètre, rhéostat d'absorption

(1) Nous n'insistons pas sur les données d'ordre chimique (suite page 11).



(Document Pzscalis)
Fig. 4. — Installation de chromage. Cuve en tôle
Electro-ventilateur pour l'aspiration des buées



(Document Damien)
Fig. 5. — Atelier d'électrolyse : cuivrage contre cémentation
dégraissage, cadmiage, nickelage ; groupe moteur-dynamo

Les sels (quelquefois appelés « sels conducteurs ») ou produits supplémentaires ajoutés dans le but d'augmenter la conductibilité du bain et de favoriser les échanges ou plutôt d'assurer certaines attaques (ex. : corrosion des anodes) ou propriétés du bain (finesse de la cristallisation du dépôt).

Le bain est composé de façon telle que l'on obtienne un dépôt ayant les qualités voulues d'homogénéité, de solidité, d'aspect, tout en réduisant au minimum la consommation d'énergie électrique et les frais de main-d'œuvre afin d'obtenir un prix de revient aussi bas que possible.

On emploie :

De l'eau qui doit être aussi pure que possible ;

Des produits chimiques plus ou moins purs et plus ou moins complexes, mais dont une qualité essentielle doit être la constance qui permet à l'utilisateur de travailler avec certitude. Ces produits sont :

Des acides (sulfurique, azotique, chlorhydrique, etc.) ;

Des bases (potasse et soude caustiques, ammoniacque, chaux, etc.) ;

Des composés divers (cyanures, chlorures, sulfures, sulfates, carbonates, nitrates, acétates, etc.).

Le choix de la « recette » ou « formule » du bain est évidemment *essentiel* (questions de conductibilité du bain, passivité, conditions de travail : vitesse de formation du dépôt, travail à chaud ou à froid, etc.) (voir note 2, p. 8).

On doit assurer la constance chimique de la solution, si l'on veut obtenir une électrolyse parfaite et régulière et une durée convenable du bain. D'où la nécessité de « suivre » ce dernier et d'y faire, en temps voulu, les additions nécessaires (eau, sels, acides, colloïdes, etc.).

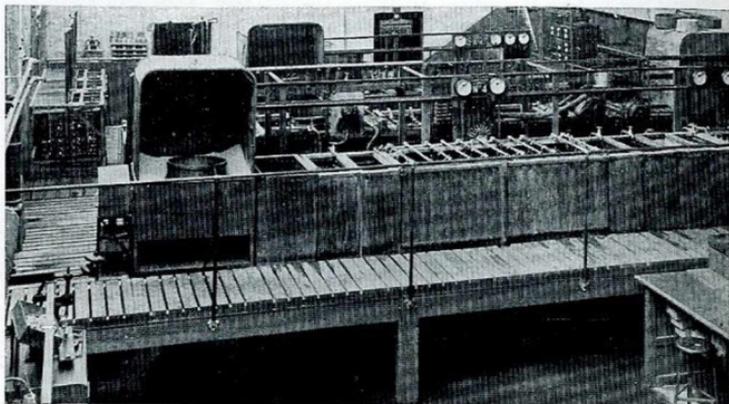
Concentration du bain.

La concentration est mesurée au moyen d'un aréomètre Beaumé qui donne, d'une certaine façon, la valeur de la densité de la solution ; cette densité dépend non seulement de la quantité de sels de métal dissous, mais encore des autres sels.

Par suite (voir note 1, p. 9) : d'une part du processus même de l'électrolyse, d'autre part des erreurs possibles dans les opé-

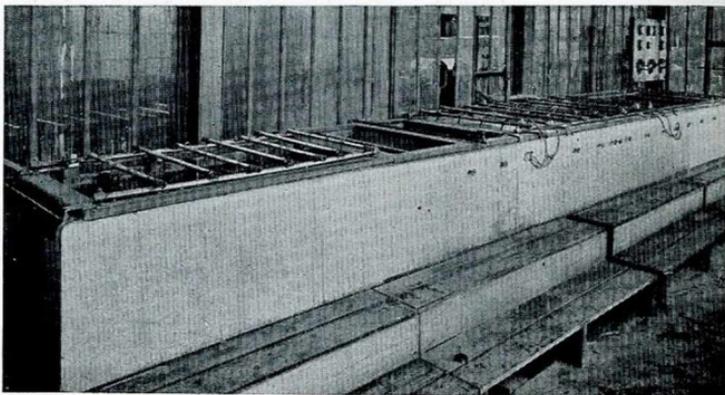
ou électro-chimique (qui sont d'ailleurs capitales), renvoyant nos lecteurs aux revues et ouvrages spécialisés. Nous ne faisons que rappeler et résumer les principales connaissances nécessaires ou utiles pour la compréhension de ce qui suit.

rations ou de l'incorrection des additions, enfin des phénomènes de dilution et de l'action de la gravité, la concentration est variable, non seulement en fonction de la durée du travail et de l'âge du bain, mais encore de la nature des opérations effectuées



(Document Grauer & Weil)

Fig. 6. - Installation d'électrolyse : bains (en profondeur) de cadmiage, nickelage, chromage



(Document Damien)

**Fig. 7. - Installation d'électrolyse : dégraissage, cuivrage, nickelage, chromage
tableau de réglage, chauffage électrique par éléments plongeants**

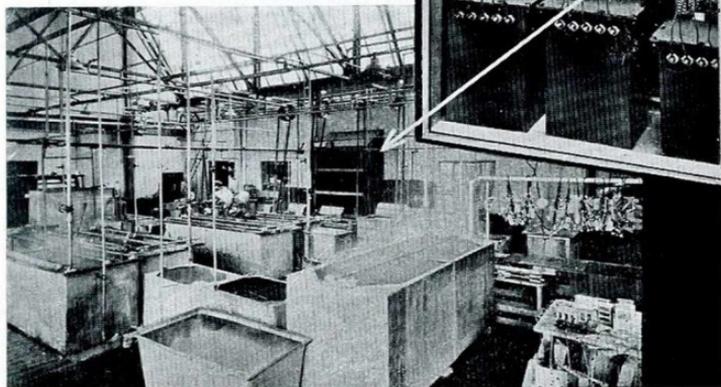
et de la composition de la solution. On la corrige au moyen d'additions. Dans certains cas, on assure l'agitation du bain (emploi d'une pompe, envoi d'air soufflé, emploi d'un dispositif mécanique approprié).

Acidité ou alcalinité du bain.

L'acidité ou l'alcalinité d'un bain peut être connue au moyen de papiers réactifs dont les indications sont d'ailleurs imprécises ou mieux par la détermination de sa concentration en ions « hydrogène », c'est-à-dire par l'« exposant d'hydrogène » désigné par le symbole ϕH (potentiel d'hydrogène) défini par la relation suivante :

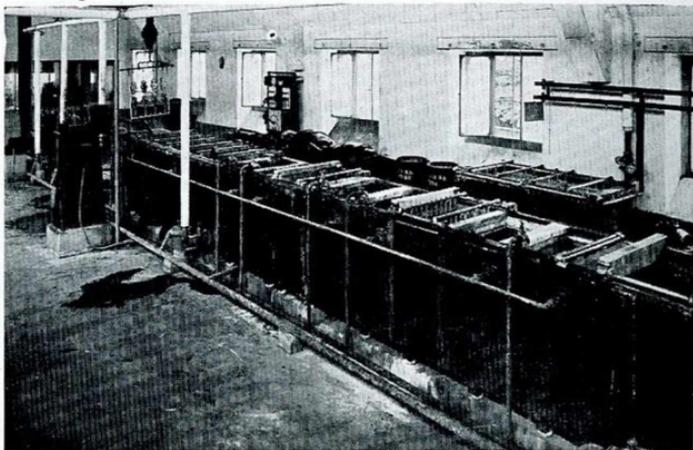
$$\phi\text{H} = \log \frac{I}{\text{concentration en ions H}}$$

Dans l'eau pure, considérée comme liquide neutre, la concentration en ions H est de un dix-millionième d'atome-gramme, soit 10^{-7} . D'où : $\phi\text{H} = 7$.



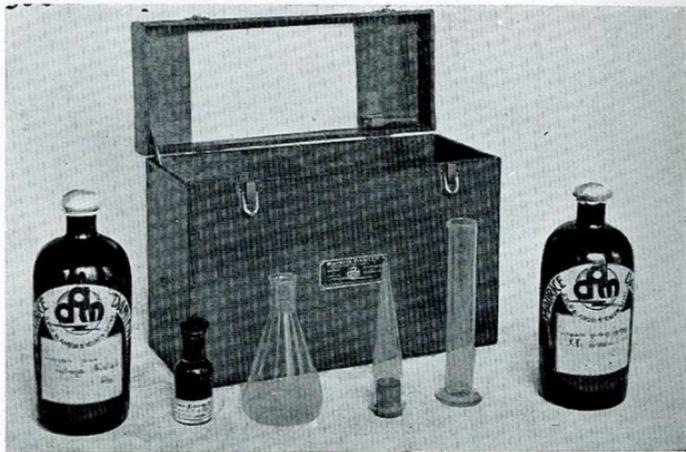
(Document Revue Galvano)

Fig. 8. — Atelier de galvanoplastie avec alimentation par redresseur à oxyde de cuivre



(Document Grauer & Weil)

Fig. 9. — Installation d'électrolyse : laitonnage-dégraissage, attaque anodique dégraphitage, nickelage-chromage



(Document Damien)

Fig. 10

Si pH est compris entre 1 et 7, il y a acidité.

Si pH est compris entre 7 et 14, il y a alcalinité.

Pour fixer les idées, le pH des bains de nickel peut varier de 5 à 6,8 par exemple.

L'exposant d'hydrogène donne seulement l'acide dissocié, mais non pas l'acide total des bains. On le détermine pratiquement par la comparaison optique des couleurs au moyen d'une série d'éprouvettes contenant des solutions titrées ou par des disques tournants avec indication immédiate du pH . Des troussees de titrage donnent également le pH , la concentration en métal et la quantité des « sels conducteurs » (fig. 10).

Résistance électrique du bain.

Il s'agit de la résistance qu'offre le bain au passage du courant à l'intérieur même de la solution, entre les deux électrodes (qui sont, le plus souvent, de sections différentes).

Théoriquement, les lois d'Ohm et de Kirchhoff s'appliquent (si toutefois l'on considère des variations infiniment petites) ; il faut tenir compte de la dispersion (fonction en particulier de l'écartement et de la surface des électrodes) des lignes de courant (analogie avec les lignes de force d'un champ magnétique) qui a pour effet d'augmenter sensiblement (par ex. de 20 p. 100) la section offerte au passage du courant et par suite de diminuer la résistance.

La résistance, à composition constante du bain, dépend évidemment de la température (fig. 11 et 12). Pour fixer les idées, elle peut être de l'ordre de quelques dixièmes d'ohms à quelques ohms ($\Omega/\text{dm}/\text{dm}^2$) suivant la composition et la concentration pour des solutions de $\text{SO}_4 \text{H}^2$, HCl , KOH , $\text{SO}_4 \text{Ni}$ par exemple.

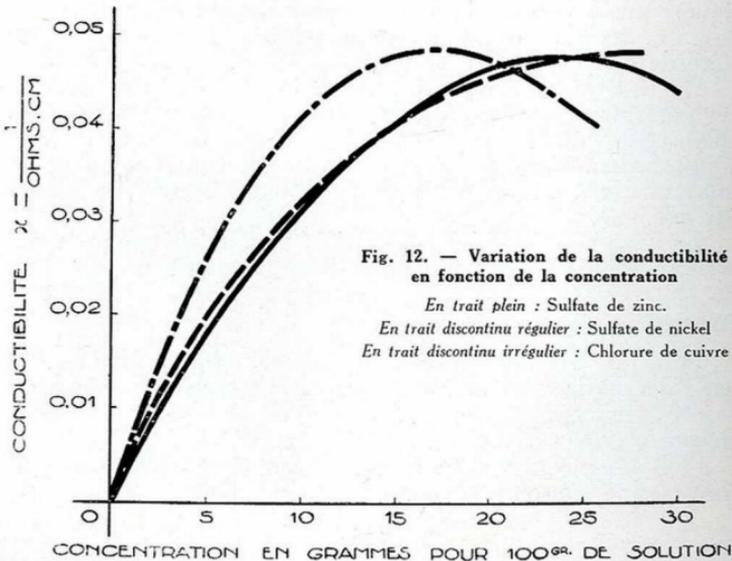
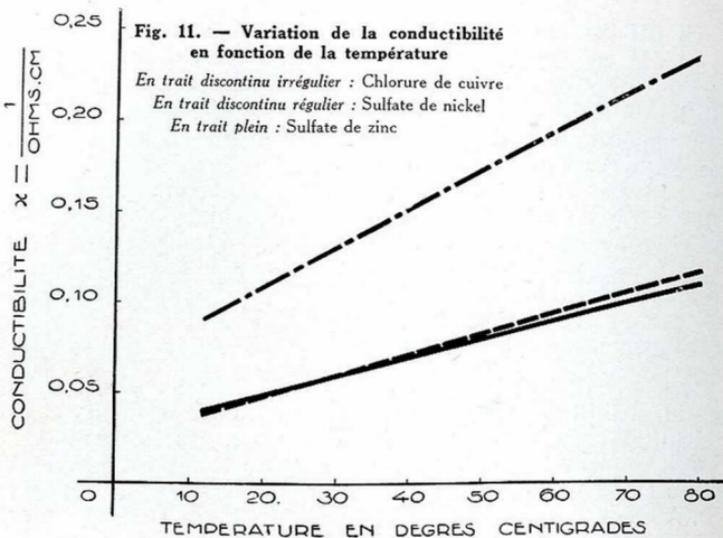
La valeur de la résistance est intéressante à connaître, car la tension à appliquer aux électrodes en dépend.

Polarisation. Tension du bain.

Pour qu'un courant régulier puisse s'établir, il faut que la tension appliquée au bain ait une certaine valeur ; au-dessous de ce « seuil électrolytique », la solution se comporte comme un isolant.

Si r désigne la résistance du bain et I le courant qui le traverse (fig. 13) on a la relation :

$$U = rI + u$$



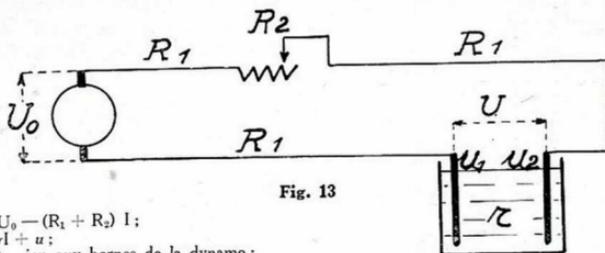


Fig. 13

$$U = U_0 - (R_1 + R_2) I;$$

$$U = rI + u;$$

U_0 = tension aux bornes de la dynamo ;

U = tension appliquée aux électrodes ;

R_1 = résistance de la ligne d'alimentation de la cuve ;

R_2 = résistance en circuit du rhéostat ;

r = résistance du bain ;

u = « tension de polarisation » ($u_1 + u_2$) ;

I = intensité du courant ;

$$I = \frac{U_0 - u}{R_1 + R_2 + r}.$$

U est la tension appliquée aux électrodes ; elle est égale à la tension de la dynamo d'alimentation, aux pertes thermiques près dans les conducteurs d'amenée de courant et dans le rhéostat de réglage.

u est la « tension de polarisation » (nous n'insisterons pas sur cette désignation — qui fait encore l'objet de discussions théoriques entre spécialistes).

Dispersion des lignes de courant.

Si, par exemple les électrodes sont très rapprochées, le flux de courant qui atteindra les objets ne sera pas régulier et, par suite, l'épaisseur du dépôt ne sera pas uniforme. On remédie

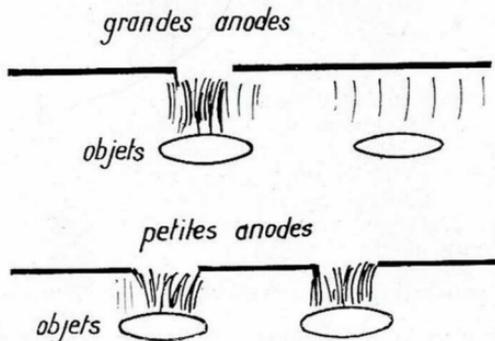


Fig. 14

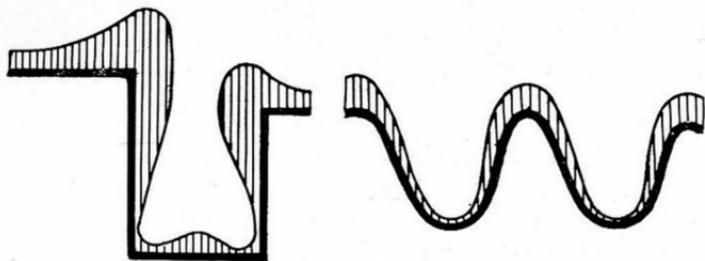


Fig. 15

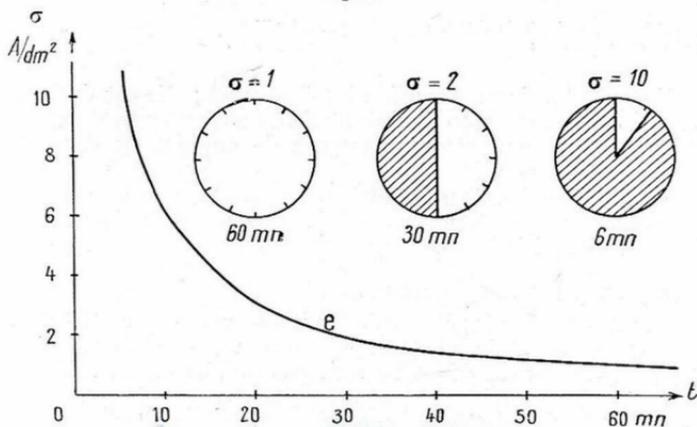


Fig. 16

aux inconvénients de la dispersion des lignes de courant par une disposition convenable des objets, par la modification de la longueur qui sépare les électrodes, par l'emploi d'écrans appropriés, par l'emploi de petites anodes (fig. 14), par la réalisation d'un mouvement relatif de la cathode par rapport à l'anode (mouvement alternatif ou de va-et-vient, mouvement continu avec une chaîne).

Pouvoir de pénétration.

Le pouvoir de pénétration se rapporte aux objets de forme complexe ; par ex., si l'objet est creux, il y aura moins de

métal déposé dans le creux (fig. 15). On y pare de différentes façons (disposition appropriée des objets, choix de la solution, emploi d'anodes de forme, etc.).

Densité de courant.

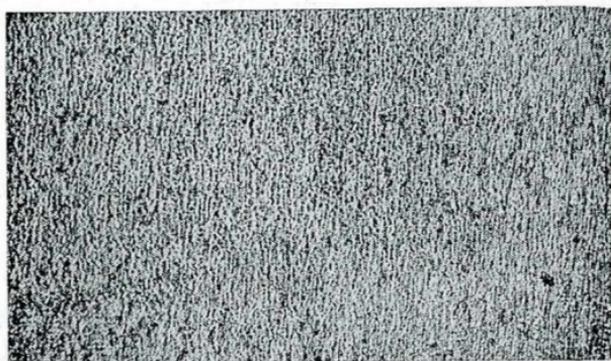
C'est une donnée essentielle $= \sigma = \frac{I}{S}$, I désignant l'intensité et S la surface traversée par le courant. Il y a une densité cathodique et une densité anodique.

La vitesse de formation du dépôt dépend de la quantité de métal libéré à la cathode pendant un temps donné, donc (loi de Faraday) de la quantité d'électricité, donc de I, donc de σ (fig. 16).

Nous noterons simplement qu'il y a toutefois une limite, car si σ est trop élevé, le dépôt (nickel par ex.) sera « brûlé » (pulvérulent ou spongieux) et il ne supportera pas ultérieurement le travail de polissage ; l'exagération de la valeur de σ influe d'autre part sur le pouvoir de pénétration dans les creux et sur le rendement cathodique.

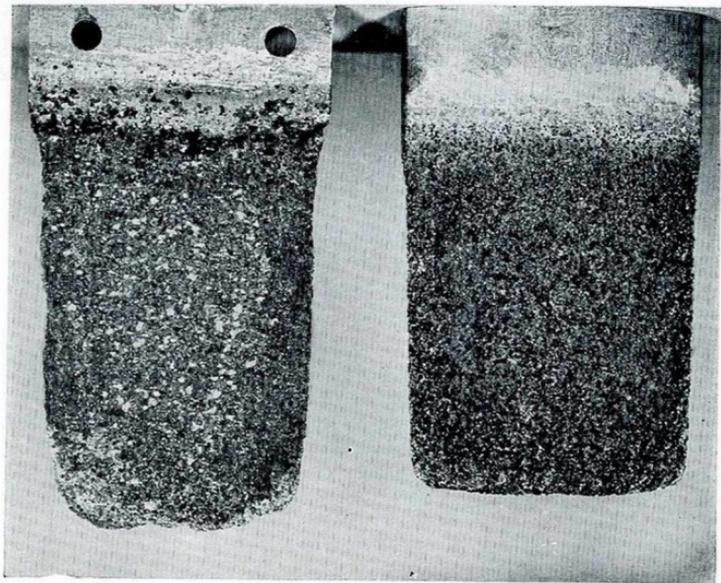
Qualité du dépôt.

Le métal déposé se présente sous forme de cristaux microscopiques (fig. 17). Souvent, pour faciliter les dépôts brillants,



(Document Revue du Nickel)

Fig. 17. — Microphotographie d'une coupe normale effectuée dans un dépôt épais de nickel



(Document Centre d'Information du nickel)

Fig. 18. — Photo montrant la corrosion d'anodes de nickel

on utilise des substances colloïdales ou non (gomme arabique, gélatine, amidon, sels de fer, etc.).

L'adhérence est une qualité primordiale.

Influence de la température.

La température a une importance souvent considérable et sur laquelle nous reviendrons.

Anodes.

Elles sont : soit solubles (cas général, ex. : nickelage) (fig. 18), soit insolubles (ex. : chromage).

Il faut assurer des contacts parfaits, avec des surfaces de contact adéquates avec les intensités à passer, tant aux anodes qu'aux cathodes, avec les amenées de courant.

En résumé :

L'électrolyse est une *transformation de l'énergie électrique en énergie chimique*, les ions étant les *véhicules matériels de l'électricité*. *Tout se passe comme si* le métal déposé provenait :

De la décomposition directe du ou des sels de métal de l'électrolyte (métal primaire) ;

Des réactions secondaires des produits de l'électrolyse sur les électrodes ou sur les sels de la solution (métal secondaire).

La quantité de métal déposé est pratiquement inférieure à celle qui donne la loi de Faraday (rendement en quantité).

Les facteurs suivants ont une grande importance pour le « nickeleur » :

Composition du bain ;

Concentration et pH ;

Nature et forme des électrodes ;

Position respective des objets et des anodes (mouvement de va-et-vient par exemple) ;

Température du bain ;

Surtout densité du courant.

La vitesse de formation du dépôt est fonction de l'intensité, donc de la densité du courant ; les autres facteurs interviennent pour modifier la qualité du dépôt ; ils peuvent influencer sur l'intensité et sur le rendement, donc sur la vitesse de l'électro-déposition.

On est limité dans le choix de la valeur de la densité de courant (valeur supérieure à ne pas dépasser).

La température a une influence très marquée.

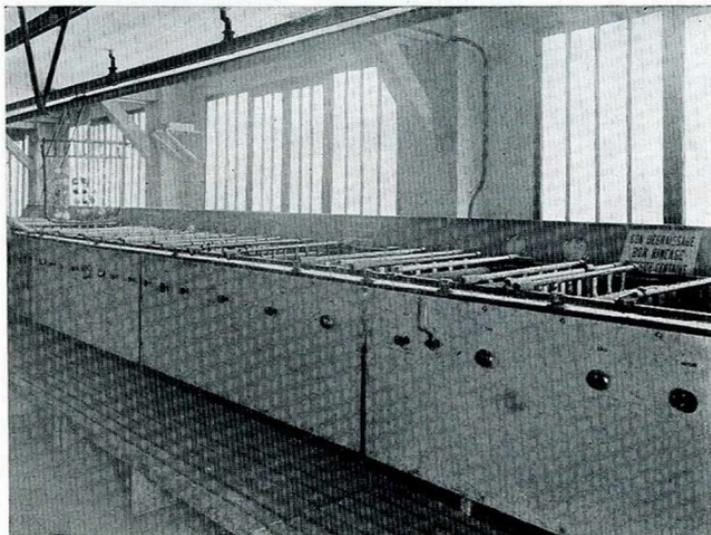
B) Principales opérations effectuées dans les « ateliers de nickelage »

Les deux opérations que l'on réalise le plus fréquemment dans ces ateliers sont le nickelage et le chromage.

Mais, dans la plupart des cas, l'électrodéposition du chrome et du nickel ne se fait pas directement sur le métal de l'objet, mais sur une ou plusieurs couches intermédiaires d'autres métaux (cuivre, nickel, etc.) déposés électrolytiquement.

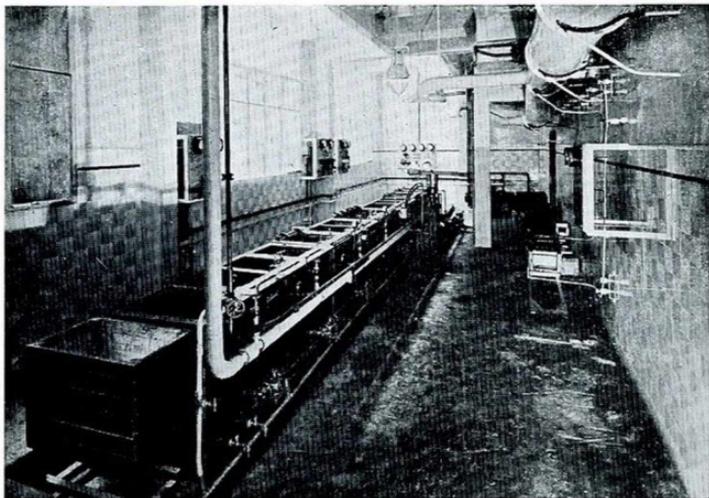
De plus, l'électrolyse ne peut être faite que lorsque certaines conditions de poli, de propreté, etc., sont remplies. De sorte que le travail complet du nickelage ou du chromage nécessite, en plus de l'électrolyse proprement dite dans un bain de nickelage ou de chromage, un nombre considérable d'opérations :

Les unes se rapportent à la préparation de la pièce en vue de l'électrodéposition de la couche finale du métal voulu (nickel, chrome) ;



(Document Damien)

Fig. 19. — Installation de nickelage brillant et de chromage sans avivage avec chauffage électrique des bains de nickel



(Document Crauer & Weil)

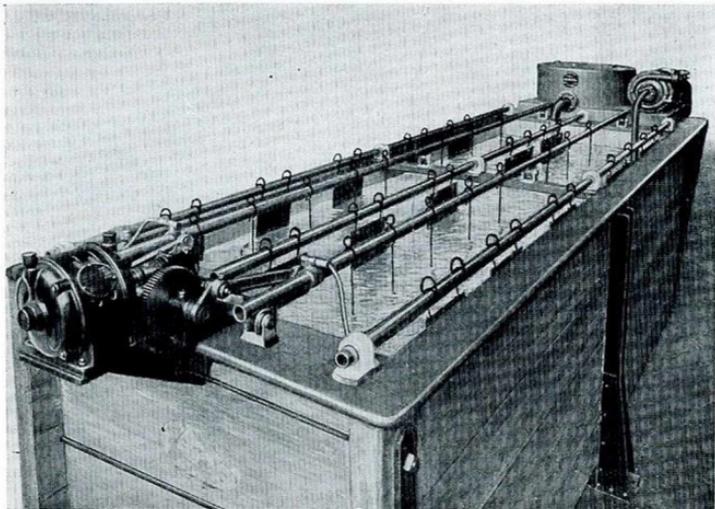
Fig. 20. — Installation de nickelage rapide et de cuivrage
cuves de rinçage, cuivrage, nickelage, dégraissage ; tonneau

Les autres à la finition de la pièce, afin de lui donner sa présentation marchande.

La plupart de ces opérations, d'ordre mécanique, chimique ou électro-chimique, ont une importance capitale pour la valeur finale du traitement. Par ex. : la qualité d'un chromage dépend en particulier de l'épaisseur totale du dépôt, donc du nombre des sous-couches (la protection du support contre l'oxydation n'est pas obtenue par le chrome, qui n'est en somme qu'un « vernis métallique », mais par la qualité des sous-couches) ; mais en contre-partie, plus le nombre des couches intermédiaires est grand et plus le risque de malfaçons est élevé.

Nous allons examiner rapidement les principales opérations que le « nickelleur » peut avoir à effectuer, en dehors de celles qui sont relatives à la préparation et au contrôle des bains (cuves, électrolytes, électrodes, amenées de courant) et des groupes de production d'énergie électrique (moteurs, dynamos, etc.). Elles se divisent en deux groupes :

- Opérations de préparation et de finition des pièces ;
- Opérations d'électrolyse proprement dites.



(Document Waldberg)

Fig. 21. — Installation de nickelage ; mouvement des pièces

B 1) Préparation et finition des pièces

Dégrossissage, polissage, avivage.

Dégrossissage. — But : enlever les aspérités (bavures, irrégularités, etc.) de la surface brute. Moyens : emploi de meules ou de buffles enduits de gros émeri collé.

Polissage. — Succède au dégrossissage. Moyens : feutres enduits d'abrasifs à grains plus fins que dans le cas précédent ou tampons spéciaux.

Avivage. — Avivage de pièces après nickelage. Moyens : disques en tissus enduits de pâtes (abrasifs fins agglutinés par des graisses). Une opération analogue est faite pour le laiton avant nickelage (« ressuyage » des emboutis ou des étirés).

Les trois sortes d'opérations précédentes peuvent être effectuées :

Manuellement ;

Mécaniquement, soit au tonneau (tambour contenant les

pièces à polir et du quartz : dégrossissage, ou des billes : finition); soit le plus souvent au tour ou au touret à polir et à aviver, entraîné électriquement et muni de meules ou de disques ; soit automatiquement pour les installations importantes (tôles par ex.) que nous ne signalons que pour mémoire.

Les disques sont généralement encollés par les utilisateurs eux-mêmes.

Décapage et sablage.

But : enlever la couche d'oxyde qui recouvre les objets et, exceptionnellement, les grains de sable du moulage.

Méthodes : décapage chimique (acides, alcalis, électrolytique) ou au sable.

Décapage par les acides (ex. HCl, $\text{SO}^4 \text{H}^2$, $\text{AzO}^3 \text{H}$, etc.) dont le choix dépend de la nature du métal constituant l'objet. En général, les bains ne sont pas chauffés. Dans certains cas toutefois, ils sont « activés » par chauffage à 40-50° C par exemple.

On peut accélérer le décapage par insufflation d'air ou par mouvement des pièces ou par combinaison des deux moyens précédents.

Décapage par les alcalis (soude et potasse caustiques, cyanures, etc.), pour certains métaux (ex. = aluminium).

Décapage électrolytique, grâce à l'action mécanique et chimique du courant (densité de courant de l'ordre de 10 A:dm² par ex.).

Sablage (jet d'air comprimé entraînant du sable ou de la grenaille d'acier).

Dégraissage.

But : il faut absolument que la surface sur laquelle le métal doit être déposé électrolytiquement soit exempte de toute trace d'oxyde ou de graisse ; sinon, ou bien on ne pourra pas obtenir de dépôt, ou bien le dépôt sera terne et peu adhérent et s'exposera facilement (1).

Méthodes principales :

Dégraissage aux solvants. — Deux sortes de solvants :

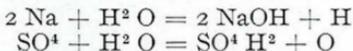
Ceux qui assurent la saponification des corps gras (lessive

(1) « On peut affirmer que le nettoyage des métaux est la pierre de base de l'électroplastique et que le dégraissage est la fondation qui supporte cette pierre fondamentale. » Congrès de l'Electroplaters Technical Society, 1934.

alcaline bouillante) utilisables seulement pour les graisses animales ou végétales ;

Ceux qui dissolvent toutes les graisses : le trichloréthylène est de beaucoup le plus répandu, grâce à ses qualités remarquables : ininflammabilité, pas de danger d'explosion (comme avec l'essence), densité assez élevée (plus lourd que l'essence), excellent solvant (meilleur que l'essence) ; on dégraisse soit dans le liquide, soit dans la vapeur (ébullition à 87° C) ; on récupère les vapeurs par refroidissement (serpentin à eau) et on purifie par distillation.

Dégraissage électrolytique. — Principe : Dans l'électrolyse d'une solution alcaline, on obtient sur la cathode de l'hydrogène gazeux et un sel alcalin caustique et à l'anode (insoluble) un radical que l'on fait attaquer par du cyanure de potassium ou de sodium. Exemple : $\text{SO}^4 \text{Na}^2$ donnera :



Le sel alcalin libre est susceptible de saponifier les graisses (choisir une forte concentration et une densité de courant relativement élevée par ex. : 10 A:dm² ou davantage).

L'hydrogène gazeux agit de son côté sur les graisses non saponifiables avec lesquelles il forme une émulsion qui se décomposera en abandonnant la graisse à la surface du bain (supposé « dormant »).

Pour que la pièce soit bien dégraissée, il faut une durée convenable du dégraissage (30 à 90 s en général) et une intensité (donc une densité de courant) également appropriée (en général supérieure à 8 A:dm²).

Le dégraissage électrolytique se fait en bain froid ou en bain chaud (jusqu'à l'ébullition).

Dégraissage-cuivrage électrolytique. — Même principe, mais on ajoute à l'électrolyte un sel de cuivre et des anodes de cuivre, très légèrement solubles, de sorte que l'on obtient un cuivrage immédiatement après le dégraissage, ce qui est pratiqué par ex. dans certains cas pour le nickelage.

Corrosion après dégraissage. — Pour certaines pièces (par ex. : pièces en acier), on peut arriver à compléter le dégraissage ordinaire par une attaque sous courant par un acide (par ex. : $\text{SO}^4 \text{H}^2$ à 15-20 A:dm²).

Lavages et rinçages.

Au cours des opérations précédentes, il faut avoir souvent recours à l'eau propre, sans trace d'acide, d'alcali ou de graisse, qu'il s'agisse d'eau froide ou d'eau chaude.

Séchage.

Deux procédés :

Passage à l'eau froide, puis à l'eau bouillante (suffisant pour les grosses pièces), puis dans la sciure (pour les petites pièces) ;

Passage à l'air chaud (étuve ou essoreuse-sècheuse) qui débarrasse beaucoup mieux l'objet de son humidité (en particulier dans les creux).

« Epargne » ou « réserves ».

Dans certains cas, pour protéger une surface qui ne doit pas être recouverte de métal pendant l'électrolyse et surtout dans le traitement des objets d'art (obtention d'effets particuliers, protection des surfaces), on emploie certains vernis.

B 2) Electrolyse

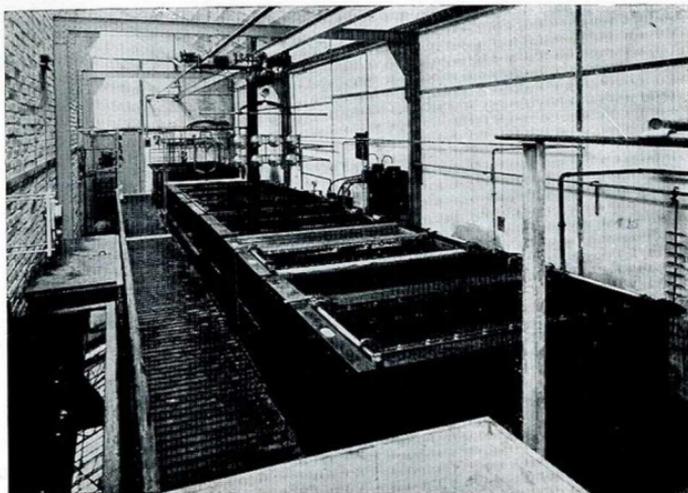
Les opérations habituelles sont le cuivrage, le laitonage, le nickelage, le chromage, le cadmiage, le zincage, l'étamage.

Conditions d'emploi.

Cuivrage. — Former une sous-couche pour les dépôts électrolytiques (ex. : nickelage du zinc par l'intermédiaire d'une sous-couche de cuivre ; autres ex. en nickelage et chromage) ; assurer la protection du fer contre la rouille ; métalliser les objets de pacotille (en fer, zinc, plomb, etc.), pour en augmenter la valeur marchande.

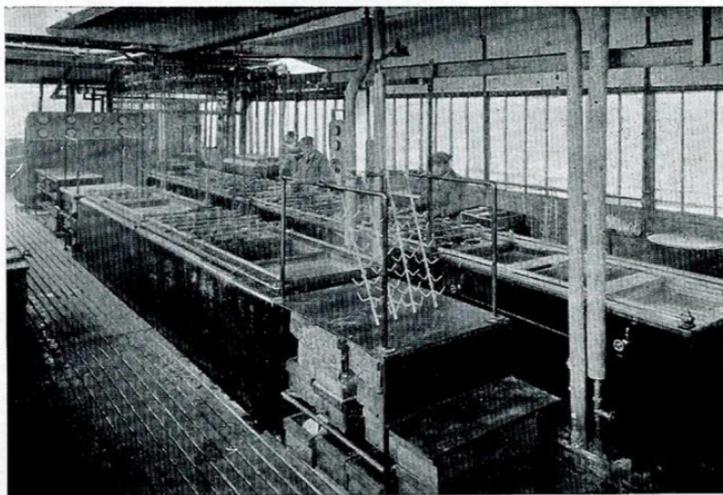
Laitonage. — Former une sous-couche au même titre qu'avec le cuivre ; recouvrir certains objets (ex. : bornes de compteurs électriques). Remarque que le laiton est un alliage et non pas un métal simple.

Nickelage. — Recouvrir les métaux usuels (fonte, acier, fer, cuivre et alliages, métaux malléables) pour en assurer la protection contre les agents chimiques et en particulier contre la rouille, la présentation voulue ou le durcissement de la surface.



(Document Grauer & Weil)

**Fig. 22. — Installation de nickelage rapide, cuivrage, chromage
cuves de dégraissage électrolytique, attaque anodique, nickelage, cuivrage, chromage**



(Document Damien)

**Fig. 23. — Installation de nickelage brillant
décapage, dégraissage, cadmiage, chromage à épaisseur**

Souvent sous-couche épaisse de cuivre. Le nickelage a pris, dans l'industrie de la protection des métaux, une place importante, grâce aux qualités suivantes du nickel :

Résistance à l'action des principaux agents chimiques (eau, gaz, acides).

Couleur blanc-argentée satisfaisant l'esthétique actuelle.

Grande dureté.

Chromage. — Recouvrir certains objets ou pièces. En principe, sous-couche de nickel.

L'emploi du chrome, bien que plus récent que celui du nickel, s'est répandu rapidement, grâce aux qualités suivantes de ce métal :

Bonne résistance à la plupart des agents corrosifs : inaltérabilité ; en particulier, le chrome ne ternit pas comme le nickel, donc pas d'entretien (industries automobile, sanitaire, des cycles, etc.).

Résistance à la chaleur sous certaines conditions d'épaisseur (fers à repasser, soupapes, moules).

Dureté considérable (outils, instruments d'horlogerie, etc.), supérieure à celle des autres métaux déposés électrolytiquement.

Forte adhérence au métal sous-jacent.

Couleur blanche, légèrement bleutée, répondant au goût du jour (industries des automobiles et des cycles, etc.).

Cadmiage. — Recouvrir l'acier : le cadmium est un des rares métaux électropositifs (avec le zinc) par rapport à l'acier (I), donc protecteur efficace de l'acier. Belle couleur argentée du cadmium.

Zincage, étamage (2). — Le zincage électrolytique tend actuellement, par suite du prix élevé du cadmium, à prendre la place du cadmiage dans certains ateliers.

(1) La « série des tensions » donne la valeur du potentiel électrolytique normal des divers métaux, c'est-à-dire de la force électromotrice de contact qui se manifeste entre ce métal et une solution d'un de ses sels par exemple. L'hydrogène étant adoptée comme référence et le signe + étant accordé aux métaux plus électropositifs que l'hydrogène, la série des tensions est la suivante :

Al	Zn	Fe	Co	Ni	Sn	Pb	H	Cu
+ 1,27	0,76	0,43	0,29	0,23	0,14	0,13	0	- 0,34

Les métaux situés à gauche de l'un d'eux, donc plus électropositifs que ce dernier, sont susceptibles de le déplacer de sa solution.

(2) Nous laissons de côté la galvanisation et l'étamage « à chaud » (objets plongés dans un bain de zinc ou d'étain fondu) et le plombage.

Remarque.

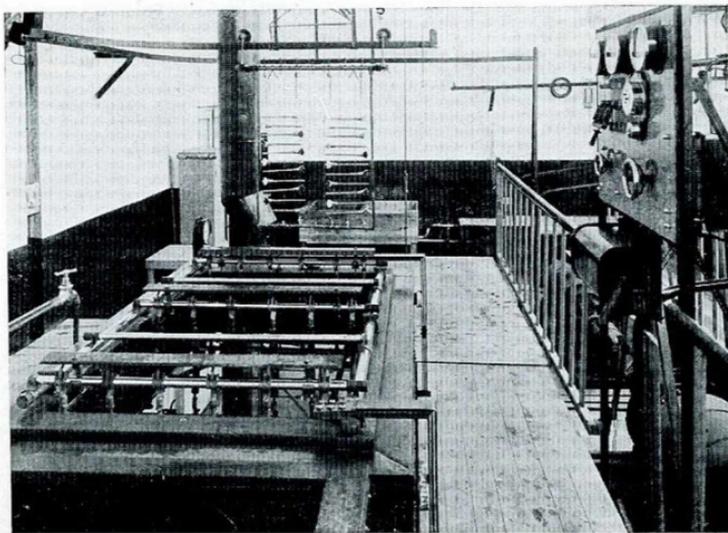
Oxydation anodique de l'aluminium. — Cette question étant de plus en plus à l'ordre du jour, nous en dirons quelques mots en passant, certains industriels étant intéressés à la fois par le nickelage et le chromage et par l'oxydation anodique de l'aluminium et de ses alliages.

Buts :

Augmenter la protection contre la corrosion par renforcement de la protection naturelle assurée par la pellicule d'alumine (oxyde d'aluminium Al_2O_3). Ex. : hydravions (le procédé chimique, applicable à l'aluminium pur et à ses alliages sans cuivre donne une épaisseur très faible, par ex. de 1/1 000 mm, le procédé électrolytique permet de porter la couche d'aluminium par ex. à 2/100 mm ou même davantage).

Assurer l'isolement électrique. Ex. : fils, bobines, appareils de chauffage électrique ;

Augmenter la résistance au frottement par durcissement de la surface. Ex. : pistons pour moteurs.



(Document Grauer & Weil)

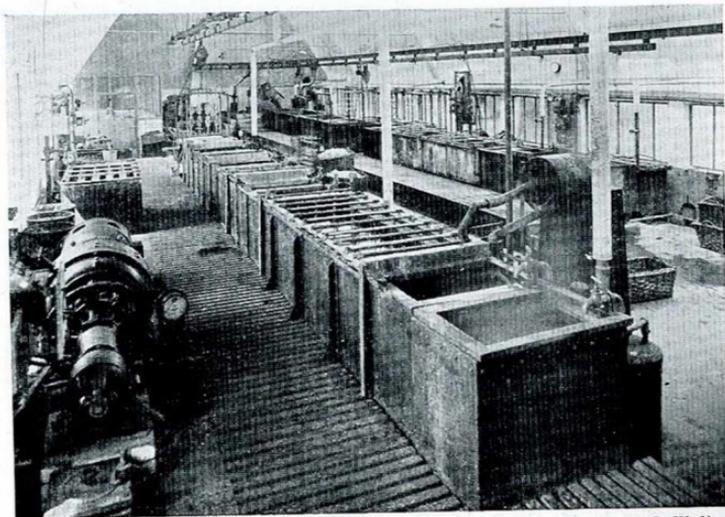
Fig. 24. — Installation de chromage

Obtenir certains effets décoratifs. Ex. : mobiliers et pièces de bâtiment.

Ce procédé nécessite, en général, des opérations de polissage, dégraissage, décapage et lavage et également de finition (fixage, teinture).

Il existe plusieurs procédés qui diffèrent : par la nature des constituants de la solution (acide chromique, sulfurique ou oxalique, ou sulfates alcalins) qui interviennent essentiellement pour assurer la conductibilité de l'électrolyte (tout se passe, en définitive, comme s'il y avait simplement décomposition de l'eau du bain, l'oxygène dégagé à l'anode oxydant les objets qui constituent cette anode ; la cathode est formée par un corps inattaquable et parfois par la cuve elle-même).

Les cuves employées sont, suivant le cas, en tôle d'acier ou en fer garni de plomb. On utilise du courant continu à une tension qui diffère suivant les procédés (12 à 50 V) et qui est modifiée au cours du traitement (par ex. de 40 à 50 V) pour un procédé), voire du courant alternatif pour un certain procédé



(Document Grauer & Weil)

Fig. 25. — Installation de laitonnage, dégraissage électrolytique, attaque anodique, nickelage, rinçage, décapage, cadmiage

Tableau I. — Principales caractéristiques

Procédé	Nature du bain (*)	Nature de la cuve (*)	Nature de l'anode (**)	Valeur de σ (°) A/dm ²	Température (***)
Cuivrage	Acide ou alcalin.	Bois, fer revêtu de plomb (acide), tôle acier (alcalin).	Cuivre.	0,5 — 1-3	Bain froid ou chaud (rare, 40° C par ex.).
Laitonnage	Alcalin.	Tôle acier.	Laiton.	0,5-1	Bain froid ou chaud (40° C par ex.).
Nickelage	Acide.	Bois, bois garni de plomb, tôle revêtu de plomb, tôle avec caoutchouc.	Nickel.	0,2 à 0,5 (bain froid); en général, 8 à 10 (bain chaud)	Bain froid ou chaud (38 à 40° C, voire davantage, jusqu'à 60° C).
Chromage	Acide.	En principe fer avec verre armé	Insoluble (plomb antimoné).	3 à 20 suivant température	Bain froid ou chaud (30 à 40° C en général).
Cadmium	Alcalin.	Tôle acier.	Cadmium.	1-2	15-20° C

(*) Eau général.

(**) Par « bain froid », entendre un bain à la température ambiante, c'est-à-dire non chauffé.

Tableau II

Désignation des opérations	Force motrice (*)	Electrolyse (**)	Usages thermiques (***)
Dégraissage, polissage et avivage.	Tambours, tours et toursels.		Fabrication des feutres et disques (chauffage; colle et émeri, séchage des feutres).
Décapage et sablage.	Compresseurs et ventilateurs.	Décapage électrolytique.	Chauffage des bains.
Dégraissage.		Dégraissage électrolytique; dégraissage-cuivrage; corrosion électrolytique.	Chauffage des solvants (en particulier du tri), chauffage des bains.
Lavage, rinçage, séchage et vernissage.	Essoreuses.		Eau chaude ou bouillante, essoreuses-séchuses, étuves.
Filtrage, brassage et mouvement des pièces.	Pompes, air comprimé, déplacement des pièces.		Chauffage des bains.
Electrolyse proprement dite.		Cuivrage, laitonnage, nickelage, chromage, cadmiage.	Chauffage de bureaux (éventuellement).
Divers : ventilation, etc.	Ventilateurs et aspirateurs.		

(*) Moteurs, à courant alternatif en général.

(**) Généralement : groupes moteurs dynamiques; nouveauté : redresseurs.

(***) D'une manière générale : chauffage de liquides (production d'eau chaude ou bouillante, thermopompes pour le chauffage des bains, chauffage du trichloréthylène, chauffe-cotte); chauffage de l'air (étuves); chauffage de solides (émeri).

(60 à 80 V). La densité de courant sera par ex. de 150 à 200 A.m². La température de la solution est, suivant la méthode, soit celle de l'ambiance, soit un peu plus élevée (ex. : 25-30°, voire 40° C). La durée du traitement peut varier par ex. de 20 à 60 mn.

Opérations relatives aux bains.

Dans un certain nombre de cas, de plus en plus nombreux, on est amené, pour réduire la durée de l'électrodéposition, à

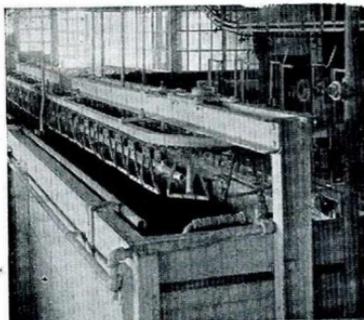
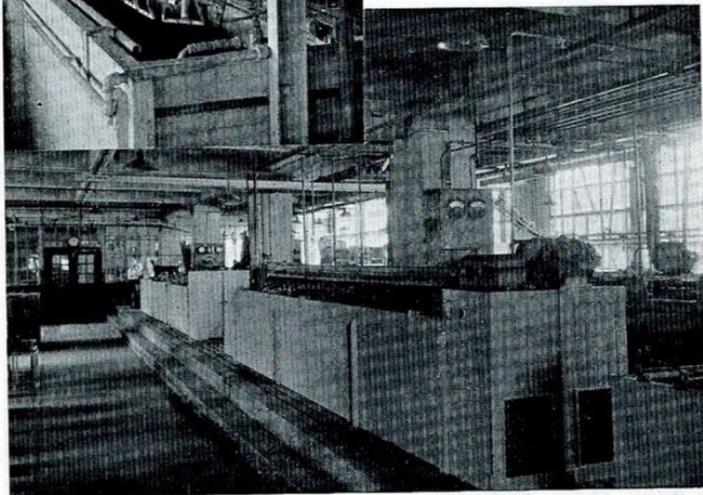


Fig. 26
Installation semi-automatique
de nickelage
cadmiage, galvanisation

(Document Damien)



utiliser des bains dits « rapides » et à réaliser — à vrai dire surtout lorsqu'il s'agit d'ateliers importants — d'ingénieux dispositifs d'installations automatiques ou semi-automatiques.

Le tableau qui précède (tableau II), volontairement simplifié, donc incomplet, met suffisamment en évidence la nécessité

de chauffer (1), brasser et filtrer les bains fonctionnant à haute densité de courant.

$$e = K\sigma t$$

Pour réduire le temps t, nécessaire pour obtenir un dépôt d'épaisseur e, il faut :

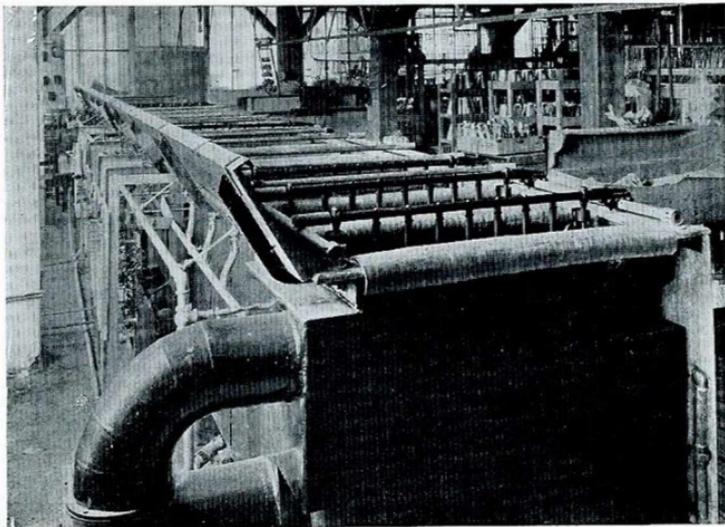
Augmenter la densité de courant σ

Pour obtenir ce résultat :

Augmenter la tension U appliquée aux électrodes, augmenter la concentration et chauffer

D'où la nécessité de :

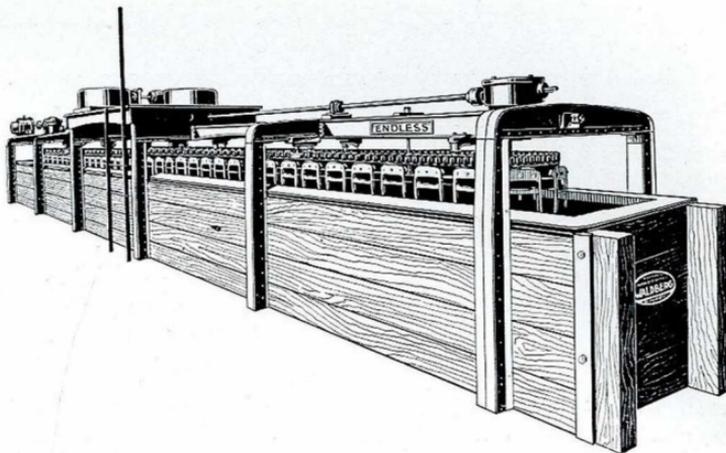
Brasser le bain et filtrer le bain



(Document Damien)

Fig. 27. — Installation de chromage
aspiration en circuit fermé, sans cheminée d'évacuation

(1) Exemple : Le nickelage « à chaud » permet d'obtenir une plus forte concentration en sels, par suite une valeur plus élevée pour la densité de courant σ , mais



(Document Waldberg)

Fig. 28. — Installation de nickelage semi-automatique

Les principales opérations relatives aux bains (en dehors de celles qui sont nécessaires pour la préparation et le contrôle des bains et pour la production de courant continu et que nous laissons de côté, comme nous l'avons déjà indiqué, sont les suivantes :

Filtrage. — Pompage du liquide dans les cuves et envoi dans un filtre soit mécaniquement, soit par émulseur à air comprimé (pour les petites cuves).

Brassage du bain. — Mécaniquement ou par air comprimé.

Déplacement des objets. — Par moteur, faible vitesse.

B 3) En résumé

L'analyse précédente, nécessairement un peu longue, étant donné l'étendue et l'importance du sujet, montre que le « nickeleur » doit avoir une grande expérience technique et pratique

cela nécessite le brassage de l'électrolyte (par insufflation d'air ou déplacement des pièces par ex., pour compenser les pertes autour des électrodes et pour réduire les piqûres), l'obligation de suivre la loi d'appauvrissement de la solution (solution à maintenir en équilibre permanent), le filtrage du bain.

étayée par une connaissance précise de la chimie électrolytique s'il veut pouvoir diriger, aussi rationnellement que possible, sa fabrication pour éviter les causes innombrables de « lousps » qui se présentent journellement à lui.

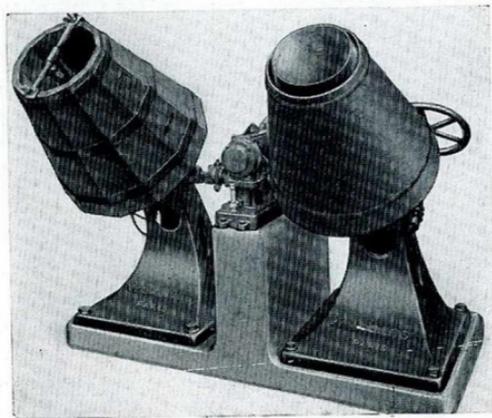
Le tableau II (page 32) indique, en un bref raccourci, quelles sont les principales applications qui peuvent être envisagées pour l'électricité dans les petits « ateliers de nickelage » (éclairage laissé de côté).

Les applications de l'éclairage et de la force motrice sont, en général, bien connues et nous ne nous y attarderons pas. Il n'en est pas de même pour les usages thermiques, en dépit des efforts faits par certains ingénieurs-conseils et par les constructeurs de matériel d'électrolyse ; ceci s'explique par les raisons principales suivantes :

La plupart des bains, actuellement en service, sont des bains « dormants » froids, relativement anciens le plus souvent (le chauffage n'est d'ailleurs pas à conseiller dans tous les cas).

Il y a en somme peu de temps que les appareils chauffants offerts sur le marché sont au point et d'un prix d'achat accessible.

Des essais défavorables, effectués avec du matériel insuffisamment étudié, ont pu, à un certain moment, impressionner péniblement des industriels mal informés.



(Document Waldberg)

Fig. 29. — Tonneaux d'électrolyse

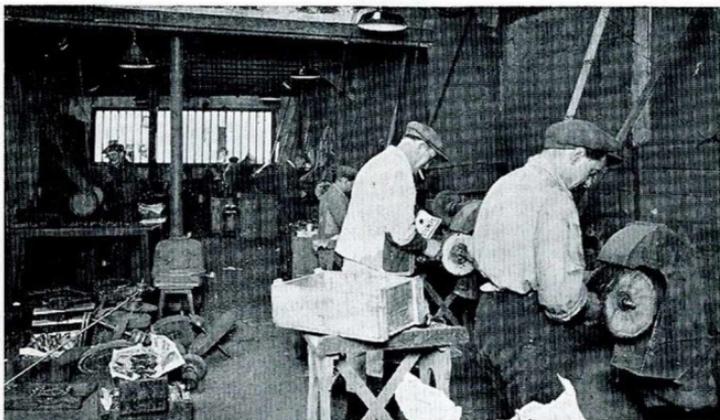


Fig. 30. — Atelier de polissage (éclairage de jour)

Le prix de l'énergie électrique a été, pendant longtemps, trop élevé pour permettre l'électrification totale et économiquement viable des installations.



Fig. 31. — Même atelier de polissage (éclairage du soir)

En général, les nickeleurs n'ont pas encore eu le temps d'apprécier l'intérêt du chauffage et, en particulier, du chauffage électrique. La plupart d'entre eux sont, en effet, de petits industriels très affairés, fort occupés par des questions commerciales ou autres qui prennent fatalement le pas sur les questions techniques, surtout dans des périodes économiques parfois difficiles à traverser.

La plupart des industriels qui commandent des pièces nickelées ou chromées, se refusent à payer le prix convenable, ce qui impose à certains nickeleurs, par le jeu de la concurrence, un travail aussi économique que possible, l'épaisseur et la qualité du dépôt n'étant considérées, bien à tort d'ailleurs, que comme des facteurs de second ordre.

Mais déjà l'accroissement rapide du nombre des ateliers et la dépression économique ont astreint les « nickeleurs » à améliorer la qualité tout en maintenant des prix peu élevés et cependant rémunérateurs. D'où la nécessité d'utiliser des bains plus rapides, donc de plus en plus et dans la plupart des cas, des bains chauffés, brassés et filtrés. De là date en particulier l'essor du chauffage électrique dans les ateliers de nickelage.

C) Principales applications de l'électricité

Elles se rapportent à l'éclairage, à la force motrice, au chauffage.

C 1) Éclairage

En principe, un atelier de « nickelage » comporte :

- Un ou plusieurs bureaux ;
- Un ou deux magasins (objets bruts, matières premières, objets terminés) ;
- Un ou plusieurs ateliers de polissage et d'avivage ;
- Un ou plusieurs ateliers d'électrolyse.

Ex. : schémas de la figure 32.

L'éclairage convenable s'obtient sans difficulté (fig. 30 et 31). Mais il faut noter que le travail de polissage et d'avivage et le travail d'électrolyse nécessitent un éclairage assez intense, car :

D'une part, l'ouvrier règle son travail en tenant compte de l'aspect des objets en cours de traitement (emploi éventuel de lampes « lumière du jour ») ;

D'autre part, les accidents sont à craindre.

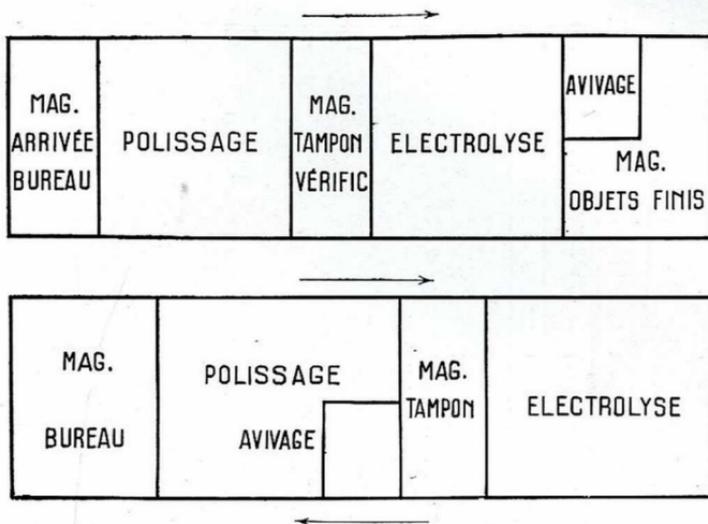


Fig. 32

C 2) Force motrice

La force motrice est utilisée :

a) Soit sous forme de *courant continu* nécessaire pour l'électrolyse (sauf cas exceptionnel : oxydation anodique de l'aluminium par un procédé particulier) ;

b) Soit sous forme de *courant alternatif* (éventuellement continu si l'utilisateur dispose directement, sans aucune transformation, de courant de cette nature) pour l'alimentation des moteurs.

Les usines étant généralement alimentées en courant alternatif, il y a donc obligation de transformer une partie de ce courant en courant continu et, en plus, de réduire la tension à la valeur voulue pour les cuves d'électrolyse.

a) Courant alternatif.

Le tableau III donne, à titre indicatif, quelques renseignements sur les principaux moteurs dont on a l'emploi :

Le **polissage** demande une puissance relativement élevée

Tableau III

Locaux ou ateliers	Nature du travail	Machines entraînées	Caractéristiques habituelles (*) des moteurs	
			Puissance ch	Vitesse t/min
Polissage Avivage Sablage	Dégrossissage, polissage, avivage, etc..... Aspiration des poussières..... Sablage	Moules (émeri, buffles, feutres, etc.)... Aspirateur, ventilateur	2 à 15	2 000 (polissage)
			1 par tour	2 à 3 000 (enivrage)
			7 à 10 2	1 000 1 500
Electrolyse Decapage Dégrossissage Séchage	Production du courant continu (**)... Aération, aspiration des buées, etc..... Brassage des bains..... Déplacement des objets..... Filtrage des bains..... Essorage-séchage	Dynamo d'électrolyse..... Aspirateur, ventilateur..... Compresseur d'air..... Dispositif mécanique..... Filtre..... Essoreuse-sécheuse	1 à 20 (kW)	1 500 à 750 (suiv. puiss.)
			1 à 3	1 000 à 1 500
			1 à 10	1 000 à 1 500
			0,2	1 500
			0,5	3 000
			0,5 à 1	3 000
Chaufferie Bureaux	Chauffage des locaux ou des bains, aération.	Surpresseur de gaz, pompe à mazout, ventilateur, etc.....	1	1 500

(*) Ces nombres ne sont donnés qu'à titre indicatif, il faut y voir un ordre de grandeur pour les ateliers courants.

(**) Par dynamos en général ; par redresseurs également ; entraînement, nickelage, chromage, etc.

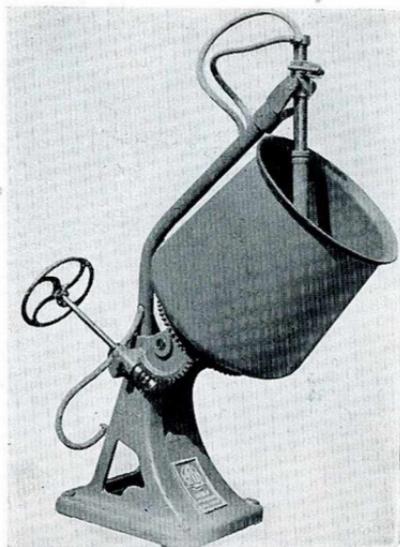


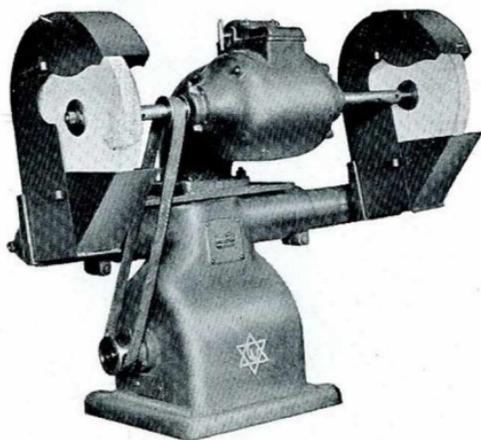
Fig. 33. — Tonneau d'électrolyse

Ci-dessus : Position normale de travail

Ci-dessous : Position de vidange



(Documents Damien)



(Document Grauer & Weil)

Fig. 34
Machine à polir

et susceptible de grandes variations, ainsi qu'en font foi, à titre d'exemples, les diagrammes des figures 37 et 38 (les à-coups de courant sont essentiellement provoqués par l'unique moteur du polissage). De tels à-coups sont d'ailleurs dans la norme et n'apportent pratiquement aucune perturbation gênante

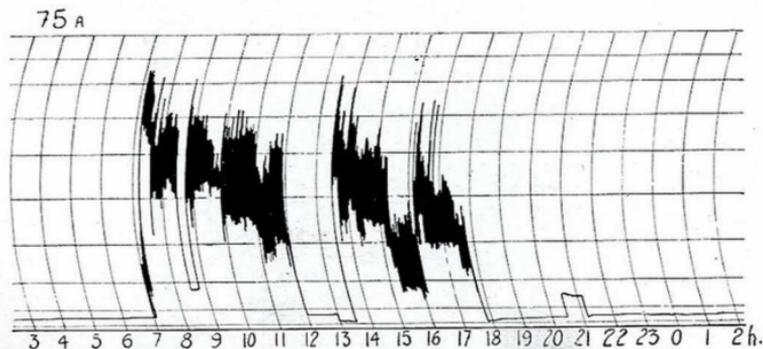
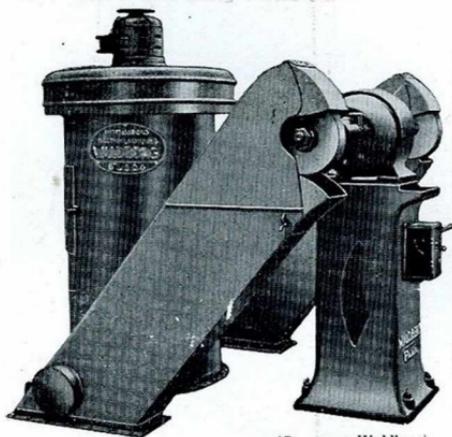


Fig. 37. — Diagramme quotidien (intensité)
d'un petit atelier de nickelage



(Document Waldberg)

Fig. 35
Machine à polir

dans l'installation, si les lignes en sont calculées correctement.

On emploie, pour le polissage (fig. 34 à 36) :

1) Soit un seul moteur de puissance relativement grande qui entraîne une ou plusieurs transmissions commandant toutes les meules ;

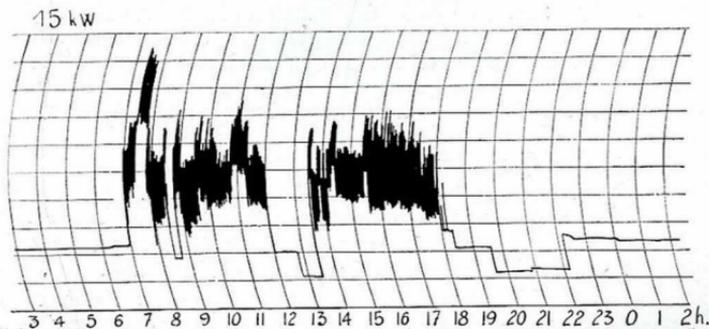
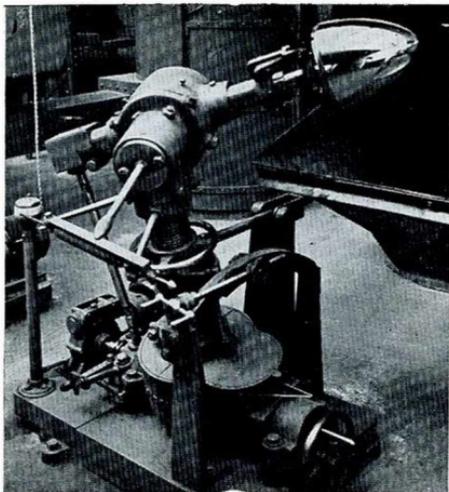


Fig. 38. -- Diagramme quotidien (puissance) d'un petit atelier de nickelage
(Chauffage de nuit ; bains et eau)



(Document Damien)

**Fig. 36. — Machine automatique à polir
(moteur de 8 ch pour le tour
moteur de 0,2 ch pour l'entraînement)**

2) Soit des moteurs séparés qui actionnent individuellement les tourets.

La solution à adopter dépend des conditions locales et particulières : nature exacte du travail à effectuer, prix d'achat du matériel et frais d'installation, dépense d'énergie électrique (fonction de la marche de l'atelier : fonctionnement permanent ou très intermittent des machines pendant les heures de travail normal de l'atelier — et du facteur de puissance qui en résultera), place disponible (encombrement), etc.

La vitesse de polissage peut être accrue :

1) En augmentant le diamètre de la meule, donc la vitesse circonférentielle (mais vitesse limite à cause des abrasifs) ;

2) En augmentant la pression de l'objet sur la meule (mais pression limite à cause des dangers d'incendie).

On peut utiliser des machines automatiques à grande vitesse de polissage ; la puissance électrique en est évidemment plus élevée. On utilise également des disques nouveaux avec une puissance pouvant atteindre 15 ch par touret.

L'aspiration des poussières du polissage peut se faire :

- 1) Soit par un système de collecteur avec ventilateur unique ;
- 2) Soit par tourets à aspiration individuelle.

La solution à adopter (aspiration collective, aspiration



(Document Grauer & Weil)

Fig. 39. — Filtre

individuelle, combinaison des deux systèmes) dépend du cas particulier considéré.

L'aspiration des vapeurs, buées et gaz dangereux pour la santé des ouvriers ou susceptibles d'incommoder le voisinage, doit se faire à l'endroit et au moment de la formation, soit au moyen de ventilateurs entraînés par moteurs électriques, soit au moyen de cheminées ou de tous autres dispositifs.

Les figures 39 et 40 donnent des photos de filtres.

Pour fixer les idées, la consommation électrique des moteurs du polissage dans les ateliers que nous considérons est généralement de l'ordre de 50 p. 100 de la consommation globale de l'ensemble : éclairage et force motrice (polissage, groupes moteurs-dynamos, etc.).



(Document Danien)

Fig. 40. — Filtre

Par suite, surtout, de la charge irrégulière du ou des moteurs du polissage, le **facteur de puissance** propre des ateliers de « nickelage » est en général peu élevé, par exemple 0,40 à 0,60. On en réalise l'amélioration :

1) Soit en installant une batterie de condensateurs statiques sur l'ensemble de l'installation (au départ des lignes de basse tension — éventuellement, plusieurs éléments judicieusement répartis dans l'usine). Ces appareils ne demandent aucun entretien. Il faut éviter de les placer dans les ateliers de polissage et surtout dans ceux d'électrolyse

(attaque des boîtiers et bornes d'alimentation par les vapeurs acides) ;

2) Soit en compensant le ou les principaux moteurs des groupes d'électrolyse au moyen de courant continu injecté dans le rotor (synchronisation du moteur) ; mais ceci nécessite l'intervention d'un spécialiste et n'est pas toujours possible ou facile à réaliser, ni économique ;

3) Soit enfin en utilisant un ou plusieurs moteurs asynchrones synchronisés ou compensés (avec déphasage en avant du courant sur la tension).

La solution généralement la plus simple et la plus économique est la première.

b) Courant continu.

Sauf cas exceptionnels, on obtient la transformation du courant alternatif en courant continu :

Soit par groupe moteur asynchrone ordinaire (dynamo) ;

Soit par redresseur sec (solution nouvelle).

b₁) Groupes d'électrolyse.

Les dynamos d'électrolyse sont des machines spéciales (généralement du type shunt ou plutôt à excitation indépendante), capables de débiter des intensités relativement considérables sous une faible tension.

Les valeurs *usuelles* des tensions nécessaires pour les bains sont les suivantes :

Nature du bain	Tension habituelle (*) V	Densité de courant habituelle A:dm ² (*)
Dégraissage électrolytique.	6-8	10
Dégraissage-cuivrage	6-8	10
Cuivrage	3	0,5-1 à 3
Laitonnage	3	0,5-1
Nickelage bain froid	2,5-3,5	0,2-0,5
— chauffé	4-6	jusqu'à 10
Chromage	3-6	jusqu'à 20
Cadmiage	4-7	1-2
Cobaltage	2-3	1-10
Etamage alcalin	2-3	0,5
— acide	2-3	1
Zincage (galvanisation)	2-4	1
Oxydation anodique de l'aluminium	20 ou davantage	3 (300 A:dm ²)

(*) Valeurs courantes, qui, pour des surfaces normales de pièces à traiter, conduisent à des intensités de l'ordre de 100 à 300 A, en général.

Par souci d'économie, on réduit le plus souvent le nombre des groupes au minimum et on adopte par exemple :

Un groupe à 4-5 V pour le cuivrage, le nickelage, le chromage et le cadmiage ;

Un groupe à 8-10 V pour le dégraissage et le dénickelage ;

Un groupe à 14-15 V pour les tonneaux.

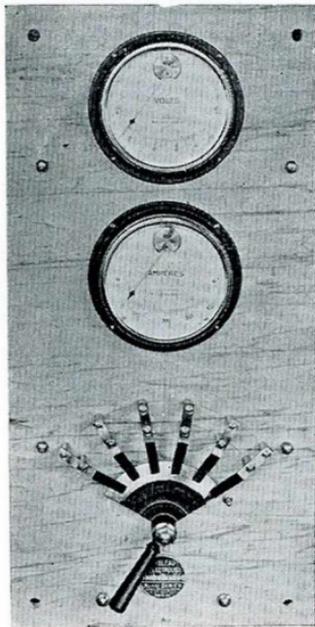


Fig. 41. — Tableau de commande et de réglage des bains

Fréquemment, on dispose d'un groupe spécial pour le chromage.

La dynamo est choisie de telle façon qu'elle puisse fournir la tension voulue aux électrodes de tous les bains alimentés, compte tenu des chutes de tension (fonction de l'intensité demandée, laquelle dépend des pièces en traitement) et des variations de la résistance des solutions. D'où la nécessité d'installer, en principe, deux sortes de rhéostats de réglage (se reporter aux photos des figures précédentes : 3 à 9 et 19 à 28 et 41 et 42) :

1) Un rhéostat sur le circuit d'excitation de la dynamo, permettant d'en faire varier éventuellement la tension pour que celle-ci reste dans des limites assez étroites pendant le cours du travail ;

2) Un rhéostat supplémentaire par bain, placé dans le circuit de grosse intensité (résistances en série ou en parallèle suivant l'importance de l'intensité) et permettant de disposer

aux électrodes de la tension voulue.

Il est utile de prévoir des appareils de contrôle et de protection : voltmètre, ampèremètre, interrupteur à rupture brusque pour la dynamo ; voltmètres et ampèremètres sur les circuits à courant continu des différents bains ; disjoncteur ou interrupteur à rupture brusque et coupe-circuit pour le moteur.

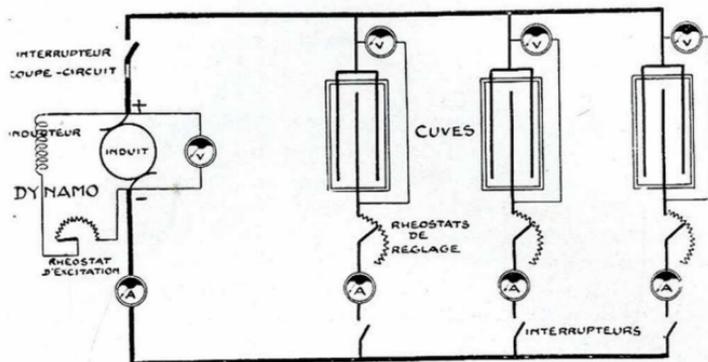


Fig. 42

Les bains sont alimentés soit en série, soit en parallèle, soit suivant tout autre combinaison.

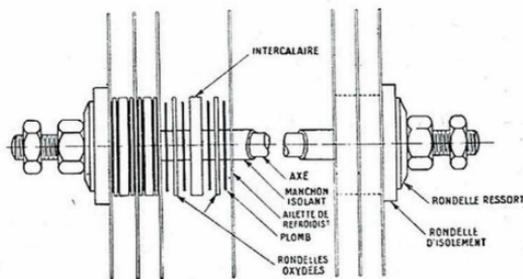
Il y a lieu de prendre certaines précautions pour éviter l'action des courants secondaires :

Courants parasites passant d'une cuve à l'autre par le sol et par les tuyauteries de chauffage, de filtration, d'insufflation et provoquant des phénomènes anormaux d'électrolyse (déséquilibre, appauvrissement des bains, etc.) ; pour y remédier, assurer un isolement électrique convenable des cuves (isolateurs en porcelaine par exemple) et des tuyauteries.

Courant dérivé à l'intérieur même des cuves entraînant une usure rapide du fond métallique et un recouvrement des parois par un dépôt électrolytique de métal ; pour y parer, utiliser des cuves en substance électriquement isolante (par exemple, protection en verre armé pour les cuves de tôle des bains de chrome) ou employer des écrans.

b) Redresseurs.

L'emploi des redresseurs en électroplastie est nouveau. Un assez grand nombre de tels appareils sont en service à l'étranger ; quelques installations sont réalisées ou en cours de réalisation en France.



(Schéma Freins Westinghouse)

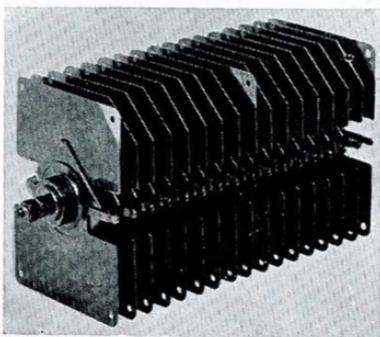
Fig. 43. — Élément redresseur à oxyde de cuivre

Principe des redresseurs secs.

Il en existe deux sortes : les redresseurs à oxyde de cuivre et les redresseurs au sélénium.

Redresseurs à oxyde de cuivre : soit un couple constitué par une rondelle de cuivre et une rondelle d'oxyde de cuivre pressées l'une contre l'autre. Si l'on applique à cet ensemble une tension continue, le courant passera facilement dans le sens oxyde-cuivre ; dans le sens inverse cuivre-oxyde, le courant sera négligeable. (Fig. 43 et 44.)

Redresseurs au sélénium : soit un élément comportant un



(Document C¹⁶ Electro Mécanique)

Fig. 44. — Élément redresseur à oxyde de cuivre

disque de fer nickelé (formant première électrode), une couche de sélénium, une deuxième électrode à base de cadmium (déposé directement sur le sélénium et faisant corps avec lui) : le sens de passage du courant sera le sens fer-sélénium. (Fig. 45.)

En résumé : Dans les deux cas, on utilise l'effet de valve, c'est-à-dire l'effet de conductibilité — pratiquement à sens unique — d'un couple métallique,

pour réaliser le redressement d'un courant alternatif.

Montage des éléments redresseurs.

Le montage de la figure 46 ne permet de redresser qu'une alternance d'un courant alternatif monophasé. Pour redresser les deux alternances, on a recours à un moyen approprié, par exemple le montage en pont de Wheastone de la figure 47.

En pratique, l'alimentation se faisant en courant polyphasé, on adopte un montage tel que, par exemple, celui de la figure 48, relatif à du courant triphasé.

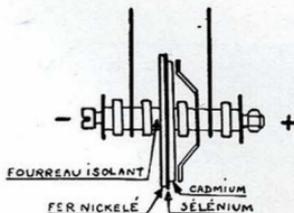
Nature du courant redressé.

Le courant redressé n'est pas du courant continu, mais du courant ondulé (fig. 49) parfaitement utilisable en électroplastie.

Constitution des redresseurs.

Un redresseur comprend normalement (fig. 8 et 50 à 54) .

Les éléments redresseurs proprement dits, dont le nombre et le montage dépendent des caractéristiques électriques désirées pour le redresseur ; un élément a une tension et une intensité propres ; la tension continue à obtenir pour le redresseur fixera le nombre d'éléments à mettre en série, tandis que l'intensité totale à débiter donnera le nombre d'éléments à grouper en parallèle : Les éléments sont placés dans un caisson métallique convenable au sommet duquel on dispose pour



(Schéma le Matériel Téléphonique)

Fig. 45. — Élément redresseur au sélénium

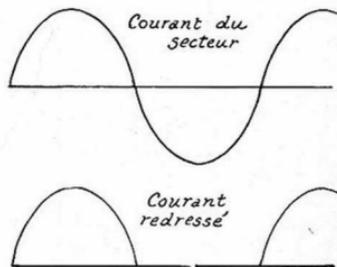
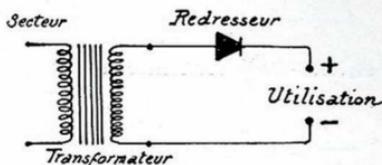


Fig. 46

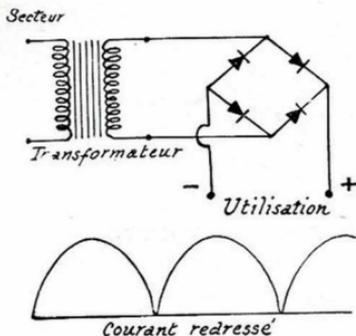


Fig. 47. — Élément redresseur au sélénium

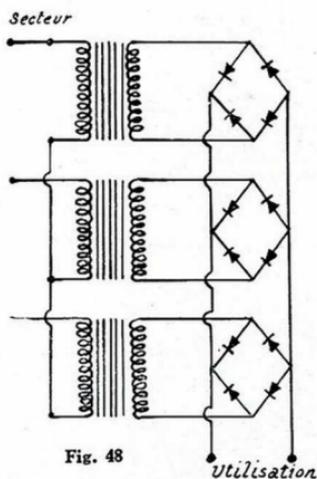


Fig. 48

transformateur à prises secondaires multiples ;

Changement des prises au primaire du transformateur, ce changement pouvant, suivant la construction, être effectué en charge (par exemple à l'aide d'un dispositif à noyaux tournants) ou hors circuit ;

Utilisation de rhéostats placés en série dans le circuit d'alimentation

certains types d'appareils un ventilateur qui assure une dissipation accélérée de la chaleur évacuée par les éléments et permet d'augmenter l'intensité que ceux-ci peuvent débiter ;

Le transformateur-abaisseur (dans l'air ou dans l'huile suivant la puissance) alimentant les éléments à une tension alternative légèrement supérieure à la tension continue désirée ;

Les appareils de commande, de protection et de contrôle, interrupteurs et fusibles ou disjoncteurs ou contacteurs permettant éventuellement la commande à distance, voltmètres et ampèremètres ;

Les appareils de réglage de la tension et de l'intensité du courant redressé.

Réglage.

Suivant les cas, ce réglage pourra être réalisé, soit par une, soit simultanément par plusieurs des dispositions suivantes :

Emploi de plusieurs redresseurs de tension différente, alimentés par des transformateurs séparés ou par un seul

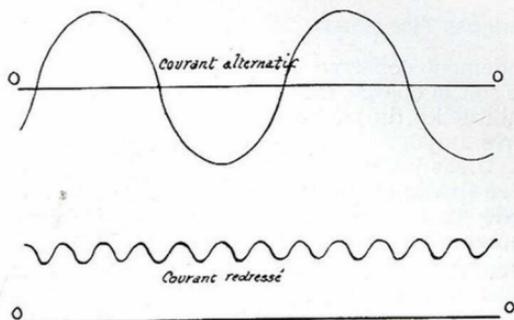
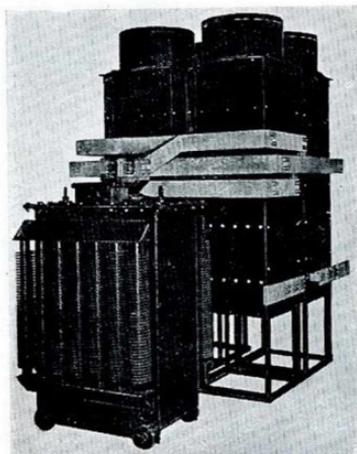


Fig. 49



(Document Freins Westinghouse)

Fig. 50. — Redresseur à oxyde de cuivre
7 V, 3 000 A, avec ventilateur

mentation des cuves (comme dans le cas de l'alimentation par dynamos : rhéostats parfois dénommés « rhéostats d'absorption »);

Utilisation de régulateurs d'induction (par exemple pour des grandes cuves à fonctionnement automatique).

Caractéristiques électriques.

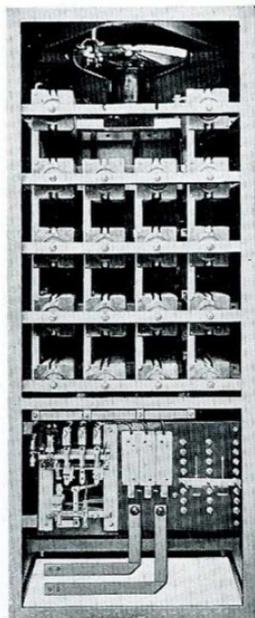
Le rendement conserve une valeur sensiblement constante, quelle que soit la charge, dans les limites habituelles du travail, ce qui est très important en électroplastie. Il semble qu'il puisse atteindre en pratique une valeur moyenne de 55 à 85 p. 100 au maximum, suivant les cas.

Le facteur de puissance moyen est excellent (supérieur à 0,80).

Les redresseurs secs peuvent supporter des surcharges instantanées assez grandes (par exemple 200 p. 100).

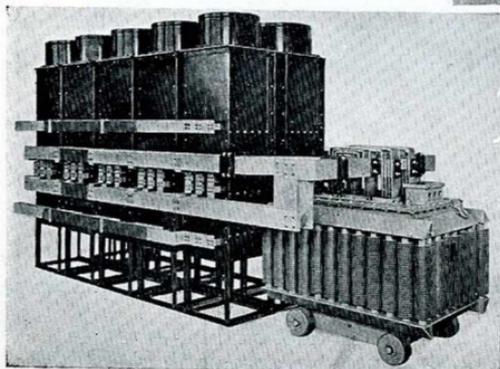
Entretien.

Il se réduit au nettoyage périodique pour enlever les poussières recouvrant les éléments. Si le redresseur se trouve dans un lieu humide, ces derniers peuvent être protégés par un vernis spécial.



(Document C10
Electro-Mécanique)

Fig. 52 
Redresseur à oxyde
de cuivre 8 V, 700 A
avec ventilateur



← Fig. 51
Redresseur à oxyde
de cuivre 5 V,
12 000 A avec ven-
tilateur.

(Document
Freins Westinghouse)

Conclusion.

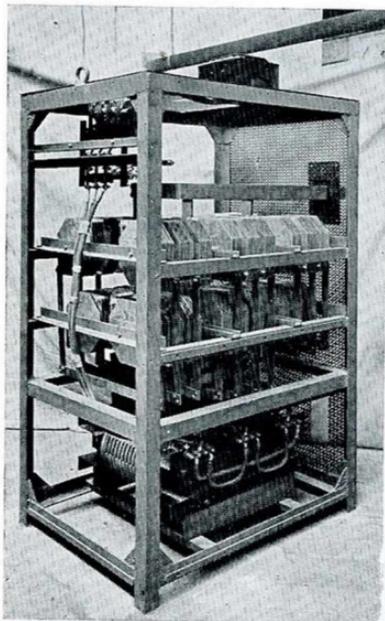
Les redresseurs semblent devoir retenir l'attention des électroplastistes pour les raisons suivantes :

Pas d'inertie, donc fonctionnement simple et souple (pas de surveillance ; commande à distance facile à réaliser ; mise en route et arrêt instantanés, d'où possibilité de réduire au minimum les marches à vide et par suite économie d'énergie électrique) ;

Entretien négligeable (pas de pièces tournantes, pas de balais, pas de collecteur) ;

Rendement et facteur de puissance élevés ;

Durée très grande

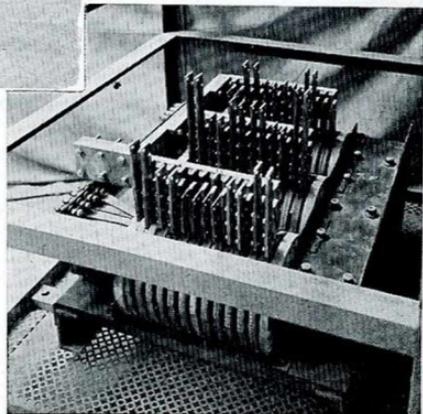


(Document Damien)

Fig. 53 A
Redresseur au sélénium
7,5 V, 2 000 A

Fig. 54 →
Transformateur 7,5 V, 3 000 A
redresseur au sélénium
(en construction)

(Document Damien)



- (fonctionnement statique, donc théoriquement aucune usure) ;
- Installation simple (pas de massif) et souple (déplacement facile). Faible encombrement horizontal ;
- Sécurité plus grande qu'avec les groupes rotatifs ;
- Pas de trouble radiophonique.

C 3) Usages thermiques

- On peut envisager le chauffage :
- Des bains et en particulier des bains électrolytiques ;
- Des solvants ;
- De l'eau ;
- De la colle, de l'émeri, des feutres ;
- Des étuves de séchage ;
- Des locaux éventuellement (chauffage d'appoint).

a) Chauffage électrique des bains

Considérons, en particulier, le cas des bains d'électrolyse. Il y a lieu de distinguer :

1) Le **chauffage normal** des bains travaillant à chaud, c'est-à-dire qu'il est nécessaire d'amener à une température convenable (généralement de l'ordre de 30-40° C) pour obtenir le résultat voulu.

2) Le **réchauffage** exceptionnel des bains en hiver, pour éviter les inconvénients dus au froid (Ex. : avec un bain de nickelage : cristallisation des sels, réduction de la vitesse de formation du dépôt, diminution du pouvoir de pénétration, mauvaise qualité et vilain aspect du dépôt).

Le réchauffage peut s'appliquer non seulement aux bains travaillant normalement à la température ambiante, mais aussi aux bains travaillant normalement à chaud (réchauffage avant la reprise du travail afin d'éviter toute perte de temps, et également en dehors des heures de travail pour éviter la cristallisation).

Modes de chauffage.

Du point de vue de l'électricien, qui est essentiellement le nôtre, deux méthodes peuvent être examinées :

- 1) On fait passer le courant électrique directement dans le

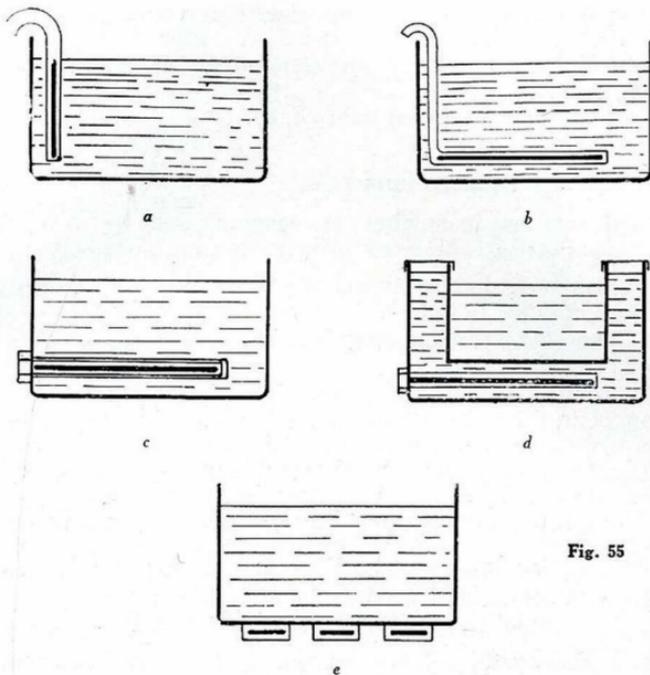


Fig. 55

bain, d'où échauffement par effet Joule ($P = r i^2$, P = puissance électrique transformée en chaleur, r = résistance électrique du bain, i = intensité du courant). Cette méthode conduirait dans la pratique à la superposition de courant alternatif (à basse tension : 10 V par exemple) au courant continu d'électrolyse. Elle a été adoptée dans certaines industries électrochimiques, pour le raffinage électrolytique de métaux précieux par exemple ; nous n'en connaissons pas d'application régulière en électroplastie (des inconvénients d'ordre électrochimique en sont probablement la cause).

Notons en passant que le courant continu qui traverse le bain y produit un effet Joule qui est sensible ; par exemple, dans le cas de bains de chrome travaillant à densité de courant élevée ;

2) On utilise des éléments chauffants appropriés placés (fig. 55) :

Soit dans le bain lui-même ; éléments immergés, cas le plus fréquent (*a, b, c*).

Soit extérieurement au bain (*d, e*).

Chauffage par éléments immergés.

1) **Conditions techniques et économiques.** — L'élément chauffant doit satisfaire aux principales conditions suivantes :

Durée. — Il doit avoir une vie aussi longue que possible, ce qui implique :

α) Une construction soignée tenant compte de considérations :

D'ordre électrique : résistance chauffante (nature, section et longueur, disposition, amenées de courant, tension), support de la résistance et isolement ;

D'ordre thermique : densité surfacique en cal:cm² de la surface de contact avec le bain, température interne ;

D'ordre mécanique : résistance aux chocs et aux déformations ;

D'ordre chimique : résistance de la gaine et des parties extérieures à l'action corrosive des liquides et des vapeurs ;

β) Un emploi raisonné de la part de l'utilisateur.

Encombrement. — L'encombrement doit être assez réduit, car la place dont on dispose est généralement limitée et il faut éviter de diminuer le volume utile du bain.

Entretien. — L'élément doit être facile à démonter, de façon à en permettre le nettoyage aussi souvent qu'il sera nécessaire ou le remplacement éventuel.

Transmission de chaleur. — La surface en contact avec le bain doit être suffisamment importante pour assurer un échange convenable de la chaleur et pour éviter toute détérioration de l'électrolyte due à une surchauffe locale.

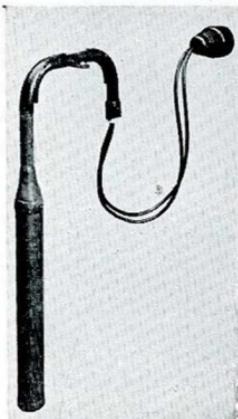
Prix. — L'élément doit être enfin d'un prix d'achat aussi réduit que possible.

2) **Description.** — Un élément comporte en principe :

La résistance chauffante et son support ;

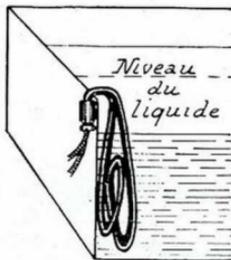
La gaine métallique qui l'entoure et le protège ;

L'amenée de courant.



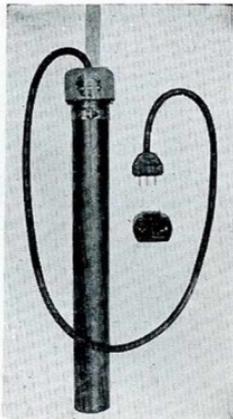
(Document Grauer & Weil)

Fig. 56



(Schéma Alsthom)

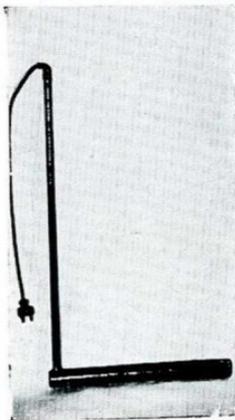
Fig. 58



(Document Dcmien)

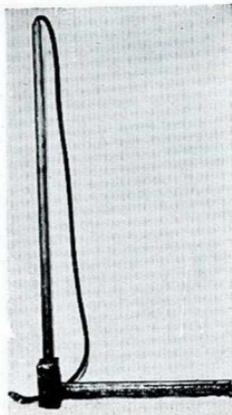
Fig. 57

Fig. 56 à 60
Éléments chauffants



(Document Waldberg)

Fig. 59



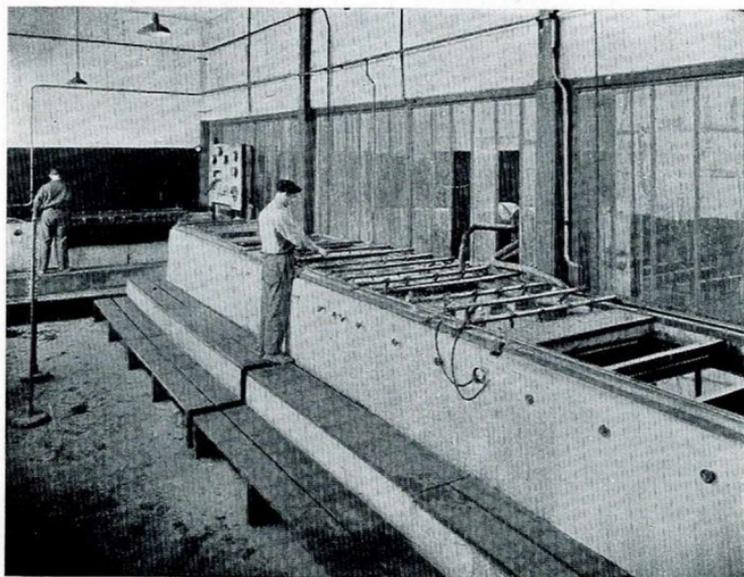
(Doc. Métallurgie du Nickel)

Fig. 60

Résistance chauffante. — En général, elle est constituée par du fil de nickel-chrome boudiné (autant que possible, du nickel-chrome à 80 p. 100 de nickel et 20 p. 100 de chrome). Cette résistance est montée sur un support isolant approprié (ex. : stéatite, isolement assuré par la stéatite et par l'air) ou enrobée dans la poudre de magnésie (bon isolant électrique ayant cependant la propriété particulière d'être relativement bon conducteur de la chaleur).

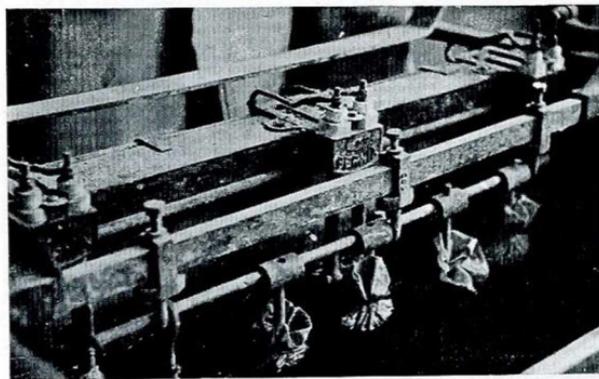
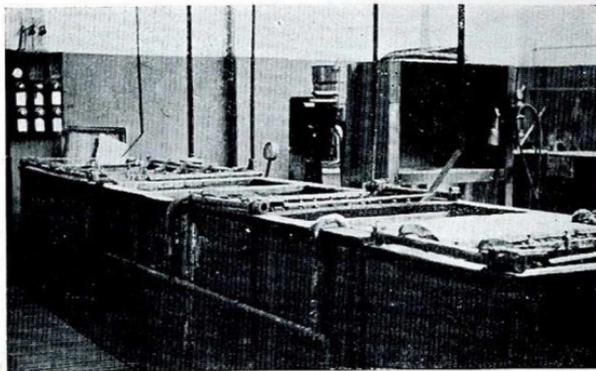
Gaine. — Elle est généralement en fer, en acier, en cuivre (le plus souvent, dans ces trois cas, elle est enrobée de plomb si elle doit résister à l'attaque des acides), en plomb, en métal inoxydable. Le choix de la nature de l'enveloppe extérieure en contact avec l'électrolyte dépend de la composition du bain.

Forme. — (Fig. 56 à 60.) L'ensemble de la gaine et de la résistance qu'elle contient réalise un élément cylindrique (le plus souvent) ou plat (rectangle très allongé).



(Document Damien)

Fig. 61. — Installation d'électrolyse avec chauffage électrique de bains par éléments immergés



(Document Métallurgie du Nickel)

Fig. 62 et 62 bis. — Installation de nickelage à haute température avec chauffage électrique par éléments d'immersion

Les éléments sont :

Soit rectilignes : éléments placés dans le bain soit verticalement, soit horizontalement (éléments soudés à la cuve ou placés dans une gaine elle-même soudée à la cuve) ;

Soit soudés en équerre (partie chauffante horizontale) ;

Soit de formes diverses.

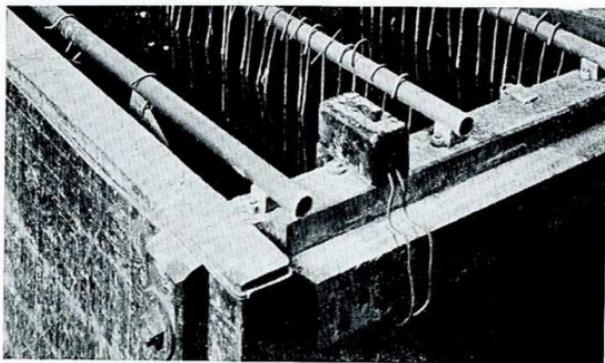


Fig. 63. — Cuve de nickelage avec élément chauffant immergé

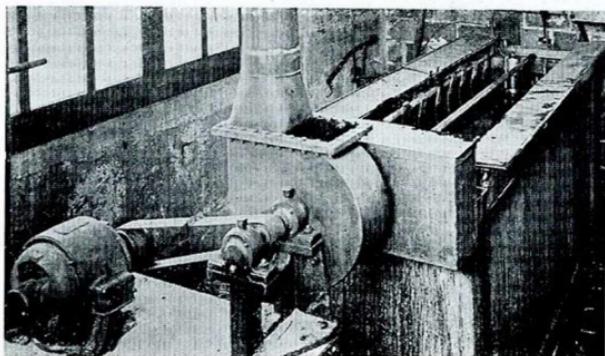


Fig. 64. — Cuve de chromage avec élément chauffant d'immersion

Disposition des éléments dans le bain. (Fig. 55, 58 et 61 à 64.)

— On peut placer les éléments chauffants, plus exactement la partie chauffante des éléments ;

Soit dans le fond de la cuve ;

Soit sur les côtés de la cuve.

Les opinions sont divergentes en ce qui concerne la valeur respective de ces dispositions.

Dans le premier cas, le courant ascendant du liquide chauffé peut provoquer un déplacement indésirable des boues et des impuretés en suspension dans le bain. Il faut que les éléments soient placés à une certaine distance du fond (où s'accumulent les boues des bains dormants, filtrés plus ou moins fréquemment), d'où une diminution parfois gênante de la hauteur utile de la cuve. Il peut y avoir échange insuffisant de la chaleur (difficulté du mouvement des liquides, boues constituant un isolement thermique), d'où destruction de l'élément et surtout de la cuve (en particulier, attaque plus rapide du fond de la cuve par l'électrolyte à cause de la température exagérée). Il faut nettoyer plus fréquemment les éléments pour enlever les boues qui se déposent à leur surface. Il est bon de protéger (par un plancher garni de trous) les éléments contre la chute ou le choc des objets qui entraîneraient l'usure du plomb protecteur. Pour certaines dispositions d'ateliers (cuves placées les unes contre les autres suivant leur plus grande dimension), l'emploi d'éléments horizontaux soudés à la cuve peut être impraticable.

Dans le second cas, le mouvement du liquide autour des éléments n'est pas gêné ; il est d'ailleurs facilité par les remous qui se produisent dans la partie supérieure du bain au moment du remplacement des objets en traitement. Les éléments peuvent être disposés dans les espaces ouverts constitués par les angles de la cuve. Mais les amenées de courant sont plus difficiles à protéger et l'élément peut être plus vulnérable.

En pratique, on choisit la solution qui semble la plus convenable pour le bain et la cuve considérés, compte tenu de la disposition des autres cuves et de la construction des éléments envisagés et on adopte généralement plusieurs éléments, tout au moins pour les cuves importantes, ce qui assure d'ailleurs une meilleure répartition de la chaleur.

Amenée de courant. — Elle comporte les parties suivantes :

Bouchon terminus. — La nature et la forme des éléments qui le constituent doivent être particulièrement étudiés, surtout pour les éléments verticaux ou en équerre, si l'on veut éviter :

L'action corrosive de l'électrolyte (liquide et vapeurs) qui détruirait rapidement le bouchon et pourrait pénétrer dans la gaine ;

L'action destructive des chocs (par les pièces que l'on met dans le bain ou que l'on en sort) ;

Le danger d'électrocution des ouvriers.

Câbles d'aménée de courant. — « Sous gaine de caoutchouc étanche adhérente munie de protection mécanique, non métallique, sans solution de continuité » (Publication C. 11 de l'Union des Syndicats de l'Electricité, article 125, édition 1930) pour les appareils portatifs ou sous tube protégé par un revêtement inattaquable aux acides.

Interrupteur et coupe-circuit. — Eventuellement sur l'appareil même.

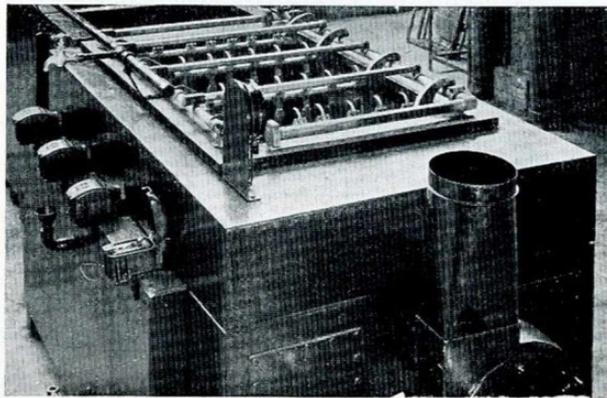
Dispositif de mise à la terre. — Eventuellement.

3) **Caractéristiques électriques courantes.** — Tension : 110-120 V ; puissance : 1-2 kW, voire quelquefois davantage.

4) **Entretien.** — Il n'y a qu'à nettoyer régulièrement la gaine, de façon à permettre à la chaleur d'être transmise facilement : au bout d'un certain temps, l'élément peut en effet être recouvert de boue, voire de cristaux de sels (par ex. : après une certaine période d'arrêt, en particulier en hiver).

5) **Durée pratique.** — La durée des éléments dépend, nous l'avons vu, de la valeur de la construction et des conditions d'emploi. Il est utile, en particulier, de prendre les précautions suivantes :

Ne mettre l'appareil sous tension que s'il est dans le bain



(Document Grauer & Weil)

Fig. 65. — Cuve de chromage avec éléments chauffants placés dans le bain-marie

(dans l'air en effet, la transmission de chaleur ne pourra se faire assez rapidement et l'élément pourra « griller » ou tout au moins le plomb pourra fondre).

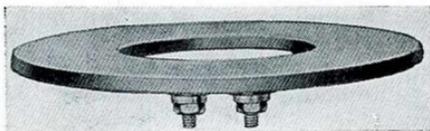
Ne pas alimenter, en principe, sous une tension supérieure à la tension prévue par le constructeur (la puissance est fonction du carré de la tension $P = \frac{U^2}{R}$; R, résistance de l'élément) : donc préciser la valeur de U lors de la commande d'un appareil ;

Gratter la couche du sel régulièrement avec une brosse par exemple une fois par semaine ;

Eviter, lors d'un déplacement (exceptionnel en règle générale) de l'élément, de toucher accidentellement les anodes et les cathodes pour éviter la fusion partielle, par court-circuit, du plomb recouvrant la gaine.

Souvent, les éléments sont constitués de telle façon que seule la partie qui plonge dans le bain soit chauffée : on peut éviter ainsi d'avoir une température exagérée au bouchon d'amenée de courant et à la surface de la partie de l'élément non immergée (la destruction de la gaine se fait surtout au niveau de l'électrolyte).

Les éléments bien construits et correctement utilisés, ont une durée très longue. Le nombre d'éléments plongeants verlus en France au cours des douze derniers mois (juillet 1936, juillet 1937) par les principaux constructeurs est de l'ordre de 1 000, soit environ 2 000 kW. Nous en connaissons qui sont en service régulier depuis plusieurs années et qui sont en parfait état. Les causes de détérioration que nous avons pu relever, sont les suivantes :



(Document Chromalox)

Fig. 66. — Élément chauffant circulaire semi-blindé

Construction défectueuse (plombage en particulier : attaque rapide par les acides, manque de protection mécanique et chimique de l'amenée de courant) ;

Utilisation défectueuse (courants parasites dus au mauvais isolement des cuves et entraînant un fonctionnement anormal de bains, éléments maintenus sous tension en dehors des cuves ou dans des cuves presque vides : cuves percées accidentellement).

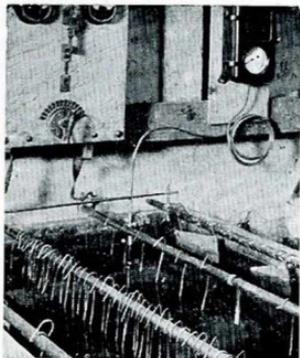


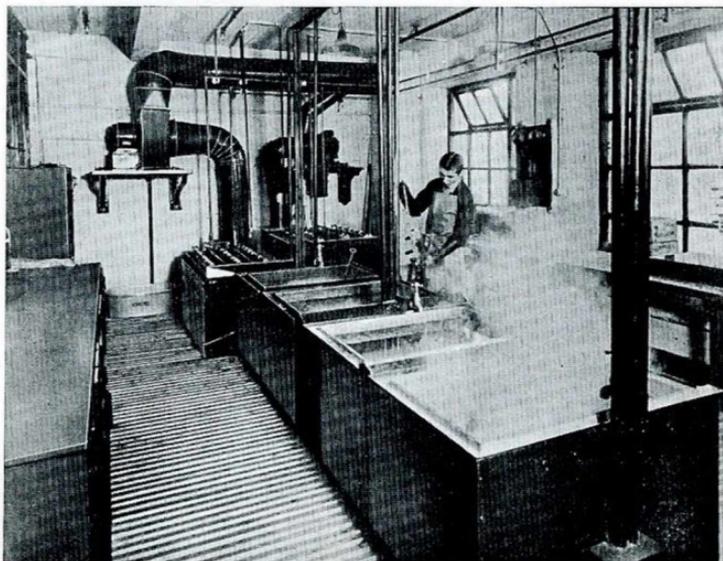
Fig. 67. — Cuve de nickelage chauffée par élément immergé, avec régulation automatique de la température (thermostat séparé).

Chauffage par éléments extérieurs.

On peut réaliser ce chauffage :

a) Par circulation d'un fluide (eau, huile, vapeur d'eau) chauffé ou produit extérieurement au moyen d'éléments électriques et traversant une tuyauterie placée dans le bain ou dans un bain-marie. Nous ne connaissons personnellement aucun exemple de cette application ;

b) Par bain-marie. Exemple : chauffage d'un bain de chrome à double paroi métallique au moyen d'éléments plongeants horizontaux placés dans le bain-marie (eau contenue entre les deux parois). (Fig. 65) ;



(Document Chromalox)

Fig. 68. — Installation de chromage avec éléments chauffants placés sous les cuves

(Schéma Arpin)

Fig. 69. — Élément chauffant et thermostat groupés en un seul appareil.

a, fusibles ; *b*, résistance ; *c*, steatite ; *d*, tube acier ; *e*, gaine Pb ; *f*, capot du thermostat ; *g*, presse-étoupe de sortie de fils ; *h*, thermostat.

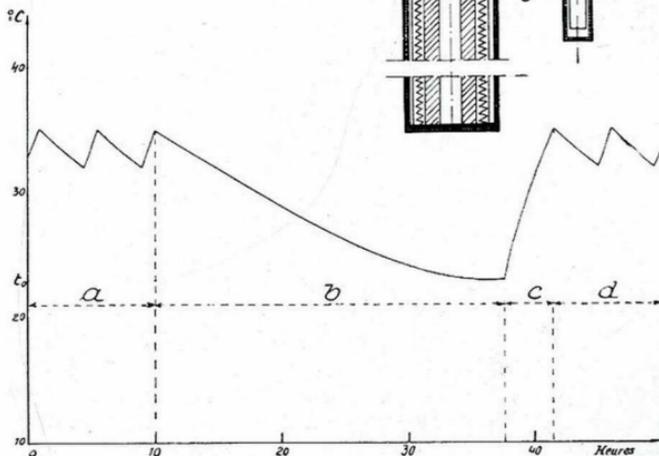
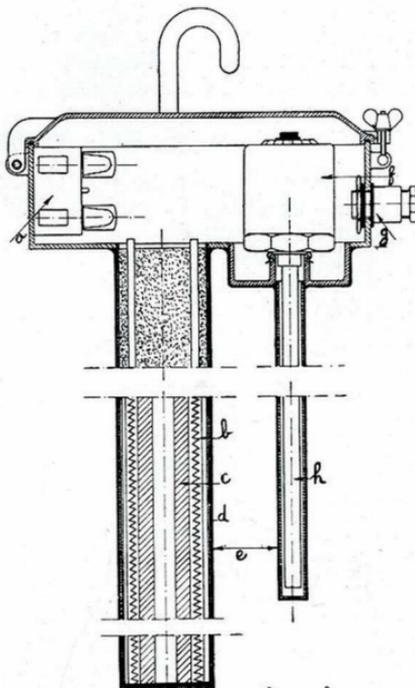


Fig. 70. — Courbe de température d'une cuve de chromage de 900 I avec régulation automatique

= 2 kW ; *a* et *d* = maintien en température (32-35° C) ; (*b* = courbe de refroidissement cuve non calorifugée et sans couvercle) ; *c* = remontée en température

c) Par éléments appuyés directement contre les parois de la cuve. Exemple : chauffage d'un bain de chrome à paroi métallique au moyen d'éléments circulaires semi-blindés disposés sous le fond de la cuve métallique. (Fig. 66 et 68.)

Régulation automatique de la température.

Les appareils robustes offerts sur le marché sont d'un prix relativement élevé. Cependant, l'intérêt qu'ils présentent est tel que l'on peut, dans certains cas, en envisager l'emploi économique. (Fig. 67 et 70.) La tendance de certains constructeurs semble être de grouper en un seul appareil l'élément chauffant et le thermostat (fig. 69).

b) Chauffage des solvants.

Nous distinguerons le chauffage du trichloréthylène et celui des solvants alcalins.

Dégraissage au trichloréthylène.

Propriétés du « tri ».

Formule du corps pur : $C^2 HCl^3$;

Densité du liquide : 1,47 ;

Densité de la vapeur : environ quatre fois celle de l'air ;

Chaleur spécifique : 0,221 ;

Chaleur de vaporisation : 56 cal ;

Température d'ébullition : 87° C.

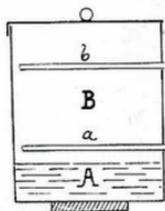


Fig. 71

Principe du dégraissage. — On dégraisse :

- 1) Soit dans le liquide à l'ébullition ;
- 2) Soit dans les vapeurs du « tri ».

Appareils de dégraissage. — Deux sortes :

- 1) Les appareils à marche discontinue. Ce sont les plus fréquents ;
- 2) Les appareils à marche continue.

Principe du fonctionnement des appareils à marche discontinue. — Un réservoir inférieur A (fig. 71) contenant le « tri » liquide est chauffé au moyen d'un dispositif approprié. Les vapeurs s'élèvent et se maintiennent dans la zone B limitée à sa partie supérieure par un condenseur à eau. Sur les pièces à traiter, placées dans cette zone, les vapeurs se condensent et ruissellent à la surface. Le séchage des pièces s'effectue dans la zone supérieure où la pellicule de « tri » liquide

qui les recouvre s'évapore instantanément tout en restant dans l'appareil. On limite ou évite ainsi toute perte de « tri » (coûteux) et toute émanation dangereuse.

Les opérations successives sont les suivantes : introduire l'eau froide dans le condenseur inférieur *a*), chauffer le « tri », introduire les pièces, fermer le couvercle, interrompre le courant d'eau dans *a*), introduire l'eau froide dans *b*). Au bout d'un certain temps, interrompre le courant d'eau dans *b*), introduire le courant d'eau froide dans *a*), soulever le couvercle, sortir les pièces.

Le dégraissage dans le liquide s'opère simplement, en maintenant le courant d'eau dans *a*).

Le réservoir A peut être compartimenté pour permettre le dégraissage dans des bains graduellement plus propres.

Un distillateur convenablement placé (fig. 72) peut recueillir le « tri » distillé sur le condenseur supérieur *b*).

La régénération du liquide souillé est effectuée par distillation dans une chaudière extérieure.

On peut, dans certains cas, compléter l'appareil par un aspirateur placé à la partie supérieure et équipé avec un récupérateur de « tri ».

Éléments chauffants. — Le chauffage peut être réalisé par exemple au moyen :

- 1) D'éléments immergés à partie chauffante horizontale (fig. 73), analogues par exemple à ceux que nous avons décrits précédemment, et qui, dans certains cas, peuvent être amovibles ;
- 2) D'éléments droits placés sous la cuve de « tri » liquide ou pénétrant dans cette cuve (fig. 74 à 77) ; sur la dernière figure, les deux éléments sont enfermés dans un réchauffeur

Fig. 72
Appareil
de dégraissage
au
trichloréthylène

(Schéma Mabor)

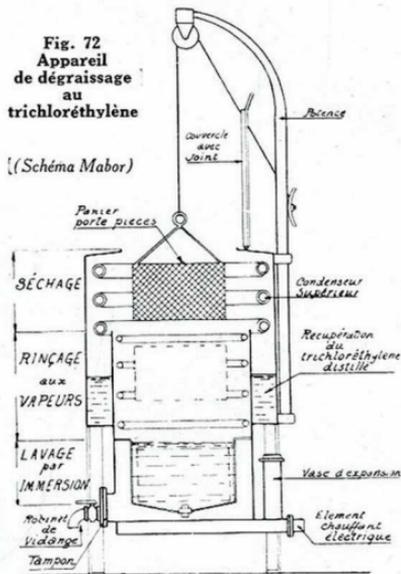




Fig. 73 bis

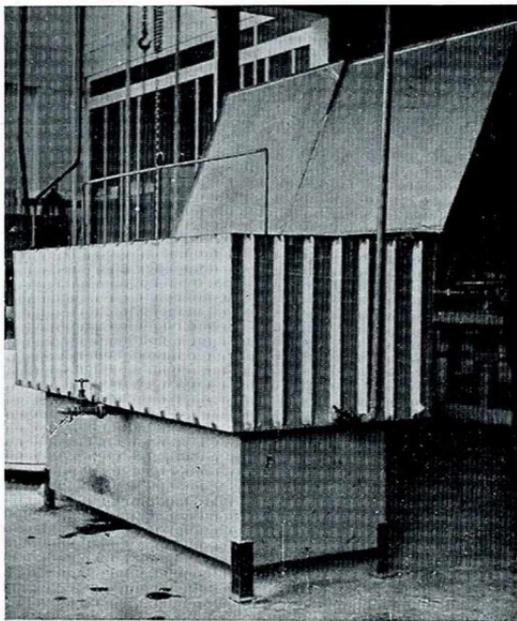


Fig. 73 et 73 bis

**Appareil
de dégraissage
au
trichloréthylène**

*(Documents
Métallurgie
du Nickel)*

rempli d'huile de sorte qu'ils ne peuvent griller, même si l'appareil se trouve accidentellement dépourvu de tri ; les éléments chauffants et le serpentin supérieur sont asservis par l'intermédiaire d'un système auto-régulateur qui comporte :

D'une part, un thermostat réglé à 87°C qui, au moyen d'un relais à contacteurs, peut mettre hors tension un des deux éléments de chauffage ;

D'autre part, une électrovanne dont le clapet est sollicité par le courant de servitude émis par le thermostat (un dispositif analogue pourrait asservir le serpentin inférieur, la commande étant prévue à la main sur le schéma de la fig. 77) ;

3) D'éléments circulaires plats placés sous la cuve de « tri » liquide (fig. 78 et 78 bis).

L'emploi d'un thermostat de réglage permet de limiter la consommation d'énergie électrique au minimum, de réduire la perte de « tri » et d'éviter toute surchauffe prolongée qui pourrait amener la décomposition de l'huile et du « tri » en présence.

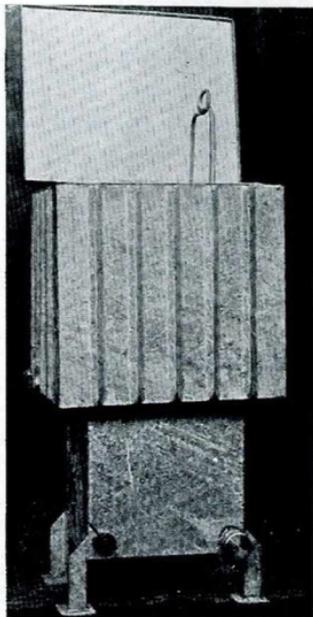
Dégraissage aux solvants alcalins.

Ce dégraissage comporte un traitement à l'eau chaude alcaline, sodée par exemple (70 à 85°C) par plongée des pièces dans la solution (fig. 79) ou par projection de la solution sur les pièces (fig. 80), suivi d'un rinçage à l'eau.

Le chauffage peut être réalisé au moyen d'éléments électriques, avec réglage de la température par thermostat.

c) Chauffage de l'eau

Le chauffage de petites quantités d'eau par l'électricité peut être intéressant à envisager. Il y a lieu, dans chaque cas



(Document Usine d'appareils électriques et chimiques)

Fig. 74. — Appareil de dégraissage à la nétoline

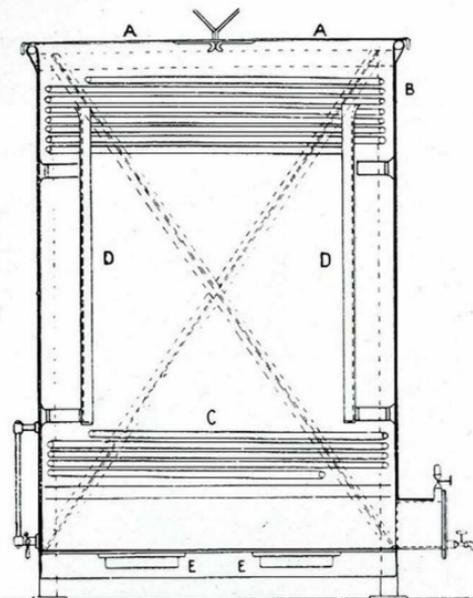


Fig. 75
Appareil de dégraissage
au trichloréthylène

(Schéma Damien)

A, couvercle coulissant en deux parties ; B, serpentin froid supérieur ; C, serpentin froid inférieur ; D, guides des cadres supports de pièces ; E, éléments chauffants électriques.

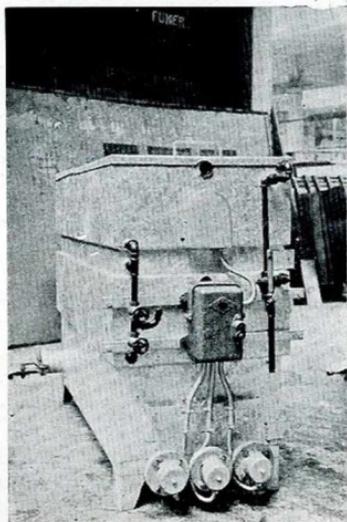


Fig. 76
Appareil de dégraissage
au trichloréthylène : 9 kW

(Document Mabov)

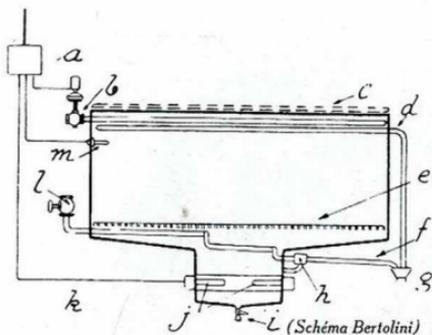
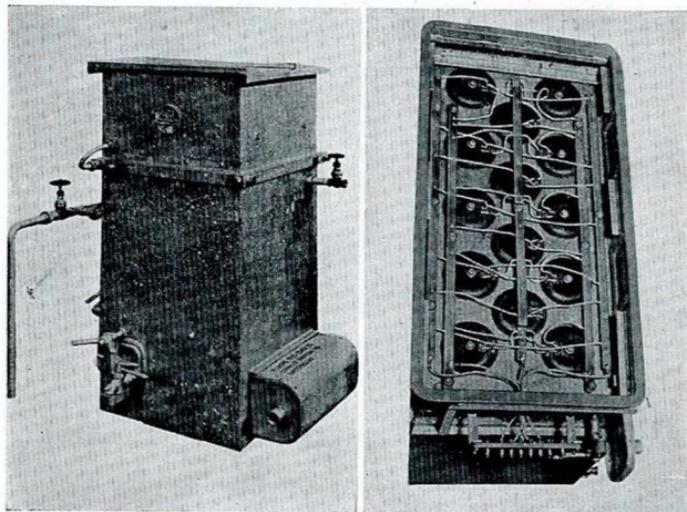


Fig. 77. — Cuve de dégraissage
au trichloréthylène

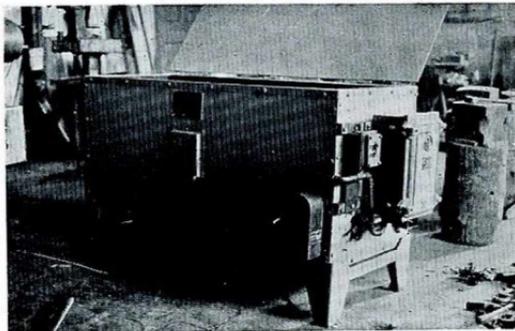
a, relais à contacteurs ; b, vanne électromagnétique ; c, couvercle ; d, serpentin supérieur ; e, grille supportant les pièces à dégraisser ; f, serpentin inférieur ; g, entonnoir de décharge des serpentins ; h, expansion du volant d'huile ; i, vidange de la cuve ; j, éléments de chauffage ($2 \times 1\,500\text{ W}$) noyés dans un réchauffeur à huile ; k, ligne de contrôle d'un des éléments chauffants ; l, vanne du serpentin inférieur ; m, thermostat.

particulier, d'établir un bilan complet en tenant compte de la dépense de premier établissement, de l'encombrement, de la disposition des ateliers, des conditions de travail, du prix de



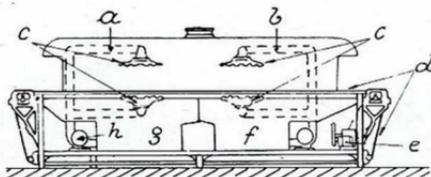
(Documents Chromalox)

Fig. 78 et 78 bis. — Appareils de dégraissage
au trichloréthylène : 14 kW



(Document Mabor)

**Fig. 79. — Cuve de dégraissage
par solvant sodé
(avec régulation automatique de la température)**



(Schéma Bertolini)

**Fig. 80. — Machine automatique
de dégraissage par projection alcaline**

a, lavage (eau chaude sodée) ; b, rinçage (eau chaude claire) ;
c, moulins tournants ; d, transporteur à tissu métallique ;
e, groupe (avancement du tapis transporteur) ; f, rinçage
clair 90° C ; g, bain sodé 70° C ; h, pompe (lavage).

l'énergie électrique, du taux de la main-d'œuvre, etc. Citons quelques exemples pratiques de production d'eau chaude :

Chauffage de cuves.

1) Par éléments plongeants verticaux, horizontaux ou d'autres formes ;

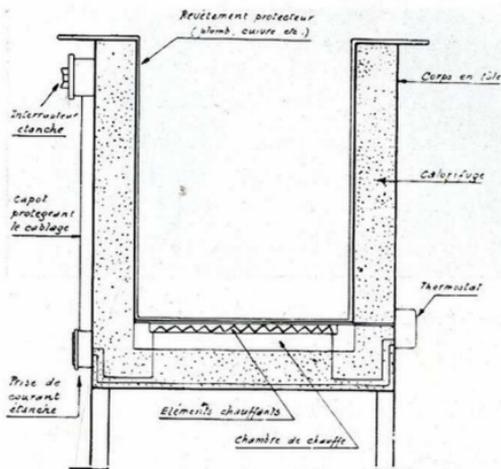


Fig. 81
Cuve d'eau
avec chauffage électrique

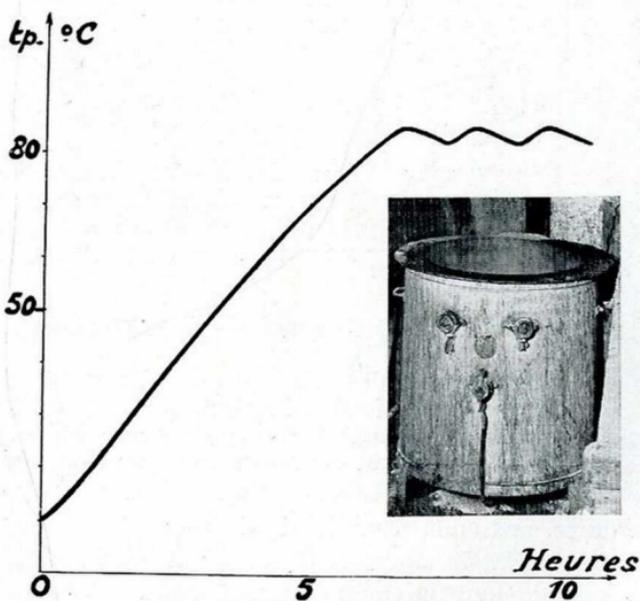


Fig. 82 et 82 bis. — Cuve d'eau 100 l; 0,9 kW
Courbe de montée et de maintien en température

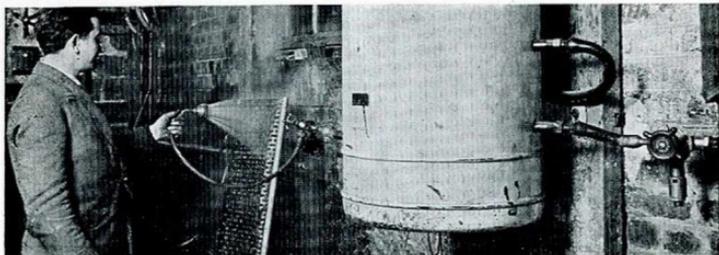


Fig. 83. — Emploi d'un chauffe-eau à accumulation pour le rinçage des pièces

2) Par éléments chauffants extérieurs placés contre le fond de la cuve (supposée métallique). La figure 81 donne la coupe d'une petite cuve de rinçage transportable équipée avec thermostat réglable limitant la consommation d'énergie électrique au minimum et fortement calorifugée, prévue pour chauffage de nuit et pendant les heures creuses de midi (donc à tarif réduit) et maintien en température pendant les heures de travail, avec vidange le soir (et à midi si nécessaire). Fig. 82 et 82 *bis*.

Emploi de chauffe-eau.

La figure 83 se rapporte à un chauffe-eau à accumulation utilisé pour le rinçage de pièces après chromage au moyen d'eau toujours très propre. Le chauffage en est réalisé en grande partie pendant les heures à tarif réduit.

d) Chauffage de la colle et de l'émeri. — Encollage des feutres

« La colle est à la meule souple (c'est-à-dire au disque à polir) ce que l'agglomérant est à la meule proprement dite. » L'emploi d'une colle convenable, rationnellement utilisée, permet de donner à l'émeri au cours du polissage, son pouvoir abrasif optimum, ce qui assure :

- La durée maximum d'emploi du disque ;
- La consommation minimum de feutres, d'émeri et de colle ;
- La main-d'œuvre minimum de rhabillage.

En principe, on doit utiliser de l'eau distillée ou tout au moins exempte de certaines substances indésirables.

La préparation et la conservation des colles doit être l'objet de soins attentifs (propreté en particulier). Le maximum de force est obtenu, suivant la nature de la colle, vers 57-65° C. Le chauffage peut être réalisé soit au bain-marie, soit directement (fig. 84 et 85). Il faut éviter la surchauffe qui réduit rapidement la force de la colle.

Les disques en feutre sont généralement encollés par les utilisateurs eux-mêmes ; ils sont montés entre deux plateaux de serrage et rectifiés après centrage, puis enduits sur la tranche d'une solution chaude de colle mi-forte et séchés, enfin recouverts d'une couche d'abrasif (mélangée à de la colle forte et séchés pendant un temps plus ou moins long, pouvant atteindre par exemple 48 h dans certains cas).

Pour obtenir de bons résultats, il faut que les disques soient propres (pas de graisse) et chauffés en

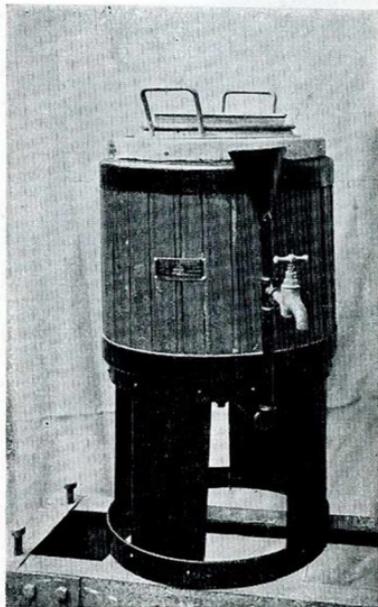


(Document Alsthom)

Fig. 84

Chauffe-colle à un compartiment

étuve à une température de l'ordre de 40° C ou davantage. L'émeri doit également être chauffé. Le séchage doit s'effectuer vers 20° C dans un local convenablement aéré, sans chauffage ni circulation d'air exagérés.



(Document Damien)

Fig. 85

Chauffe-colle
à trois compartiments

e) Séchage

On peut avoir recours :

Soit à la sciure (cas général) qui doit être renouvelée assez souvent et dont le chauffage ne semble pas recommandable : dépense relativement élevée, difficulté d'opérer correctement ce chauffage (la sciure est mauvaise conductrice de la chaleur ; l'emploi d'éléments chauffants placés dans le fond de la caisse peut renforcer simplement l'humidité de la sciure de la partie supérieure, ce qui est contraire au résultat recherché) ;

Soit à l'étuve pour les grandes pièces ou à l'**essoreuse-sécheuse** pour les petites pièces de série. (Fig. 86 et 87.)



(Document L'usine d'appareils électriques et chimiques)

Fig. 86. — Machine à sécher les petites pièces métalliques

Remarque.

Certains locaux, et en particulier ceux où l'on pratique l'électrolyse, se rangent dans les catégories dénommées : « locaux mouillés, locaux imprégnés de liquides conducteurs, locaux contenant des vapeurs corrosives » dans la publication C 11 de l'Union des Syndicats de l'Electricité (« règles à appliquer pour l'exécution et l'entretien des installations électriques de première catégorie dans les immeubles et leurs dépendances »). Les installations électriques correspondantes sont par suite soumises à des

règles spéciales (articles 123 à 135 de l'édition de 1930 de ladite publication). Par circulaire en date du 6-11-28, le ministre des Travaux publics a d'ailleurs recommandé l'application de cette publication aux ingénieurs en chef du contrôle des distributions d'énergie électrique.

Un autre règlement important est contenu dans le décret

du 4-8-35 du ministère du Travail « concernant la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques ». Rappelons, pour mémoire, que les mesures de protection que l'on doit prendre, peuvent être choisies parmi les suivantes (publication n° 307 de l'Union des Syndicats de l'Electricité) :

Isolation des personnes par rapport au sol et aux parois ;
Inaccessibilité des masses métalliques accessibles ;

Emploi d'une très basse tension (en courant continu, tension maximum de 50 V entre conducteurs ; en courant monophasé, tension maximum de 24 V entre conducteurs ; en courant triphasé, tension maximum de 24 V entre conducteurs de phase si le point neutre n'est pas à la terre et de 42 V dans le cas contraire ; en courant diphasé, tension maximum de 24 V entre conducteurs de phase si le point neutre n'est pas à la terre, de 24 V entre un conducteur de phase et le point neutre et de 34 V entre conducteurs de phase en quadrature si le point neutre est mis à la terre ;

Mise à la terre des masses métalliques accessibles ;

Liaison électrique des masses métalliques accessibles avec les objets métalliques avoisinants et reliés au sol, en vue de réaliser une connexion équipotentielle des masses et objets susceptibles d'être touchés simultanément.



(Document Damien)

Fig. 87. — Essoreuse-sècheuse

D) Données d'exploitation

Dans ce qui précède, nous avons attiré l'attention sur certaines applications de l'électricité qui apparaissent souvent

comme étant assez peu ou assez mal connues et, en particulier, du chauffage électrique industriel.

En définitive, pour un nickeleur comme pour tout autre industriel, une application nouvelle n'est intéressante que si elle permet de réaliser une économie ou d'améliorer la qualité.

Par suite des fluctuations de prix, fréquentes depuis un certain temps, il est difficile de donner des indications précises d'ordre économique. Nous nous contenterons donc d'indiquer l'ordre de grandeur (avant juin 1936) des principaux postes de dépenses dans les ateliers dont nous nous occupons dans cette étude, étant entendu d'ailleurs qu'il ne s'agit ici que de valeurs moyennes (se rapportant à quelques dizaines de petits ateliers où nous les avons relevées).

Tableau I

Désignation	Ordre de grandeur de la dépense en p. 100
Matières premières	10-15
Main-d'œuvre	40-50
Energie électrique.....	5 (3 à 15 p. 100 maximum)
Entretien, frais généraux (1) et bénéfiques	35

(1) Compte non tenu de l'amortissement des machines, outils et bâtiments et du loyer du terrain et éventuellement des bâtiments.

Tableau II

Appareil	Puissance totale	Consommation annuelle (*)	Utilisation annuelle (**)
	kW	kWh	h
Appareils chauffants immergés (nickel et chrome) et chauffe-colle...	3	9 600	3 200
Cuve d'eau	0,9	2 900	3 200
Chauffe-eau à accumulation	1,2	4 100	3 400

(*) Dont 56 p. 100 pendant les heures de nuit et les heures creuses (douze heures par jour).

(**) Utilisation = $\frac{\text{consommation en kWh}}{\text{puissance en kW}}$

La dépense relative à l'électricité apparaît réduite.

A titre d'exemple, le tableau II donne la répartition de la consommation d'énergie électrique pour usages thermiques dans un atelier de nickelage comportant deux bains de nickelage chauffés de 1 200 l environ, un bain de chromage chauffé de 900 l environ, un chauffe-eau de 150 l à accumulation (chrome), une cuve d'eau de 100 l (nickel) et un chauffe-colle.

E) Conclusion générale

Plusieurs points de vue :

1° Clientèle des nickeleurs.

Malgré les efforts tenaces et précieux des *ingénieurs-conseils*, des *nickeleurs* eux-mêmes et de certaines *revues spécialisés*, il semble que la clientèle ne se rend pas encore parfaitement compte de ce que, en imposant des prix exagérément faibles, elle travaille à son détriment. Il peut en résulter tôt ou tard une désaffection regrettable des usagers envers un mode de protection qui devrait être excellent s'il était fait suivant les règles de l'art. C'est l'avantage de tous les intéressés (usagers, nickeleurs, constructeurs, secteurs) de redresser un tel état d'esprit.

2° Nickeleurs.

Eclairage à améliorer éventuellement.

Force motrice. — Le polissage représente, en général, le principal poste de dépense ; on peut souvent le réduire par réaménagement des ateliers et emploi, le cas échéant, de machines modernes. Il peut s'ensuivre, mais pas forcément, une augmentation de la consommation d'énergie électrique, largement compensée par le bénéfice réalisé.

L'utilisation des redresseurs pour la production du courant continu nécessaire pour l'électrolyse est à l'ordre du jour.

L'emploi de bains rapides, brassés, filtrés et chauffés tend à se généraliser de plus en plus.

Usages thermiques. — Essor considérable depuis quelque temps. Principales applications :

Réchauffage et chauffage des bains d'électrolyse ;

Chauffage des solvants et en particulier du trichloréthylène et des solvants alcalins ;
Production de petites quantités d'eau chaude ;
Chauffage de la colle, de l'émeri, des feutres ;
Étuves (grandes pièces), essoreuses-sécheuses (petites pièces).

3° **Installateurs.**

Installations électriques à rendre conformes aux règlements en vigueur actuellement, en particulier publication C II de l'U. S. E., et au décret ministériel du 15 août 1935 concernant la protection des travailleurs (publication 307 de l'U. S. E.).

4° **Constructeurs.**

En général, spécialistes des ateliers d'électrolyse. Principales questions à l'ordre du jour :

Polissage ;
Redresseurs ;
Appareils électrothermiques ;
Automaticité (pour les grandes installations).

5° **Distributeurs d'énergie électrique.**

Tout laisse prévoir une augmentation de la puissance installée et surtout de la consommation (donc de l'utilisation) :

Augmentation de l'épaisseur des dépôts et extension du champ d'application de la protection électrolytique (éducation de la clientèle), étamage, zincage, etc. ;

Amélioration des conditions de polissage ;
Emploi du dégraissage électrolytique ;
Emploi de bains rapides, brassés, filtrés et chauffés ;
Utilisation du chauffage électrique.

En résumé, il apparaît que l'électricité doit prendre, dans les ateliers d'électrolyse mentionnés dans cette courte étude, une place beaucoup plus importante que celle qu'elle y occupe actuellement.

R. GAUTHERET.

BIBLIOGRAPHIE

Les questions de théorie pure échappant au cadre que nous avons assigné à cette étude, nous donnons ci-dessous la liste des ouvrages et revues spécialisés auxquels les lecteurs pourront se reporter s'ils le désirent :

Ouvrages récents sur l'électroplastie

Traité de galvanoplastie, par M. SALAUZE.

Protection des métaux contre la corrosion, par M. GUÉRILLOT.

Revue française traitant régulièrement ou exceptionnellement de l'électroplastie

Galvano.

Plating (de 1928 à 1931).

Revue du nickel.

* * *

Nous donnons d'autre part ci-après une liste de quelques articles d'ordre pratique se rapportant aux sujets traités dans l'étude précédente et classés dans le même ordre que dans ladite étude :

Préparation des surfaces, protection électrolytique, protection non électrolytique (*Galvano*, numéro spécial, décembre 1934).

La technique nouvelle de l'électroplastie (M. BOUCHET, *Plating*, 1929-1930, plusieurs numéros).

Les dépôts électrolytiques de nickel, en particulier « le développement en France du nickelage à forte densité du courant » (M. BOURGEOIS) (*Revue du nickel* — numéro spécial — octobre 1934).

Les génératrices pour l'électrolyse (M. BOUCHET, *Plating*, 1928).

Le réglage et le contrôle du courant en électrolyse (M. BOUCHET, *Plating*, 1930).

L'utilisation des redresseurs de courant dans les ateliers d'électroplastie (M. JULET, *Galvano*, 1937, plusieurs articles).

Des différents modes de branchement des bains dans l'atelier d'électroplastie (M. BOUCHET, *Plating*, 1930).

Quelques précautions à prendre dans les installations modernes d'électroplastie (M. CHADOS, *Galvano*, 1933).

L'adhérence et les causes de non adhérence des dépôts galvaniques (M. SACCHI, *Galvano*, 1935).

La corrosion des métaux recouverts de dépôts électrolytiques (M. LIGER, *Galvano*, 1935, plusieurs articles).

Le phénomène de corrosion (M. LIGER, *Galvano*, 1934).

Le polissage, les abrasifs (M. TIQUET, *Galvano*, 1937).

- L'aspiration des poussières de polissage (M. TIQUET, *Galvano*, 1935-1936).
- Les colles de polissage (M. TIQUET, *Galvano*, 1936).
- L'aspiration des vapeurs et des gaz résiduels dans les ateliers de décapage, de brillantage aux acides et de dépôts métalliques (M. TIQUET, *Galvano*, 1935).
- Le dégraissage avant électro dépôt (M. LIGER, *Galvano*, 1935).
- Les boues dans les bains d'électrolyse et leur élimination (M. TIQUET, *Galvano*, 1936).
- Les méthodes modernes de nickelage (M. BALLAY, notice du Centre d'information du nickel).
- Le nouveau procédé de nickelage rapide de forte épaisseur (notice du Centre d'information du nickel).
- Le nickelage de l'aluminium (M. BALLAY, notice du Centre d'information du nickel).
- Les maladies du nickelage (M. DARLAY, *Galvano*, 1935, plusieurs articles).
- Le dépôt électrolytique de chrome (M. DARLAY, *Plating*, 1928).
- Les maladies du chromage (M. DARLAY, *Galvano*, 1935-1936, plusieurs articles).
- Quelques conseils pratiques pour les électroplastes : sur les « à côté du chromage » (M. DARLAY, *Galvano*, 1937).
- Les maladies du cadmiage (M. DARLAY, *Galvano*, 1937).
- Le réchauffage des bains (M. DAMIEN, *Plating*, 1929).
- Le réchauffage des bains en hiver (M. DAMIEN, *Plating*, 1929).
- On pourra se reporter également à tous autres articles d'ordre pratique parus dans Galvano, ainsi qu'aux communications à la première conférence internationale d'électroplastique qui s'est tenue à Londres en mars 1937.*



ULTIMHEAT®
VIRTUAL MUSEUM



X. 12. 37

La Société pour le Développement des Applications de l'Électricité APEL, créée avec le patronage du Groupement des Secteurs Français, a pour objet l'amélioration et la vulgarisation des appareils électriques d'applications diverses.

**Pour toute étude et renseignements techniques,
s'adresser : 33, rue de Naples - PARIS (8^e)**