



ANODISATION DES TUBES D'ALUMINIUM (V 2.0)

Les tubes de nos cellules sont, en grande majorité, en acier inoxydable (préconisation Meyer).
A noter toutefois que n'importe quel métal peut être utilisé pour les cellules (avec probablement une technique d'isolation différente que celle de l'aluminium).

L'important est que la cellule puisse présenter une très forte résistance afin que la génération de la THT se déroule dans de bonnes conditions.
Car si la résistance (ou impédance) de la cellule est faible, la THT va s'écrouler tout de suite et aucun craquage de l'eau ne sera possible.
C'est pour cette raison que nous effectuons pour nos tubes une opération appelé "formatage".
Opération qui doit rendre isolante électriquement notre cellule.

Pour ce faire, certaines personnes, faisant notoriété 🤪 dans le mode de l'hydrogène, ont proposé et même presque imposé une méthode pour isoler le tube d'acier, bien sûr normalement reprise par tout le monde, consistant à faire circuler une succession de phases de courants de plus en plus importants dans la cellule.

De ce style:

Phase	Courant	ON	OFF
1	0,5A	25mn	30mn
2	1,0A	25mn	30mn
3	1,5A	15mn	20mn
4	2,0A	10mn	20mn
5	2,5A	5mn	15mn
6	3,0A	2mn à 2,5mn	60mn

Soit environ **4h15** au total.
Et répéter xx fois la séquence.

Combien de répétitions de séquences ? *Silence total sur la ligne...*
De toute façon, vous allez vous rendre compte que cette méthode est totalement à proscrire.

Je propose donc l'utilisation de l'aluminium pour notre cellule.

Je me suis donc intéressé à ce "formatage" de l'aluminium et grand a été mon étonnement.
En effet, et vous pouvez vous aussi rechercher sur le Net, car tout est public, vous vous rendrez compte que les industriels formatent en permanence l'aluminium.
Ce formatage s'effectue généralement par anodisation (électrolyse).
Très fiable si réalisé sérieusement, **et surtout parfaitement reproductible par un particulier.**

Nombre de personnes anodisent d'ailleurs leurs objets en aluminium chez eux, essentiellement pour les colorer.

La coloration ne nous concernant pas, nous allons nous cantonner uniquement à la seule partie anodisation de nos tubes.

Comme le fer qui s'oxyde au contact de l'eau par exemple, il en est de même pour l'aluminium qui lui, s'oxyde au contact de l'oxygène. Avec donc aussi une oxydation naturelle au contact de l'air ambiant.

Cette forme d'oxydation prend forme par la formation d'une couche d'oxyde d'aluminium, appelée alumine, qui se retrouve sur la surface de la pièce.

Il s'agit d'un corps très dur, transparent et isolant électriquement (*tiens, tiens* 🤔) qui isole la pièce et qui ne se propage pas vers l'intérieur comme peut le faire la rouille sur le fer, mais vers l'extérieur.

L'inconvénient est que l'oxydation naturelle (aluminium au contact de l'air) ne crée que de petites surfaces d'alumine, de très faibles épaisseurs, irrégulières et donc fragiles.

Afin d'augmenter la résistance mécanique, les industriels réalisent une oxydation totale de l'aluminium par anodisation.

La résistance mécanique de l'alumine n'a pas forcément beaucoup d'intérêt pour nous mais c'est la grande isolation électrique de cette alumine qui nous concerne.

Nous allons donc réaliser une simple électrolyse qui va permettre "d'apporter" de l'oxygène sur l'anode (ce sera notre tube bien sûr).

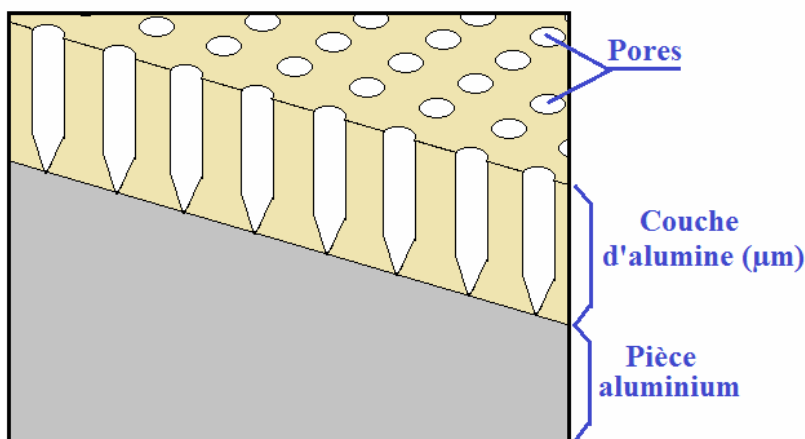
Dans ce cas, l'oxygène s'associe directement au métal en formant une couche d'oxyde d'aluminium (alumine). Cette couche d'alumine ainsi formée est très dure, et surtout très isolante, c'est ce qui nous intéresse.

COMMENT SE FORME L'ALUMINE PENDANT LE TRAITEMENT PAR ÉLECTROLYSE

L'alumine va se former naturellement sur l'aluminium au contact de l'oxygène.

Cette couche d'alumine va aller en progressant de l'intérieur vers l'extérieur.

Cela peut paraître paradoxal puisque l'alumine est un isolant. En fait, la structure première de la couche d'alumine est poreuse et permet ainsi à l'électrolyte de conduire le courant électrique jusqu'au métal.



Le diamètre des pores dépend notamment de la nature de l'électrolyte mais ne varie pas en fonction de l'intensité du courant électrique.

Par contre, la distance entre les pores est influencée par cette intensité car en augmentant le courant, on éloigne les pores.

L'ANODISATION EN PRATIQUE



Pour réaliser notre électrolyse, nous allons utiliser de l'acide sulfurique ainsi que de la soude caustique.

Ces produits chimiques sont corrosifs et provoquent de graves brûlures, ils doivent donc être manipulés avec précaution.

Ces produits ne doivent pas être disposés à la portée d'un enfant.

Toutes les opérations doivent s'effectuer dans un local aéré.

Portez un vêtement de protection approprié, des gants et un dispositif de protection des yeux ou du visage.

En cas de contact avec la peau : rincer abondamment avec de l'eau.

En cas de contact avec l'œil : rincer à l'eau et consulter un ophtalmologiste.

Lorsqu'un vêtement reçoit de l'acide sulfurique ou de la soude caustique, rincez-le immédiatement.

L'opération se déroule en quatre phases :

1/ Préparation – Définition des paramètres

2/ Nettoyage – Décapage

3/ Anodisation (électrolyse)

4/ Colmatage

Matériel nécessaire :

Cuve résistant à l'acide sulfurique (normalement en plastique)
Bac ou cuve pouvant contenir de l'eau bouillante

Savon liquide vaisselle
Soude caustique
Acide sulfurique
Eau déminéralisée

Une alimentation réglable en courant

Thermomètre en verre

Une paire de gants caoutchouc pour vous protéger de l'acide
Une paire de gants latex non talqué pour manipuler le tube

+ le matériel nécessaire propre à toute électrolyse (câbles,)

1/ PRÉPARATION – DÉFINITION DES PARAMÈTRES

L'électrolyse proprement dite n'est pas expliquée ici.

Car cela reste malgré tout une opération assez classique que beaucoup d'entre vous ont déjà effectuée, et de toute façon, le mode opératoire est disponible sans problème sur le Net.

Autre point important

Il est laissé à votre créativité le soin d'imaginer les fixations du tube à anodiser dans les différents bacs ou cuves.

Il serait toutefois préférable que la liaison électrique avec le tube soit réalisée avec du fil d'aluminium de forte section afin d'éviter d'éventuels phénomènes chimiques indésirables entre deux métaux différents.

Et surtout, repensez la conception de votre réacteur !

Car à quoi cela servirait-il de dépenser du temps et de l'argent pour obtenir un tube parfaitement isolé si, tout de suite après, vous commencez à le percer et le tarauder afin d'y fixer des connexions électriques qui seront immergées ?

Restons cohérents... Pas de connexions immergées !

Pour l'anodisation proprement dite, il serait aussi préférable de faire un essai préalable avec un petit morceau de tube par exemple, ce qui permettra de confirmer tous les réglages (dosages, courant,...).

CONCENTRATION DE L'ÉLECTROLYTE

Dosage préconisé : 2/3 d'eau déminéralisée pour 1/3 d'acide sulfurique

TEMPÉRATURE DE L'ÉLECTROLYTE

Toute la phase d'anodisation devrait s'effectuer à une température de 20°C.

En pratique nous ferons en sorte de rester dans la plage de 18°C – 22°C.

Attention : Ne pas dépasser les 24°C car à partir de cette température, l'alumine se dissout trop vite dans l'acide.

Préparez éventuellement votre bain avant, et après un petit séjour au réfrigérateur par exemple, la température sera idéale.

Ayez peut-être aussi une "réserve" pour pouvoir, par mélange, refroidir la cuve pendant l'opération et/ou disposez un système de refroidissement (bac à glaçons en dessous par exemple).

ANODE / CATHODE

L'anode (pôle +) est bien sûr notre tube d'aluminium.

Pour le matériau qui va servir de cathode (pôle -), plusieurs choix sont possibles :

- a) De l'aluminium (non anodisé bien sûr). C'est ce qu'utilisent généralement les industriels.
- b) Du plomb, utilisé aussi par les industriels, mais probablement un peu difficile à se procurer.
- c) Des mines de graphite. Là encore, pas toujours facile de s'en procurer dans la mesure où elles sont vendues plus généralement en grandes longueurs.



Ou utiliser les mines de crayons de charpentiers.

En ôtant le bois avec un cutter par exemple.

INTENSITÉ DU COURANT

C'est sur ce point que tout doit se décider.

Mais auparavant, une règle essentielle :

Pendant toute la durée de l'anodisation, le courant doit être constant et surtout ne pas varier !

La tension importe peu ici car c'est le courant qui est primordial.
Une fois défini et réglé, il ne doit plus être touché jusqu'à la fin de l'opération.

Ce courant, que vous allez vous mêmes définir, va dépendre de la surface de la pièce à traiter et de vos possibilités en alimentation.

Si vous disposez d'une alimentation avec le courant réglable parfait.

Sinon, il est tout à fait possible de réaliser soi-même un générateur de courant qui remplira cet office.

Il est fortement déconseillé d'utiliser une alimentation régulée en tension avec intervention manuelle pour ajuster le courant.

Les résultats risquent d'être fortement irréguliers.

Le courant est exprimé en mA/cm².

Il peut varier entre 8mA/cm² à 20mA/cm² (les industriels utilisent généralement un courant de 15mA/cm²).

Si vous utilisez un fort courant, la durée de l'opération d'anodisation sera petite mais elle devra nécessiter une alimentation de plus grande puissance.

Prenons en exemple un tube d'aluminium de 2cm de diamètre et de 30cm de longueur.

La surface des parois est donc égale à : $2\text{cm} \times 3,14 \times 30\text{cm} \times 2 \text{ faces} = 376\text{cm}^2 \Rightarrow \mathbf{380\text{cm}^2}$

Je néglige les surfaces des champs.

Si vous désirez utiliser un courant de $10\text{mA}/\text{cm}^2$ votre alimentation devra donc pouvoir délivrer un courant de $380 \times 0,01 = 3,8\text{A}$

Si un courant de $15\text{mA}/\text{cm}^2 \Rightarrow 380 \times 0,015 = 5,7\text{A}$

Temps de l'opération

Qui va dépendre de l'épaisseur de la couche d'alumine que vous désirez obtenir.

Elle va en général de $5\mu\text{m}$ à $25\mu\text{m}$.

La formule pour calculer le temps est :

$$\mathbf{T = e / (0,03 \times I)}$$

Avec :

T = temps en minutes

e = épaisseur de la couche d'alumine (en μm)

I = courant en mA/cm^2

Reprenons notre tube de longueur 30cm.

Supposons que nous voulons une couche d'alumine de $20\mu\text{m}$ et que nous appliquons un courant de $15\text{mA}/\text{cm}^2$

$$T = 20 / (0,03 \times 15) = \mathbf{44 \text{ minutes}}$$

A l'issue de ces 44 minutes, le tube aura sur toute sa surface une couche d'alumine de $20\mu\text{m}$.

Attention à ne pas prendre une épaisseur d'alumine trop petite car en opération de production, votre tube sera soumis à une THT et une tension de claquage trop faible risque de compromettre tout le travail effectué.

Nous avons maintenant tout défini... Nous pouvons commencer...

2/ NETTOYAGE - DÉCAPAGE

Préparation de la pièce

Le tube doit avoir un bon état de surface.

Au besoin, un ponçage à la toile émeri fera disparaître les différentes rugosités.

**Et à partir de maintenant, vous devez porter les protections adéquates
(En particulier des gants)**

Ceci effectué, un nettoyage avec un savon liquide permettra d'enlever toute trace de corps gras.

Décapage

Notre tube d'aluminium présente déjà, du fait de son exposition à l'air libre, des "tâches" d'alumine sur sa surface (pas forcément visibles).

Il est obligatoire de les enlever pour pouvoir déposer une couche d'alumine plus épaisse et plus régulière.

Cette opération s'effectue dans un bain de soude caustique.

Dosage : environ 20gr à 50gr pour un litre d'eau (dosage non critique).

Durée : de 1 à 3 minutes environ.

Dès que la soude aura dissout la couche d'alumine, elle commencera à attaquer l'aluminium.

Il y aura alors apparition de bulles (dihydrogène).

Cela indique la fin de l'opération.

ATTENTION : Ne plus manipuler le tube directement avec les doigts. Portez des gants latex.

3/ ANODISATION (ÉLECTROLYSE)

Installez le tube dans le bain (aucun contact avec les bords ni avec quoi que ce soit) et alimentez le tout.

Rappel : **Durant toute la durée de l'anodisation, l'intensité du courant électrique ne doit plus être modifiée.**

L'électrolyse commence et doit durer le temps déjà calculé.

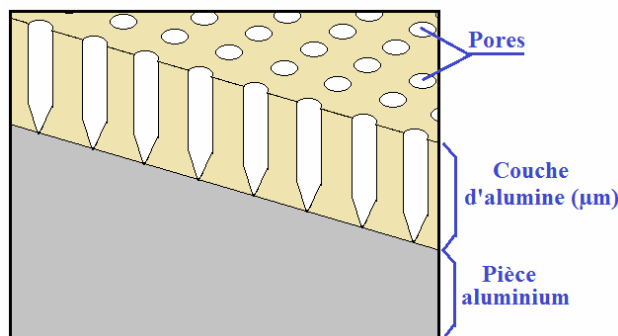
Remuer régulièrement la solution tout en surveillant la température.

Pendant l'anodisation, des bulles peuvent s'échapper de la surface traitée. Cela est normal et est dû au fait que la surface du tube d'aluminium ne capte pas toute la quantité de l'oxygène produit et qu'une partie s'échappe sous forme gazeuse.

Dès le temps écoulé, sortez le tube de l'acide et rincez-le immédiatement à l'eau du robinet (ou déminéralisée).

4/ COLMATAGE

Rappelez-vous la structure de l'alumine :



Nous avons les pores qui sont "creux" et heureusement d'ailleurs, car ils ont permis de laisser passer le courant pendant toute la durée de l'opération.

Mais si nous laissons ainsi... nous n'obtenons AUCUNE isolation !

Il nous faut donc boucher ces pores.

La méthode utilisée pour cela, appelée "colmatage", consiste à faire tremper le tube dans de l'eau bouillante.

Car l'alumine formée pendant l'anodisation ne contient pas d'eau.

Elle va de ce fait s'hydrater au contact de l'eau bouillante et l'eau pénétrant ainsi dans les pores provoquera une augmentation des volumes qui refermera ces derniers.

Lors du colmatage, l'eau se combinant avec l'alumine formera un corps stable pouvant résister à une température supérieure à 400°C.

Durée du bain à l'eau bouillante :

Pour que le colmatage soit efficace, il faut que la pièce séjourne dans l'eau bouillante pendant :

Environ 3 mn par micron de couche mais d'un temps jamais inférieur au temps d'anodisation.

Température du bain :

Eau bouillante c'est-à-dire très proche de 100°C.

Mais, IMPORTANT, jamais inférieure à 96°C.

Des impuretés dans l'eau même en très faible quantité peuvent contrarier le colmatage, c'est pour cela qu'il faut réaliser cette opération avec de l'eau déminéralisée.

Un traitement du deuxième tube est bien sûr parfaitement réalisable et même souhaitable, augmentant de ce fait l'isolation électrique de la cellule complète.

Et vous pouvez aussi renforcer cette isolation par une couche de vernis appliquée sur les faces des tubes...

Sous réserve d'erreurs ou omissions...

Le 25 juin 2016

Asf

Droits d'utilisation

Le présent document peut être librement diffusé, mais toujours dans son intégralité.

Tous les droits sur le contenu de ce document, textes et schémas qui l'accompagnent, demeurent la propriété exclusive de **Génération Hydrogène** sous *Licence Creative Commons Paternité*.

De ce fait, toute reproduction partielle est strictement interdite.

L'auteur ne pourra être tenu pour responsable d'aucune conséquence directe ou indirecte résultant de la lecture et/ou de l'application décrite dans le présent document.

Toute utilisation commerciale est interdite sans l'accord express de l'administrateur de **Génération Hydrogène**.