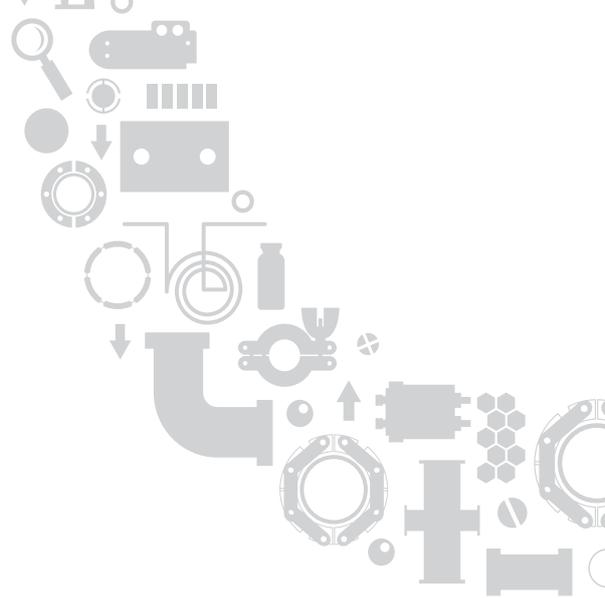


PRATIQUE DES ÉVAPORATIONS
INDUSTRIELLES D'ALUMINIUM



A. PRÉSENTATION D'UN CYCLE D'ÉVAPORATION INDUSTRIELLE D'ALUMINIUM

La figure 1 représente un cycle type d'évaporation d'aluminium: la chambre à vide est pompée (vide primaire puis vide secondaire) jusqu'à 5×10^{-4} Torr. Lorsque le vide voulu est atteint, on commence à chauffer le ou les filaments d'évaporation jusqu'à 800 - 1200°C (préchauffage). Le matériau à évaporer (en général de l'aluminium de pureté 99.9 +%) fond et recouvre le filament (phase de mouillage) par deux actions physiques : tension de surface et capillarité.

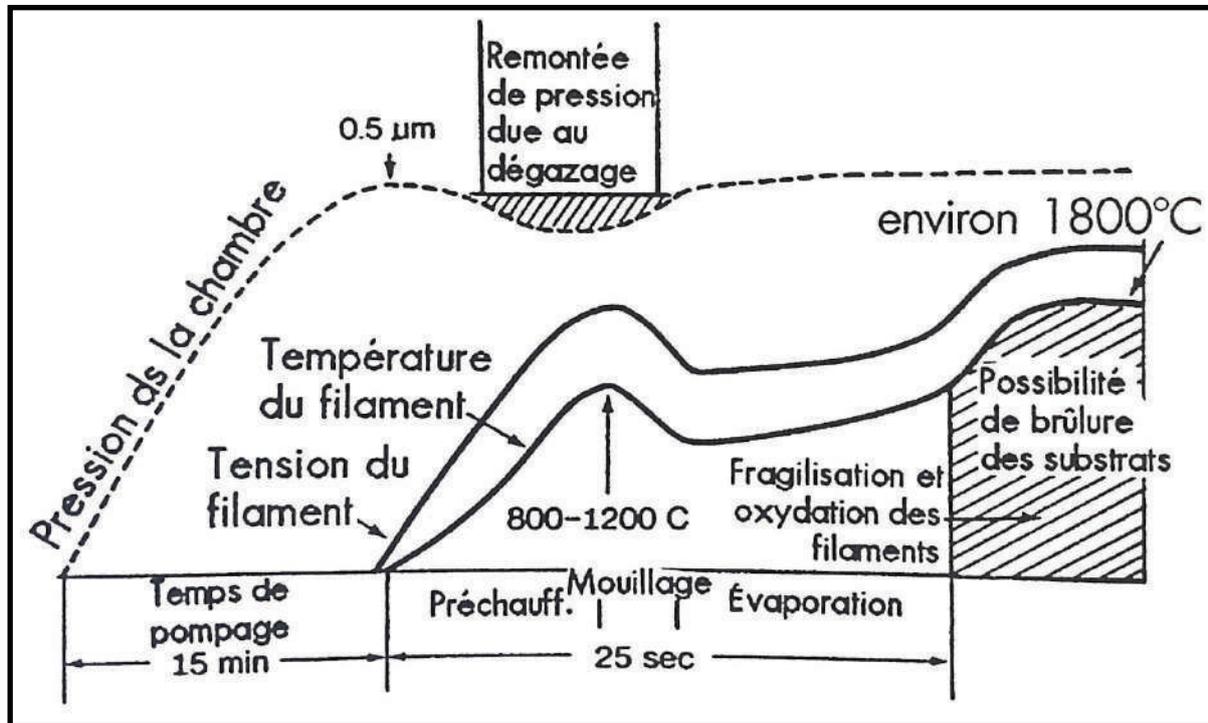


Figure 1 - Pression de la chambre à vide, tension d'alimentation du filament et variation de température du filament pendant un cycle de métallisation.

Lorsque le mouillage est terminé, l'opérateur augmente la puissance appliquée au filament pour que sa température s'élève au-delà du point de vaporisation de l'aluminium (vers 1200 - 1500°C). L'aluminium s'évapore alors rapidement («flashing») dans toutes les directions, à partir du filament, recouvrant toutes les surfaces exposées en ligne droite. La plupart des chambres d'évaporation sont équipées de porte-pièces de type planétaire et d'axes porte-pièces tournants de façon à ce que toutes les surfaces des pièces à métalliser soient exposées à l'aluminium évaporé.

La majorité des problèmes que l'on peut rencontrer en évaporation industrielle vont provenir de l'une des catégories suivantes :

- Conception du matériel
- Maintenance du matériel
- Qualités de l'opérateur et degré de formation
- Nature et forme des pièces à métalliser
- Emplacement des filaments et réalisation des dispositifs de support des pièces à métalliser
- Technique de «flashing»

À titre d'exemple nous pouvons citer un utilisateur qui ne nettoyait sa chambre à vide et ses porte-substrats qu'épisodiquement. La durée du cycle de travail était passée progressivement de 12 à 50 minutes. Après un nettoyage sérieux et complet les durées de cycles revinrent à 12 minutes.

B. LOCALISATION DES PIÈCES À RECOUVRIR PAR RAPPORT AUX FILAMENTS D'ÉVAPORATION

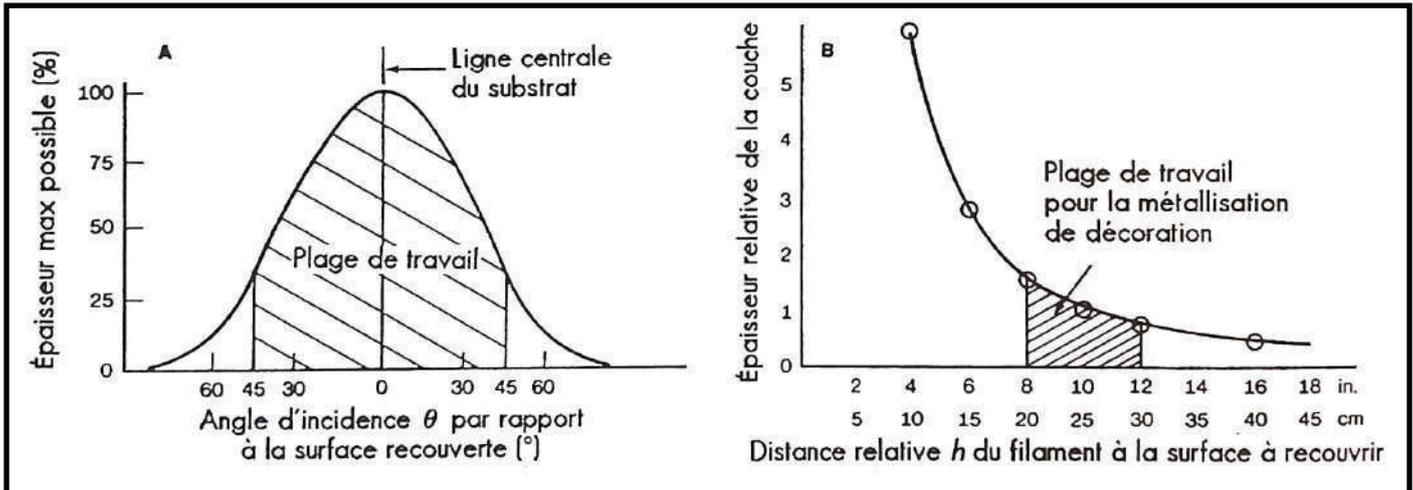


Figure 2 - Épaisseur relative de la couche déposée en fonction de :
A - angle d'incidence du faisceau de vapeur d'aluminium
B - distance filament-substrat

Lorsque l'on désire métalliser une pièce il faut considérer les points suivants :

- sa forme
- sa position par rapport aux filaments
- sa distance des filaments

La figure 2-A présente l'épaisseur déposée (relative) en fonction de l'effet de l'angle d'incidence du faisceau évaporé. Les représentations sont basées sur un système source-pièce comprenant une source d'évaporation ponctuelle et une pièce à surface plane perpendiculaire à l'axe du faisceau évaporé. Dans ce cas l'épaisseur maximum de la couche déposée est obtenue en un point directement au-dessus de la source ponctuelle, mais il est important de noter la rapidité avec laquelle cette épaisseur diminue en fonction de l'augmentation de l'angle d'incidence, cette diminution dépassant 50% pour un angle de 45° . À plus de 45° , la densité de la couche déposée, son adhérence, et son pouvoir réflecteur sont relativement mauvais. Il convient donc de limiter cet angle à 45° .

La figure 2-B représente l'effet de la distance pièce-filament. Pour une chambre de métallisation type (horizontale et de diamètre 180cm) la distance de travail est de 20-30cm. Si l'on utilise des distances plus faibles, on risque de «bruler» les pièces, alors que pour des distances supérieures les variations en épaisseur de la couche sur une pièce sont importantes.

Pour donner un exemple supposons que ces deux pièces identiques soient montées l'une à 20cm des filaments et l'autre à 30cm. À partir de la figure 2-B on voit que le rapport de ces deux points sur la courbe sera de 1.6 divisé par 0.7 = 2.3. Donc l'épaisseur de la couche sur une pièce placée à 20cm des filaments est plus du double de celle déposée sur une pièce placée à 30cm.

Ce que nous dit la théorie est donc ceci : mettre les pièces le plus près possible des filaments, en évitant bien sûr le risque de «brûlage», et mettre suffisamment de filaments au long de la barre centrale d'alimentation pour obtenir des couches qui soient uniformes, denses, adhérentes et réfléchissantes.

C. CAS DES PIÈCES QUI SONT PLUS COMPLEXES QU'UNE SURFACE PLANE

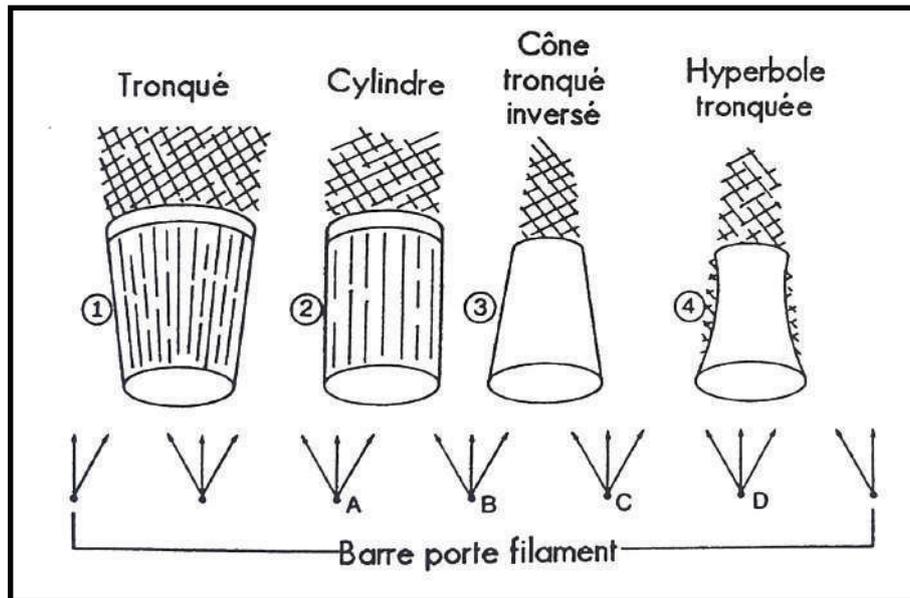


Figure 3 - Évaporation sur des bouchons de formes diverses

Dans la plupart des cas, les pièces à métalliser ont des angles aigus ou obtus, des décrochements, des fentes ou des renforcements qui rendent le travail du métalliseur plus compliqué. La figure 3, par exemple, présente 4 bouchons avec des géométries différentes. Aucun de ces bouchons ne pourrait avoir des côtés métallisés par des filaments qui seraient placés directement en-dessous de leur centre. Toutefois, le bouchon 3 recevrait une certaine métallisation des filaments A et D, mais l'angle d'incidence serait tel que l'épaisseur déposée sur les côtés serait inférieure de moitié à celle déposée sur la partie du bouchon parallèle aux filaments.

La solution idéale est de faire tourner sur elles-mêmes les barres qui portent les pièces à métalliser de façon à présenter successivement les côtés puis les dessus des bouchons au flux d'aluminium évaporé.

Une autre solution consiste en l'augmentation du nombre de filaments d'évaporation. Par exemple si, dans une machine industrielle on réduit l'espace entre les filaments de 33cm à 16cm, on va doubler la quantité d'aluminium évaporée et l'on obtiendra plus facilement une couche opaque sur toutes les surfaces des bouchons (par exemple). De plus, si un ou deux filaments se coupent pendant l'évaporation, les dépôts seront tout de même acceptables.

Note : Quels sont les facteurs qui conditionnent la durée de vie des filaments ?

D'un point de vue théorique, le facteur critique est le rapport de poids aluminium/tungstène. En pratique toutefois, l'effet de «bouling» et les vibrations mécaniques auxquelles sont soumis les filaments sont les facteurs principaux qui limitent leur durée de vie.

Le «bouling» est la tendance qu'a l'aluminium en fusion à se mettre en boule pendant le préchauffage et l'évaporation. Plus cet effet est important, plus la durée de vie des filaments sera courte. Cette durée de vie pouvant varier de un cycle d'évaporation à plus de 60 cycles, on voit tout l'intérêt qu'il y a à maîtriser ce phénomène que nous allons examiner en détail.

Les vibrations mécaniques proviennent des pompes mécaniques, de la manière dont elles sont reliées à l'enceinte, de leur isolement par rapport au sol, etc. Il faut réduire au maximum ces vibrations au niveau des filaments.

D. QU'EST CE-QUE LE « BOULING » ? COMMENT LE COMBATTRE ?

Lorsque le filament chauffé atteint la température dite de mouillage (environ 660°C) l'aluminium fond et se distribue au long du filament par action capillaire. Si la charge d'aluminium est trop importante, ou si l'on utilise une technique d'évaporation incorrecte, l'aluminium va former des boules à la partie inférieure des spires (figure 4, A et B).

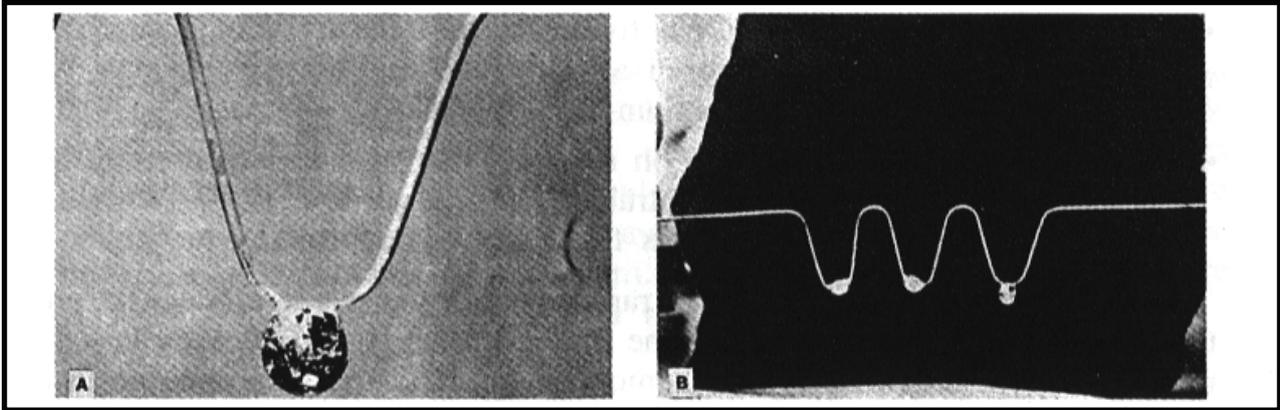


Figure 4 - Formation des boules

On sait que l'aluminium, qui est un métal passif à la température ambiante, devient très réactif quand il s'approche de sa température d'évaporation. Il attaque alors le tungstène. L'effet de l'aluminium en «boule» sera d'accélérer cette attaque au point de contact, et de provoquer une coupure du filament au bout de un ou, au mieux, de quelques cycles d'évaporation. De plus, comme la quantité d'aluminium évaporé diminue, l'épaisseur de la couche déposée sur les substrats pendant un temps donné d'évaporation va diminuer également.

Comment peut-on éviter ce phénomène de «bouling» ? Bien que cela ne soit pas simple, la figure 5 peut aider à comprendre le phénomène.

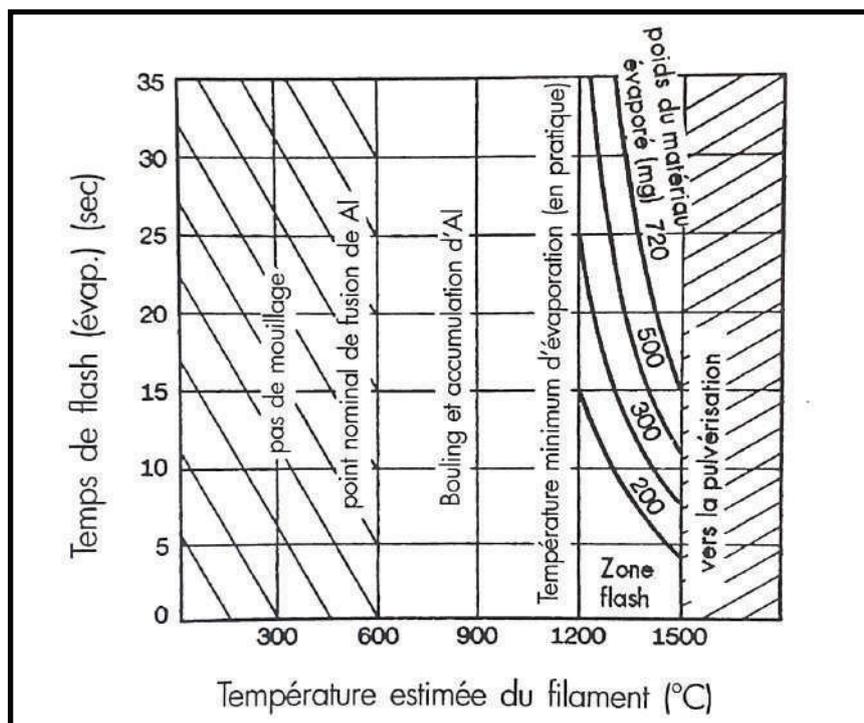


Figure 5 - Température réelle du filament par rapport à la durée d'évaporation (flash)

Bien que ces courbes ne soient pas très précises, elles permettent d'avoir une corrélation entre le temps, la température, et la charge des filaments. Il est bon de noter les points suivants :

- l'aluminium à évaporer ne va pas fondre, ni mouiller le filament jusqu'à ce que la température de celui-ci atteigne 660°C, voire davantage si le contact thermique entre l'aluminium et le filament est mauvais.
- Toute pause ou retard lorsque l'on est dans la plage de température de «bouling» (660 à 1200°C) va entraîner, en général, le coulage de l'aluminium vers le bas des spires des filaments, et la formation de boules.

Il convient donc de monter assez rapidement, et de manière continue, en température pour arriver dans la zone d'évaporation (flash) et éviter la formation de boules. Il faut éviter de monter trop haut car ceci entraîne des projections de micro-gouttelettes d'aluminium.

E. CHARGE DES FILAMENTS EN ALUMINIUM, INFLUENCE SUR LA DURÉE DE VIE DES FILAMENTS

Les courbes de la figure 6 donnent la relation entre la charge et la durée de vie. On voit que cette durée de vie diminue très vite lorsque l'on passe d'un poids d'aluminium représentant 5% du poids du filament, à 10%. Lorsque l'on dépasse cette valeur de 10% on a également des phénomènes de «bouling» et une diminution du poids d'aluminium évaporé.

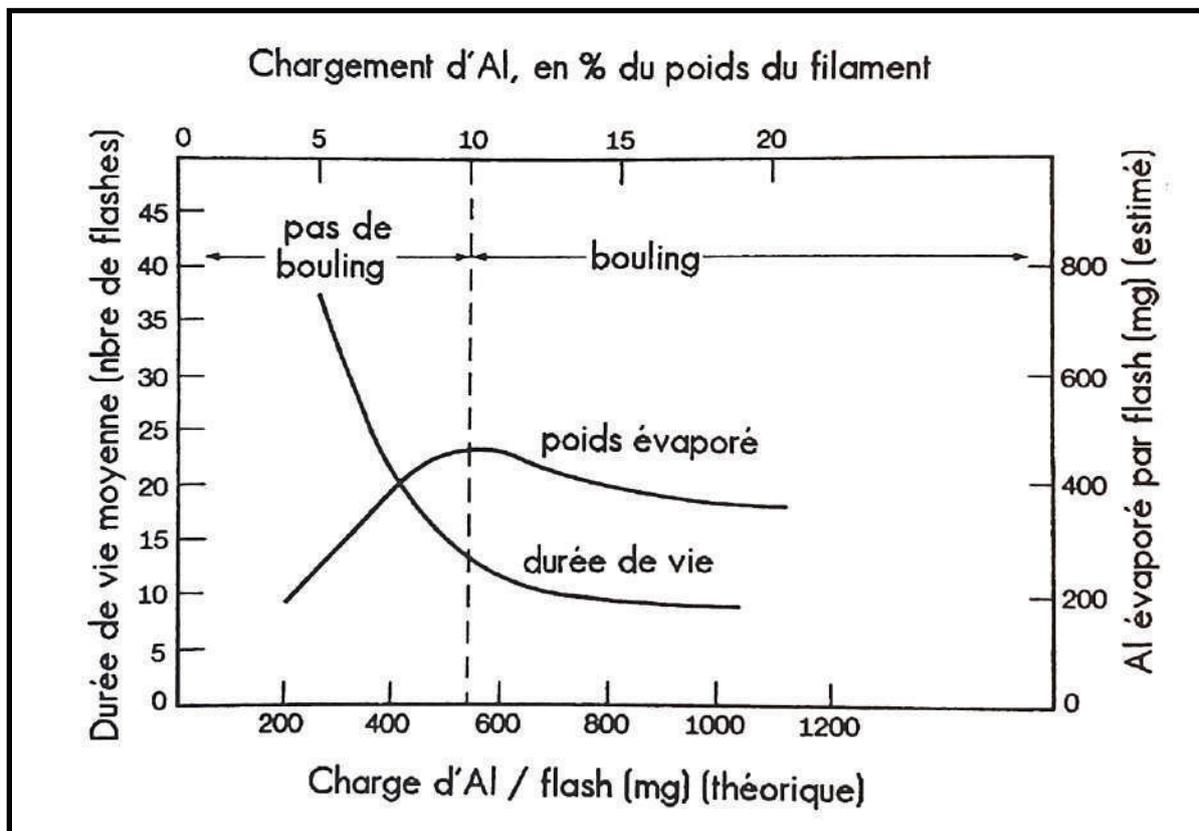


Figure 6 - Durée de vie du filament et poids d'aluminium évaporé en fonction de la charge. Mesures réalisées à une température de 1700°C.

La figure 7 donne le rapport entre le passage d'un courant donné dans divers types de filaments de tungstène (simple brin et brins torsadés) de divers diamètres, et la température obtenue sur ces filaments.

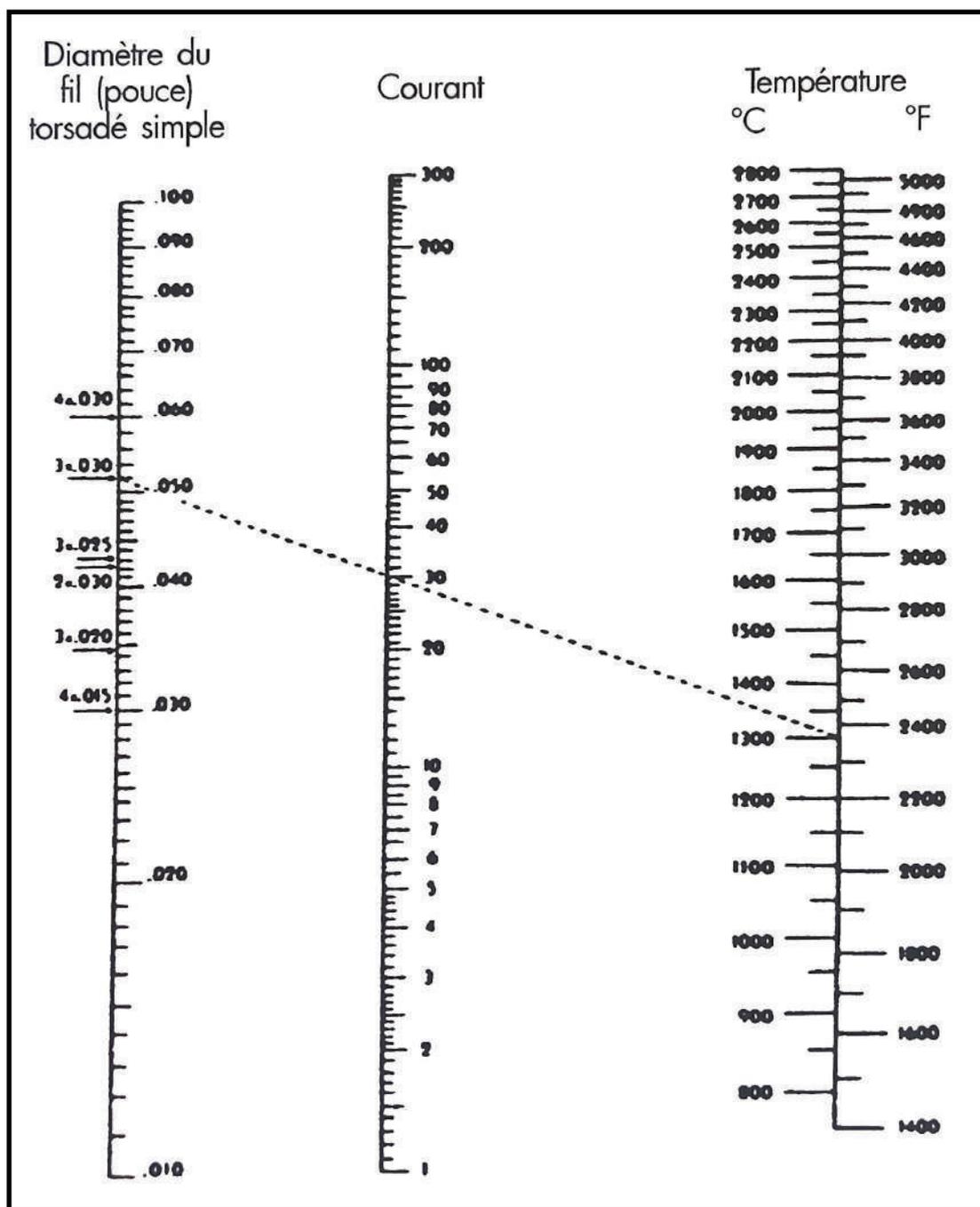


Figure 7 - Courbes courant/température

Notes : exemples de mesure du diamètre des fils de tungstène: 4x .030 = 4 fils torsadés de chacun; diamètre = 0.030 pouce = 0.76 mm = un fil de diamètre = 0.060 pouces = 1.52 mm

