

Plieuse pour thermoplastiques

Institut Gériatrique des Soles
Bernique

Abstract

Machine permettant de plier les thermoplastiques rigides (PMMA...) à l'aide d'un fil chauffé au rouge sans contact.

Keywords: fil, plieuse, thermoplastique

Table des matières

Plieuse pour thermoplastiques.....	1
Abstract.....	1
I. Besoin et cahier des charges.....	2
II. Réalisation.....	2
1 Pré-dimensionnement électrique.....	2
2 Générateur de tension.....	4
3 Circuit électrique.....	4
4 Partie mécanique.....	6
5 Châssis.....	6
III. Conclusion.....	7

I. Besoin et cahier des charges

Dans mes cartons, j'avais entre autres la réalisation d'une graveuse afin de pouvoir réaliser mes prototypes de circuits électroniques en toute autonomie. Les modèles du commerce étant trop chers (proche de 100€), j'ai décidé de construire moi-même un clone de ce que l'on trouve dans les magasins spécialisés, et ce à partir de PMMA (Plexiglass®).

Ne souhaitant pas réaliser trop de collages qui sont autant de sources de fuites potentielles, pas d'autres choix que de plier le PMMA rigide... il me fallait donc une machine, là aussi hors de prix dans le commerce !

In fine, j'avais comme besoin de plier du PMMA de 4mm, dans une largeur proche des 30cm. Quelques recherches plus tard sur le web, et la solution du fil chauffé au rouge par une tension électrique continue semblait la plus facile à mettre en œuvre avec des résultats sympatiques (c'est du reste cette technologie qui est vendue dans les machines disponibles sur le marché). Elle permet de ramollir le plastique rigide le long du fil (on parle de température de transition), et il ne reste plus qu'à le plier comme une feuille de papier. Le refroidissement à l'air libre fige le plastique dans sa nouvelle position (éloignement du fil ou arrêt de l'alimentation électrique).

II. Réalisation

1 Pré-dimensionnement électrique

La grande question qui se pose est celle du choix fil, puis de ses conditions de mise en œuvre

Apiculteur amateur par ailleurs, j'avais à disposition du fil inox de diamètre 0,4mm qui sert normalement à tisser les cadres des ruches. Pour ceux qui n'ont pas cela en stock, il existe dans le commerce des fils résistants aux hautes températures et qui se sont démocratisés depuis l'avènement de la cigarette électronique ! Répondants aux doux noms de Nichrome ou Kanthal, on les trouve facilement pour quelques euros sur le web. Le constantan, autre candidat théorique, est déconseillé car il possède peu de résistance mécanique à chaud (j'ai testé aussi!).

Ci-dessous quelques caractéristiques essentielles pour nous, à savoir la résistivité linéaire et la température de destruction des fils :

	$\Omega.m$	T° fusion
Constantan	$0,50.10^{-6}$	1250°C
Nichrome	$1,08.10^{-6}$	1400°C
Kanthal A1	$1,45.10^{-6}$	1500°C
Kanthal A	$1,39.10^{-6}$	1500°C
Kanthal D	$1,35.10^{-6}$	1500°C
Inox 316	$0,75.10^{-6}$	1500°C

L'idée est de chauffer le plus fort possible, sans arriver à la destruction du fil bien entendu ! Alors avant de relier une batterie 12v pour essayer de porter le fil inox au rouge en mode barbare proche des 1500°C, quelques petits calculs de pré-dimensionnement s'imposent si on ne veut pas fondre le fil en quelques secondes !

C'est parti ;-)

La résistance R d'un fil de longueur L, de diamètre D et de résistivité ρ exprimée en $\Omega.mm^2/m$ est donnée par la relation :

$$R = \frac{4\rho L}{\pi D^2} \quad (1)$$

La température d'équilibre du fil de résistance R et parcouru par une intensité i dépend aussi du coefficient d'échange thermique du milieu où se trouve le fil. Expérimentalement, on peut considérer que ce coefficient est égale à :

$$h=2,10^{-4} \text{ W}/(\text{mm}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Pour un accroissement de température de ΔT , on a à l'ordre un équivalence entre puissance électrique apportée et puissance dissipée par le fil, d'où la relation :

$$P=R.i^2=h.n.D.L.\Delta T \quad (2)$$

d'où en remplaçant par la relation (1) :

$$i=\sqrt{\frac{h.\pi^2.D^3.\Delta T}{4\rho}} \quad (3)$$

Comme la loi d'Ohm s'applique aussi ici comme partout ailleurs, on en déduit la tension nécessaire :

$$U=Ri=R\sqrt{\frac{h.\pi^2.D^3.\Delta T}{4\rho}} \quad (4)$$

⇒ Pour piloter la température du fil, il suffit de piloter sa tension d'alimentation.

Application numérique pour mon fil inox dans les conditions suivantes :

D	=	0,4 mm
ρ	=	0,75 Ω .mm ² /m
L	=	0,33 m
ΔT	=	1480 $^\circ\text{C}$ (condition limite de destruction, à température ambiante de 20 $^\circ\text{C}$)

On obtient $R = 1,97 \Omega$ d'après (1)

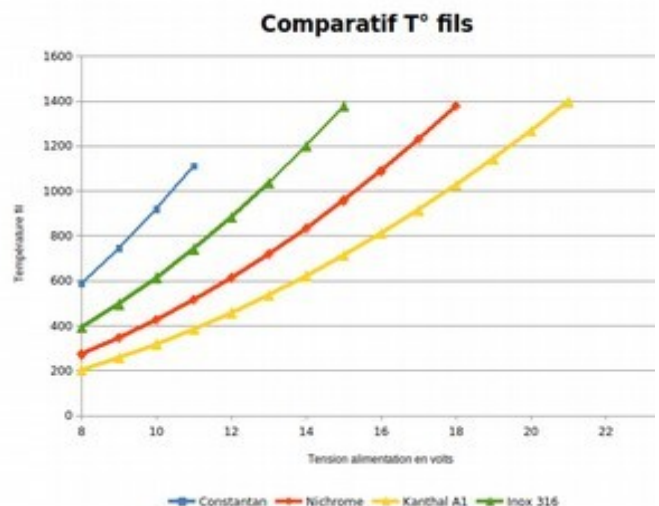
d'où :

P	=	124,4 W	d'après (2)
i	=	7,95 A	d'après (3)
U	=	15,65 V	d'après (4)

On constate que pour mes conditions d'usages, une simple batterie 12v ne suffit pas, à moins de réduire la longueur du fil à 25cm pour atteindre les 1500 $^\circ\text{C}$ (ce qui est hors cahier des charges), ou de se contenter de 880 $^\circ\text{C}$ côté fil en conservant les 33cm, ce qui risque d'être juste pour plier du 4mm!

Plus largement, on peut s'amuser à tracer la température d'un fil donné (diamètre, longueur, résistivité) en fonction de la tension appliquée... juste pour s'assurer de faire le bon choix !

On notera l'intérêt "à priori" du constantan car il chauffe plus à tension donnée... l'inox étant un bon compromis car moins gourmand en tension que les autres prétendants à seuil de destruction équivalent...



2 Générateur de tension

Vues les valeurs de tension visées ci-dessus et qui dépassent les traditionnels 12VDC, il va falloir sortir la grosse artillerie.

Mon point de départ est un driver de led chinois capable de sortir du 20A sous 24V à partir du secteur (soit 480W, ce qui est suffisant d'après les calculs précédents)... et qui présente l'immense avantage de traîner dans mon bordel à attendre son heure !



L'idée, c'est de lui adjoindre en aval un convertisseur DC-DC suffisamment puissant afin de faire varier la tension de sortie du driver pour piloter la température en dessous des 1500°C fatidiques, typiquement aux alentours de 15VDC. Trouvé sur eBay, ce convertisseur 300W permet de tirer 20A sous 12V lorsque alimenté en 24V (avec une efficacité de 96%, donc sans bouillonner au passage !). Cool.

L'étage de sortie est pilotable en tension (valeur cible) et en intensité (seuil maximum), grâce à deux petits potentiomètres à vis (visibles sur la photo de gauche ci-dessous, en bleu). L'idée, c'est de déporter le potard qui régit la tension vers le panneau de commande de la machine avec un potentiomètre de façade.

En résumé, il suffit de trouver un potentiomètre de 100k Ω , de dessouder l'ancien et d'opérer la greffe.



Avant... ...après !

3 Circuit électrique

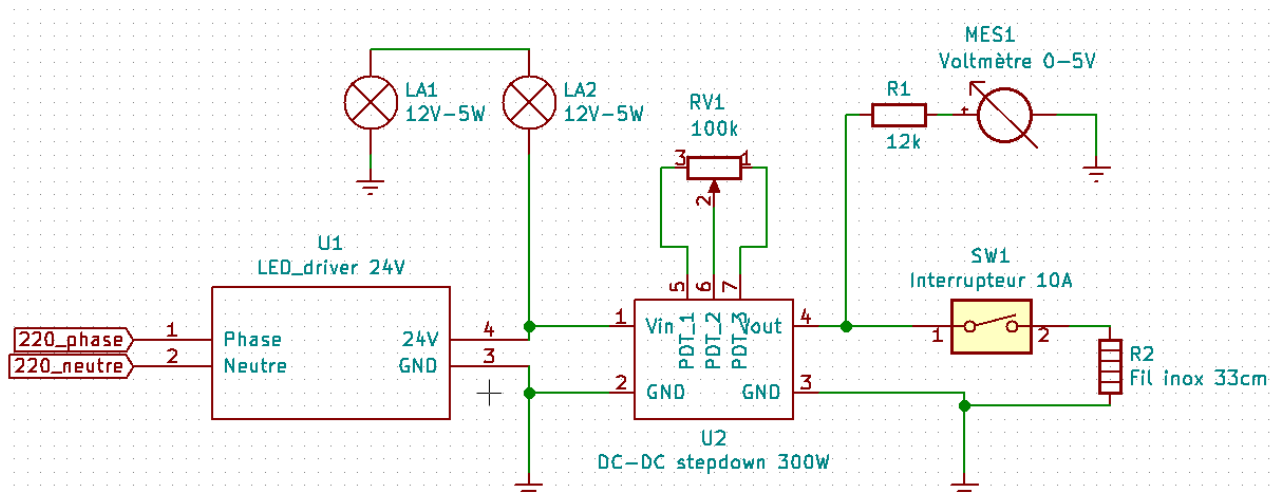
Au delà du générateur de tension, un simple galvanomètre à aiguille chinois permet de connaître la température appliquée au fil grâce à la conversion théorique volt-température développée au début de document. Afin que la galvanomètre affiche sur 0-17V environ (soit 0-1900°C), j'ai ajouté en amont une résistance de 12k Ω afin de faire un pont diviseur avec sa résistance interne initiale de 4,6k Ω (prévue pour la mesure 0-5v initiale).

Un autre point est l'alimentation générale qui fonctionne assez mal à vide (sautes d'humeurs tant que le fil n'est pas alimenté). Pour y remédier, j'ai tout simplement branché deux ampoules automobiles 12V-5W en série (=24V) directement dessus, ce qui stabilise l'ensemble.

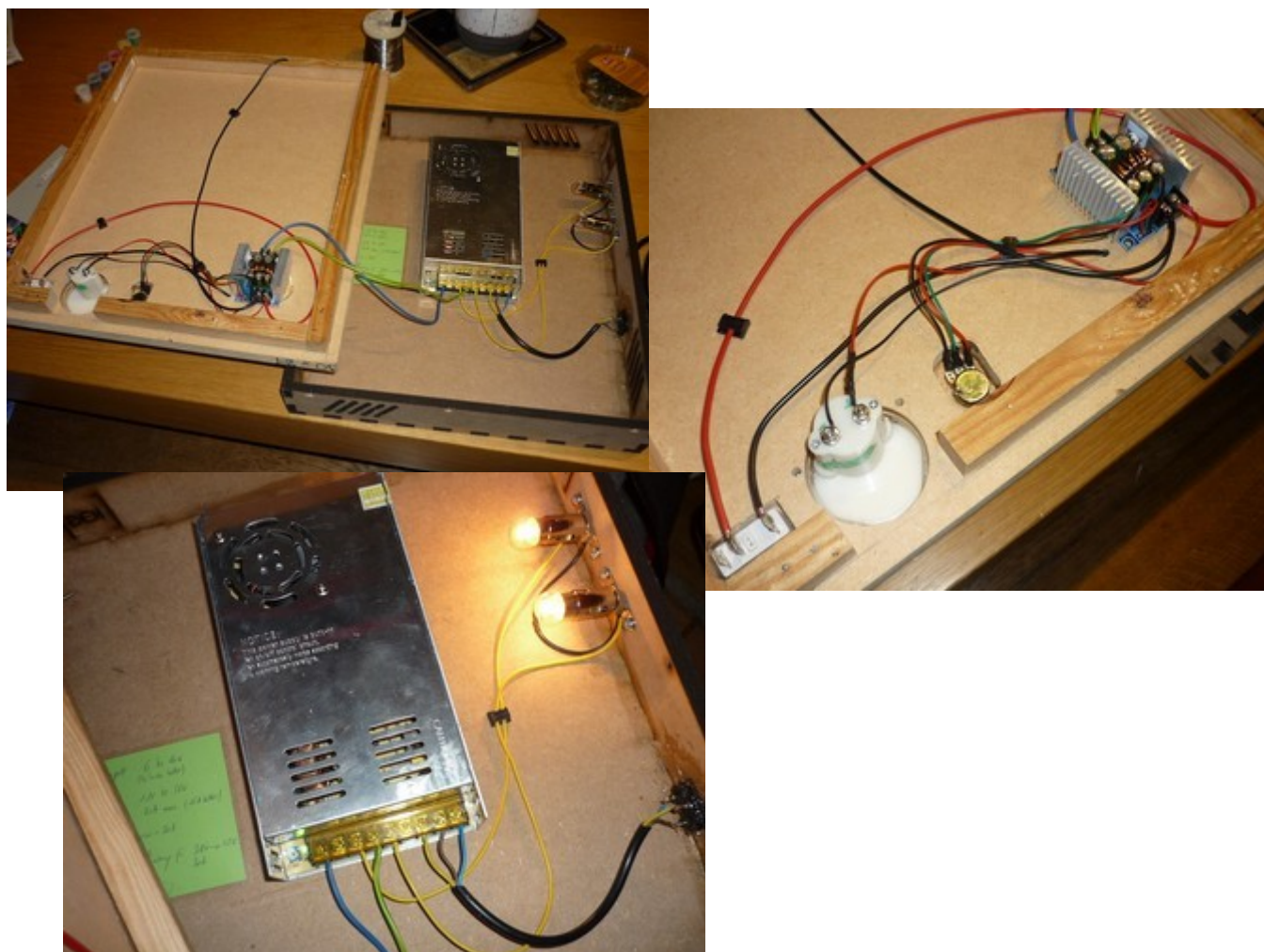
Enfin un interrupteur assure le démarrage et l'arrêt de la chauffe du fil en aval du DC-DC afin de permettre le réglage de la température avant d'envoyer la sauce dans le fil inox.

Deux pinces crocodiles assurent la connexion au fil inox (sans se soucier du type de soudure qui serait nécessaire avec l'inox).

Schéma de l'installation :



Et dans la vraie vie :



Alim sous tension, les ampoules remplissent leur rôle ;-)

4 Partie mécanique

Là, c'est moins calculatoire... et juste du bon sens pour résoudre les deux points critiques !

Premier point :

il faut anticiper la dilatation du fil sous température afin de le garder tendu même à 1500°C ou presque ! Un simple ressort à une extrémité fait le boulot.

Notez le renvoi d'angle avec le virage autour de la vis à tête fendu supérieure... cela permet de réduire l'encombrement de la machine !



Second point :

il faut maintenir le fil juste en dessous du thermoplastique à déformer, classiquement 1 à 2mm. En résumé, le fil doit être positionné avec précision et conserver cette position quelque soit la température d'usage.

Les vis à tête fendues supportent le fil à bonne hauteur.

5 Châssis

Rien de sensationnel de ce côté là. J'ai choisi de réaliser une boîte en médium de 10mm d'épaisseur capable d'embarquer la partie électrique à l'intérieur.

L'accès à une découpeuse laser m'a grandement aidé, mais ce n'est pas indispensable ;-)

La double planche supérieure permet de donner la hauteur suffisante au dessus du fil enchâssé dans un U en aluminium pour limiter les risques de brûlures.



III. Conclusion

Woulà... ça fonctionne bien, et ma graveuse a été réalisée en un rien de temps grâce à cette machine un peu hors normes... mais c'est là l'objet d'un autre papier sur les bidouilles d'IGS ;-)



Photo de la plieuse en phase de prototypage, alimentée par batterie avec fil de 25cm !

Photo plieuse fine :



Notez la dilation du fil entre arrêt et fonctionnement proche des 1500°C... plus de 6mm d'écart !



Have fun ;-)