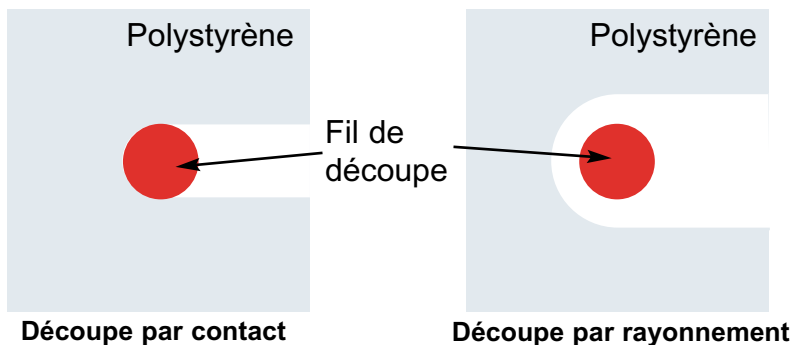


Enfin, votre table de découpe est prête ! Elle fonctionne admirablement. A vous les projets de découpes les plus fous. Eh non ! Il reste encore un réglage important à réaliser : le réglage de la chauffe du fil et la mesure de son rayonnement calorifique dans la matière utilisée (polystyrène, styrofoam, autre...). Ces deux éléments sont primordiaux pour la précision future de vos découpes, mais rassurez-vous les méthodes et études développées par l'ensemble des membres de font de cette opération une véritable partie de plaisir ! C'est aussi un excellent moyen de prise en main de votre table de découpe et quel plaisir de la voir fonctionner.

Avant d'aller plus loin dans ces réglages il est un point important à retenir : la découpe, à l'aide de votre table, se fait par rayonnement calorifique, le fil de découpe n'est pas en contact avec la matière. Ceci par opposition à notre méthode classique de découpe, à l'aide de gabarits, qui se fait par contact (le fil de découpe est en contact à la fois avec les gabarits et la matière). C'est la chaleur rayonnée par le fil

qui assure la fonte de la matière et sa découpe. Il faut donc perdre nos vieux réflexes de coupeur de polystyrène à l'aide de gabarits. Au début ceci pourrait être un peu déroutant. C'est l'unique manière de découper, dans du polystyrène, une forme avec précision.

Exemples de découpes, vu de profil



La découpe par rayonnement présente les avantages suivants :

- elle est reproductible pour une matière donnée,
- elle ne fait subir aucune contrainte mécanique, à la fois, à votre table et au fil de coupe,
- elle permet d'obtenir un état des découpes très flatteur.

Elle a aussi des inconvénients :

- il est nécessaire de régler impeccablement la chauffe du fil de découpe,
- pour des découpes précises, quelques tests sont à effectuer préalablement sur votre polystyrène.

Ces tests sont à faire, une fois pour toute, pour chaque qualité type de polystyrène à condition de garder la même longueur et diamètre du fil de découpe. Pour en connaître plus sur la découpe par rayonnement, nous vous conseillons la lecture des annexes 1 et 4. Avec les éléments recueillis à partir des tests, le logiciel CNC (<http://gm.cnc.free.fr/>) développé par Gilles Muller et Franck Bugnet, permet la compensation du rayonnement, la gestion de l'intensité de la chauffe et de la vitesse de découpe, de manière à obtenir des découpes précises.

A ce propos, il faut savoir qu'il y a deux manières d'utiliser votre table de découpe, à l'aide du logiciel CNC, qui dépendent du type d'électronique d'asservissement dont vous disposez et selon ses capacités de gestion de la température de chauffe :

- **Découpe avec chauffe manuelle ou fixée par le PC**, dans le cas où votre électronique ne permet pas l'asservissement de ces paramètres. Vos découpes seront réalisées à une vitesse donnée fixée par l'utilisateur, avec une chauffe donnée, correspondant à la vitesse de coupe, fixée manuellement aussi. Pour chaque changement de vitesse de coupe, pour un même matériaux, il faudra effectuer le réglage de la chauffe idéale. L'estimation de la valeur du rayonnement étant faite une fois pour toutes à la température de chauffe idéale.
- **Découpe asservie**, si votre carte électronique permet cette fonction (BB2001Z_x, MM2001, Picachof à ce jour). C'est le logiciel qui gère les paramètres vitesse de coupe et température de chauffe, il compense aussi le rayonnement. Pour cela il faut effectuer le réglage de la chauffe idéale à deux vitesses de coupe et la mesure du rayonnement. L'ensemble de ces données est saisi dans CNC menu **<Paramètres de découpe>** et concerne une matière donnée.

Comme vous pouvez le constater, à chaque fois nous associons chauffe et vitesse de coupe, car ces données sont indissociables pour une même matière : pour une vitesse donnée de coupe ne correspond qu'une seule bonne température de chauffe, et inversement pour une température de chauffe donnée ne peut correspondre qu'une vitesse de coupe. Pour ce qui concerne le rayonnement, celui ci est identique quelle que soit la vitesse de coupe à condition qu'elle se fasse à la température de chauffe idéale.

Nous vous proposons la méthodologie suivante :

- 1) Réglage de la chauffe idéale du fil à une vitesse donnée.
- 2) Et pour ceux qui souhaitent des découpes précises la mesure du rayonnement.

Avant d'aller plus loin dans ces réglages et mesures, nous supposons votre table bien configurée. Notamment pour ce qui concerne ses dimensions et les paramètres des axes X et Y, le temps maximum entre deux pas et la temporisation du timer. Ces éléments sont situés dans le menu configuration de CNC.

Une question ? Des conseils ? Une seule adresse : CNC@NET <http://www.teaser.fr/~osegouin/>

Le logiciel CNC ?
<http://gm.cnc.free.fr>



Webmaster : Olivier Segouin

Copyright ©2001 Aero@Net et Cnc@Net tous droits réservés (articles, informations & sujets).

Reproduction interdite sans autorisation

Réglage de la chauffe du fil

Cette opération consiste à régler la température de chauffe du fil à une vitesse donnée.

En clair, vous allez régler manuellement la chauffe du fil (la vitesse étant constante). Ce réglage est valable pour le polystyrène choisi.

A chaque changement de matériaux il devra être refait. D'où l'intérêt de choisir un fournisseur dont la qualité de produit ne présente pas de variation. De même, si vous changez la nature et ou le diamètre de votre fil de découpe, les réglages de chauffe et rayonnement seront également à refaire

Toutes ces opérations seront réalisées à l'aide de **<Découpe Test>** situé dans le menu **<Découpe>** du logiciel CNC.

Découpe test

Type de test: ☒ Découpe par le haut

Position du bloc en X: Offset XO (mm)

Position du bloc en Z: ☒ Bloc centré, Offset axe gauche (mm)

Espacement entre découpes: Espacement (mm) Nombre de découpes

Hauteur de dégagement: Dimension en Y (mm)

Dimensions du bloc: Largeur gauche (mm) Largeur droite (mm) Flèche G-D (mm) Longueur (mm) Hauteur (mm)

Type du bloc: Vitesse de découpe Chauffe (%)

Ne pas se préoccuper de ça : votre interface est en **mode manuel**

OK Annuler

- Prendre un bloc de polystyrène (environ 100mm x 1/2 largeur de votre table), dont les bords ne sont pas découpés au fil chaud (poly casse sur le bord d'une table après avoir donné un coup de cutter) et qui ne présente pas de points de compression (pour ne pas avoir de points durs lors du passage du fil), et le poser sur la table de découpe sans mettre de poids dessus.

- Dans le menu **<Découpe Test>** :

- indiquer les dimensions de ce bloc en X plus une marge de quelques millimètres, ceci permettra au fil de découpe de bien sortir du bloc de polystyrène

- fixer l'épaisseur de chaque tranche. Attention, éviter de descendre en dessous de 8mm car le polystyrène se déforme sous l'effet de la chaleur et ceci risque d'entraîner des erreurs d'appréciation sur le choix de l'intensité de chauffe. Nous vous conseillons de laisser la valeur par défaut (10mm)

- fixer votre vitesse de découpe, la plus élevée possible,

- cocher la case "découpe par le haut".

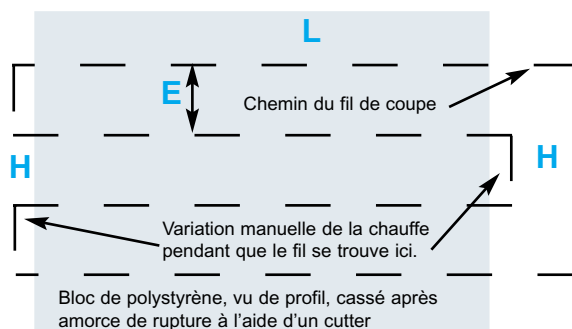
- Mettre l'interface en position chauffe manuelle.

- Lancer la découpe sur CNC.

- Faites varier la chauffe manuellement.

La bonne température sera trouvée quand le bloc est à la limite d'être entraîné par le fil de découpe mais cependant reste à sa position initiale.

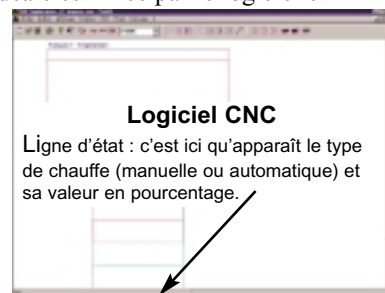
Tout va bien ? Alors notez soigneusement la valeur de la chauffe, la vitesse de découpe et le nom du polystyrène utilisé. **Maintenant il faudra refaire le réglage de la chauffe idéale pour une vitesse de découpe faible.**



Une fois ces manipulations terminées vous êtes en possession des données suivantes :

- le nom du matériaux utilisé,
- vitesse de découpe,
- le pourcentage de chauffe à la vitesse donnée.

Ces données sont à saisir dans le logiciel CNC, menu **<CNC>/<Paramètres de découpe>**. Ceci vous permettra d'utiliser la chauffe asservie par le logiciel, si votre électronique le permet (BB2001Z_x, MM2001, Picachof à ce jour) : en fonction de la vitesse optimale de découpe, la chauffe idéale est fixée par le logiciel et transmise au fil de découpe.



Astuces Plus l'écart de vitesse entre la découpe rapide et lente est important, plus le logiciel CNC gèrera avec précision la chauffe du fil.

Découpe par rayonnement

Découpe par contact

(comme à la main avec des gabarits)

Symptômes suivants la chauffe du fil de découpe

Fil trop froid

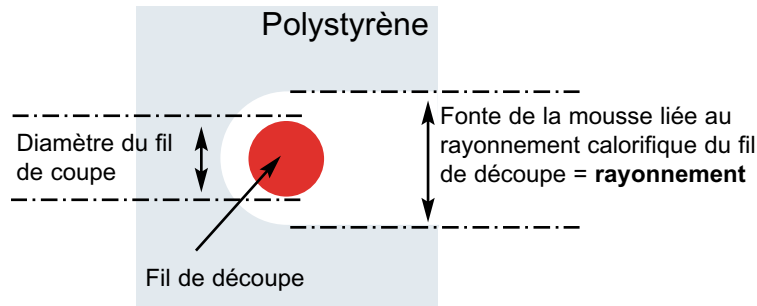
- Le bloc de mousse est entraîné par le fil.
- Si des vagues apparaissent, dans du polystyrène extrudé.
- Extrudé et expansé, la découpe laisse apparaître des traces dans le sens du fil.
- La lumière rasante laisse voir des cheveux (découpe au contact). Plus les cheveux sont longs, plus le fil est froid.

Fil trop chaud

- Le bloc de mousse est complètement immobile lors de la découpe.
- Si la peau des billes de polystyrène expansé semble se recroqueviller sur elle-même et la surface coupée est dure et râpeuse, fil trop chaud.

Estimation du rayonnement du fil

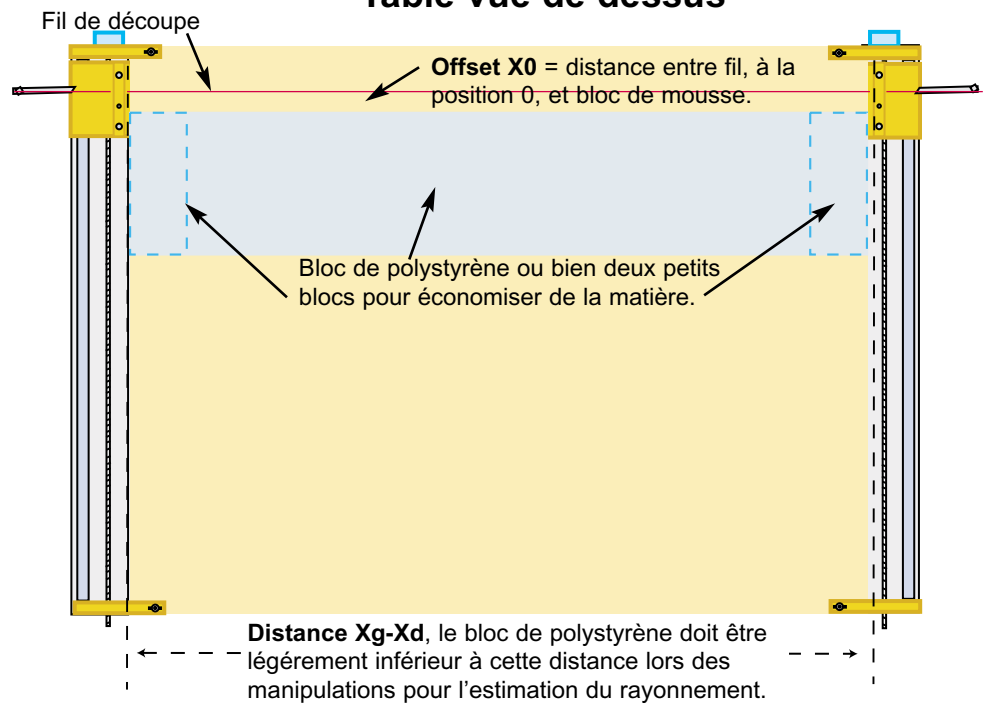
Le **rayonnement du fil** dans la matière découpée est le diamètre virtuel de celui-ci, exprimé en millimètre, ou encore la largeur de la trace de celui-ci laissée dans la mousse. Maintenant que la température de chauffe idéale est trouvée, il ne suffit plus que de connaître cette valeur



du rayonnement pour obtenir des découpes précises.

Pour ce faire nous vous proposons de simuler une découpe d'aile trapézoïdale dont la corde au saumon sera moitié moindre de celle de l'emplanture (corde saumon = corde emplanture / 2). Le profil d'aile sera un rectangle. Ce profil est disponible en téléchargement sur CNC@Net. Il suffira ensuite de mesurer la dimension des rectangles obtenus au saumon et à l'emplanture. De comparer cette dimension avec celle initialement saisie. La différence entre ces dimensions représente la valeur du rayonnement à la vitesse V pour l'emplanture et à la vitesse V/2 pour le saumon. Si la hauteur des rectangles obtenues est inférieure à la hauteur initiale du projet, il faudra augmenter la compensation du rayonnement et, au contraire, si la hauteur est supérieure il faudra la réduire. La bonne compensation du rayonnement est trouvée lorsque les hauteurs des rectangles du projet sont égales à celles des découpes. Voyons ceci en détail.

Table vue de dessus



Paramètres du tronçon

Cette valeur dépend de la dimension Xg-Xd de votre table

Global

Hauteur bloc poly (mm) 50

Longueur (mm) 800

Flèche Saumon (mm) 20

Profils emplanture et saumon

Profils différents ☒ Coffrage ☐

Ces données dépendent de votre bloc de mousse. Pour une entrée du fil au milieu du bloc : Hauteur de base = Hauteur bloc / 2

Emplanture

Fichier profil ... Rectangle 2 sur 1

Corde (mm) 80

Marge Bloc-B.A. (mm) 0

Marge Bloc-B.F. (mm) 0

Vrillage (deg) 0

Hauteur de base (mm) 25

Cambrure (%) 0

Epaisseur (%) 50

Peau (mm) 0

Saumon

Fichier profil ... Rectangle 2 sur 1

Corde (mm) 40

Marge Bloc-B.A. (mm) 0

Marge Bloc-B.F. (mm) 0

Vrillage (deg) 0

Hauteur de base (mm) 25

Cambrure (%) 0

Epaisseur (%) 50

Peau (mm) 0

Ce projet est livré avec le logiciel CNC à partir de la version 2.10 : 1 trapeze.cnc

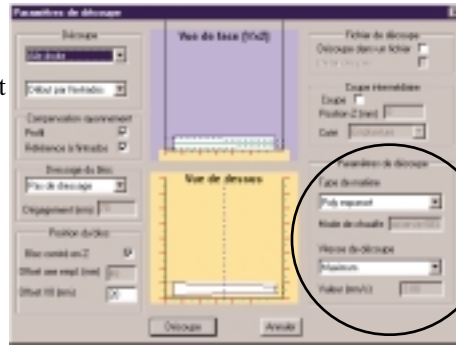
OK Annuler

Le projet décrit ci-dessous est disponible, à la fois, sur CNC@Net et avec le logiciel CNC depuis sa version 2.10

Dans le menu <Projet>/<Paramètres tronçon> fixer les valeurs suivantes (cf. schéma). Pour ce qui concerne la longueur essayer de faire cette découpe à la longueur maximale de votre table. Par exemple, la distance Xd-Xg de votre table est de 850mm, choisissez 800mm comme longueur de découpe. Assurez-vous aussi, d'une marge de matière entre le bloc de polystyrène et le noyau. Pour ceux qui souhaitent économiser la matière il est possible de n'utiliser du polystyrène qu'aux deux extrémités : dans ce cas là le positionnement de ces deux blocs devra être soigneusement effectué sur la table et ils devront être parfaitement parallèle entre eux.

Menu **Découpe tronçon** de CNC

Une fois le projet terminé, lancez la découpe sans avoir oublié de sélectionner le bon polystyrène.
Une fois la découpe finie vous êtes en possession soit de deux rectangles en mousse, soit d'un noyau trapézoïdal avec deux profils rectangulaires. **Mesurez la hauteur de chaque rectangle. Et comparez là à celle du projet d'origine.**



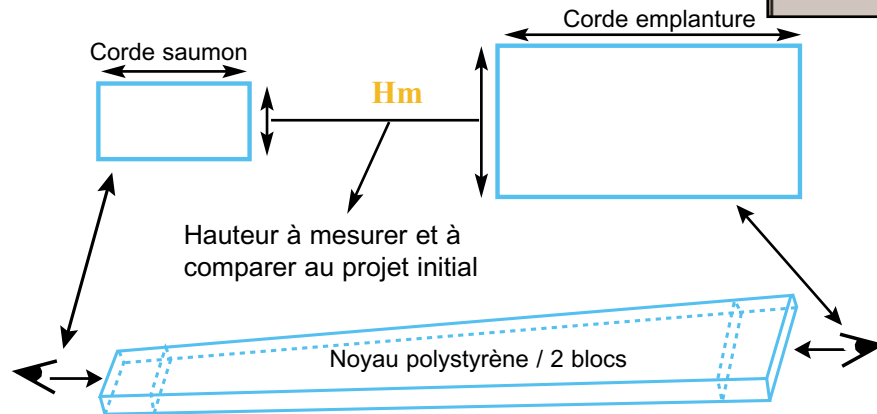
Paramètres de découpe

Type de matière
Mon polystyrène à moi

Mode de chauffe **asservie 68%**

Vitesse de découpe
Maximum

Valeur (mm/s) **3.88**



Après découpe, les dimensions en hauteur sont celles attendues. Les compensations de rayonnement proposées, à V et V/2 par défaut, dans le logiciel sont justes (menu **<CNC>/<Paramètres de découpe>**). Il n'y a plus rien à faire votre configuration est bonne.

Une hauteur obtenue est inférieure à celle de votre projet. Il faudra donc augmenter la valeur de rayonnement par défaut correspondante, V ou V/2. Vous mesurez une hauteur de 39,7mm, au lieu de 40 mm du projet initial. La différence de hauteur étant de 0.3 mm ($40 - 39.7 = 0.3$ mm), la valeur de rayonnement, par défaut, étant de 0.8mm ; elle devrait prendre la valeur de 1.1 mm ($0.8 + 0.3 = 1.1$ mm) pour que votre prochaine découpe ait la bonne hauteur. Saisir cette valeur dans le menu **<Paramètres de découpe>** de CNC.

Une hauteur obtenue est supérieure à celle de votre projet. Il faudra donc diminuer la valeur de rayonnement par défaut. Vous mesurez une hauteur de 40.2mm au lieu de 40 mm du projet initial, La différence de hauteur étant de 0.2 mm ($40 - 40.2 = -0.2$ mm), la valeur de rayonnement par défaut étant de 0.8mm ; elle devrait prendre la valeur de 0.6 mm ($0.8 - 0.2 = 0.6$ mm) pour que votre prochaine découpe ait la bonne hauteur. Saisir cette valeur dans le menu **<Paramètres de découpe>** de CNC.

D'une manière générale on peut dire que le rayonnement réel **$R = Rd + (Hp - Hm)$**

Avec **Rd** le rayonnement par défaut, **Hp** la hauteur du projet (corde du rectangle en mm x 50%), **Hm** la hauteur mesurée.

Cette valeur **R** se décline en deux valeurs, en fonction de la vitesse de coupe V (Hm à l'emplature) et V/2 (Hm au saumon). Ces deux valeurs sont à saisir dans le menu **<Paramètres de découpe>** et concernent le polystyrène utilisé.

Pour chaque nouveau type de mousse expansé utilisé il faut faire cette évaluation du rayonnement, de même si le diamètre du fil de coupe est changé.

Astuces

Évitez de comprimer le polystyrène lors de mesures. Le mieux est d'utiliser un pied à coulisse et d'intercaler le bloc à mesurer entre deux petites plaques de contre plaqué, d'époxy ou autres, à l'épaisseur connue.

En effectuant le réglage de la chauffe idéale et en réalisant l'évaluation du rayonnement, tels que décrit dans ce dossier, votre logiciel CNC est prêt pour la réalisation de découpes précises et ce, sans difficultés pour vous.

Bonnes découpes !



Annexes



Comportement du fil de découpe
Chauffe fixe, chauffe asservie
Trucs & astuces
Modélisation du rayonnement

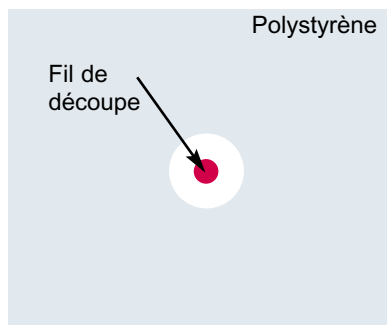
Le logiciel CNC ?
<http://gm.cnc.free.fr>

Une question ? Des conseils ? Une seule adresse : CNC@NET <http://www.teaser.fr/~osegouin/>

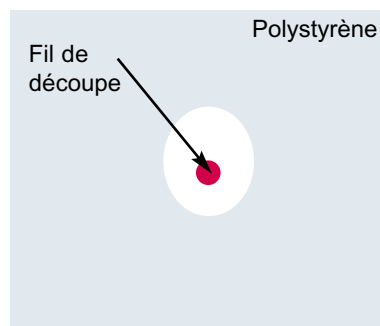


COMPORTEMENT DU FIL DE DECOUPE DANS LE POLYSTYRENE

Observons la chauffe du fil de découpe, immobile, dans un bloc de polystyrène :



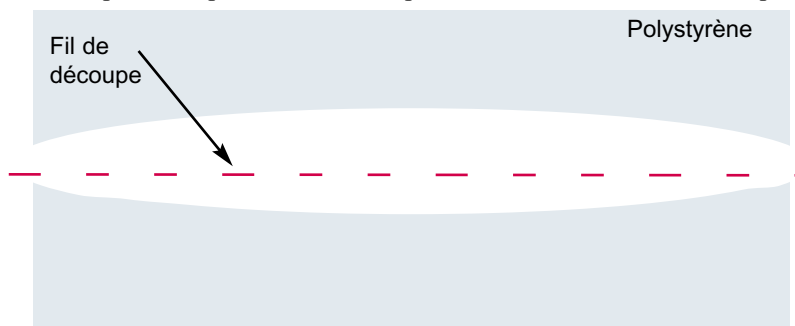
1- un trou bien rond va se former autour du fil



2- ensuite ce trou va se déformer en s'élargissant vers le haut et s'agrandir jusqu'à stabilisation.

Par curiosité si nous fendons ce bloc, en deux, nous constaterons que le diamètre du trou est plus grand à l'intérieur du bloc, ce dernier se resserrant sur les bords. Nous pouvons aussi constater que le fil chaud a surtout fondu le polystyrène au-dessus de lui.

Cette manipulation, nous permet de dire que la température du fil est plus élevée à l'intérieur du bloc qu'à ces bords. Le polystyrène est un



isolant, il emmagasine la chaleur du fil. Ce dernier est plus chaud à l'intérieur du polystyrène que sur ces parties à l'air libre. La fonte plus importante du polystyrène au-dessus du fil est due à l'accumulation de la chaleur (l'air chaud monte)

Le même phénomène se retrouve lors de découpe, à la main avec des gabarits. Ce ne sont pas, seuls les gabarits, qui refroidissaient le fil.

Lors de cette manipulation, nous pouvons considérer que si la trace laissée par le fil, dans la mousse, est bien ronde, c'est que nous sommes à la température de chauffe idéale.

Corollaire pour la découpe d'ailes



Ch chauffe fixe et chauffe asservie

Ch chauffe fixe

Nous parlons de chauffe fixe, lorsque la température du fil de découpe est ajustée manuellement depuis l'interface ou lorsque qu'elle est générée par le PC de manière non asservie. La chauffe fixe est utilisée avec un polystyrène que nous ne connaissons pas et qui servira de manière ponctuelle. Ce mode permet de passer moins de temps à l'évaluation de la chauffe idéale, puisse que nous l'évaluons pour une seule vitesse. Avant de commencer cette évaluation vous devez éditer votre projet de découpe pour connaître la vitesse de coupe maximale imposée par CNC. C'est à cette vitesse que vous devrez évaluer la chauffe idéale. Le plus pratique est de saisir vitesse et chauffe dans le menu **<Paramètres de découpe>**. Attention dans ce cas ne pas cocher "chauffe asservie". Si le projet de découpe ne comporte pas plusieurs tronçons (trapèzes) qui doivent se raccorder à la perfection, vous pouvez vous contenter des valeurs de compensation du rayonnement, V et V/2, réalistes, données par défaut par CNC. Si n'est pas le cas, vous devez déterminer le rayonnement.

Ch chauffe asservie

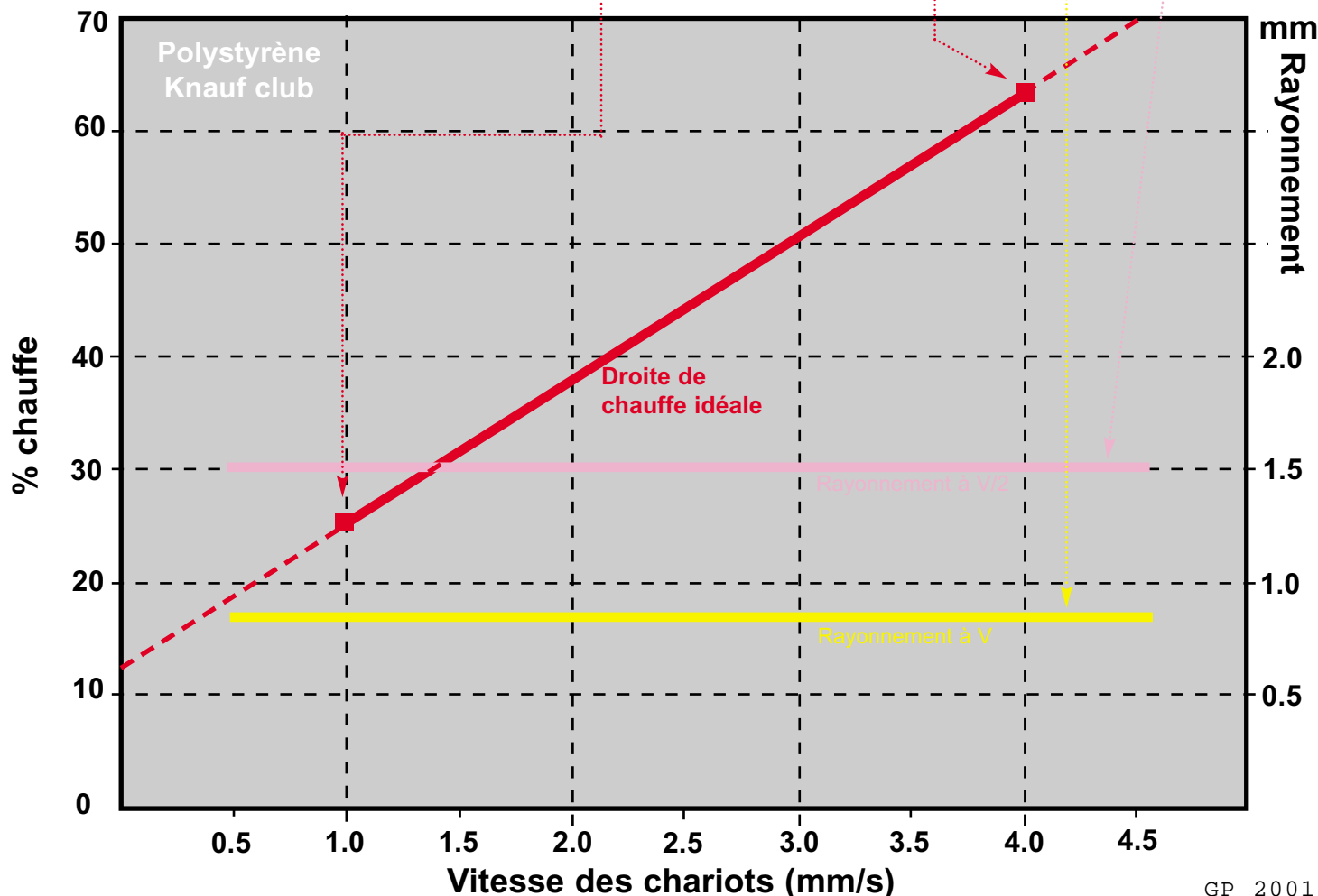
Dans ce mode de découpe l'utilisateur ne s'occupe plus de régler la vitesse de coupe et la chauffe, c'est le programme CNC, qui s'en charge. Il se charge aussi de compenser efficacement le rayonnement du fil de découpe, si vous avez pris le temps de déterminer ce dernier. Pour paramétrer correctement la chauffe asservie dans le menu **<Paramètres de découpe>** vous devez déterminer la chauffe idéale à deux vitesses très différentes. Une vitesse proche ou égale à la vitesse maximale de vos chariots (celle indiquée dans le menu **<Configuration>**) que vous saisirez dans le champ "vitesse max" avec la chauffe idéale correspondante et une vitesse lente que vous saisirez dans le champ "vitesse min". Plus l'écart des vitesses en question sera grand, meilleure sera la précision et la qualité des découpes. Le paramétrage de la chauffe asservie est plus long à effectuer mais une fois celui-ci réalisé, il sera utilisable sans aucune autre intervention de l'utilisateur pour cette matière et dans toute la gamme de vitesse et chauffe de votre ensemble de découpe. Il en sera de même si vous décidez de déterminer la compensation du rayonnement. Ensuite, ces informations sont sauvegardées dans la base de données de CNC et le logiciel gère automatiquement vitesse, chauffe et rayonnement.

Comment cela est-il possible ?

Des études et des expériences montrent que, pour une même matière à différentes vitesses de coupe :

- la chauffe idéale du fil de découpe est directement proportionnelle à la vitesse de coupe
- le rayonnement du fil de découpe ne change pas quelle que soit la vitesse de découpe, à condition quelle soit effectuée à la température de chauffe idéale.

Ces découvertes expérimentales ont permis d'asservir la chauffe par le logiciel CNC. Elles permettent aussi de simplifier la vie aux utilisateurs de la chauffe fixe : au lieu de faire des réglages de chauffe idéale systématiques à toutes les vitesses, nous pouvons les faire à la vitesse mini et maxi de notre table et tracer une droite entre ces deux points pour connaître les autres valeurs de chauffe. Pour cela, il faudra disposer d'une interface électronique qui gère la chauffe, à ce jour MM2001, Picachof et certaines BB2001.



Exclusivité
CNC@Net

Des découpes, belles et précises

Le polystyrène extrudée permet de belles découpes. Sa structure est plus homogène, l'état de surface des découpes obtenues est très flatteur. Seuls inconvénients, il est lourd et nerveux !

Le polystyrène expansé (blanc) plus léger que le polystyrène extrudé, pour de bonnes découpes doit être sans impureté, de structure homogène et sans humidité.

Le diamètre du fil de découpe doit être le plus faible possible, entre 0.2 et 0.3 mm.

Avant chaque découpe nettoyer votre fil avec un chiffon ou du papier.

Pour une meilleure précision de la découpe d'un profil, commencer la découpe par l'extrados, préférez une découpe ouverte.

Les découpes d'ailes trapézoïdale avec un grand effilement, (rapport des cordes d'emplanture et d'extrémité) ne donnent pas de bon résultats du côté le plus petit (saumon). Pour une découpe d'un rapport 1 sur 2 (par exemple, emplanture 200 et extrémité 100 mm) le profil sera très déformé voir même inutilisable, suivant son épaisseur, du côté de l'extrémité de l'aile. Ceci est dû au rayonnement du fil, plus important du côté où le fil avance le moins vite. Les vitesses de déplacement du fil étant du simple double entre emplanture et saumon dans notre exemple. Le programme CNC, base sa vitesse de découpe sur du côté du plus grand du trapèze (emplanture). Dans le cas d'une découpe à grand effilement vous avez intérêt à utiliser "coupe intermédiaire" du menu **<Découpe tronçon>**. Avec l'exemple précédent, chaque trapèze d'aile sera découpé en 2 fois. Exemple : trapèze N°1 emplanture 200 et saumon 150 mm, trapèze N°2 emplanture 150 et saumon 100 mm, pour un trapèze d'aile partagé en deux longueur égale. Le rapport des cordes et des vitesses passe de 2 à 1.5, la découpe se fait correctement. Ceci peut aussi être réalisé en créant votre projet avec des tronçons multiples (à partir de la version 2.08 du logiciel CNC).

Lors de découpe trapézoïdale le fil chaud glisse dans ses supports de maintien et d'entraînement. Celui-ci doit pouvoir glisser facilement dans chaque support pour éviter que le fil donne des à-coups et vibre (état de surface de la découpe) Pour qu'il puisse glisser facilement l'angle formé par le fil et le bras de l'axe et son support doit être le plus faible possible. D'où l'intérêt de construire un arc léger. Le Vé d'entraînement doit former un angle d'ouverture d'au moins 90°. Laisser pendre l'arc au-dessous de la table est la méthode la plus saine.

Consultez la partie "arc de découpe" du dossier sur la Rustica.

Votre table de découpe doit présenter le moins de jeu possible. Cependant si lors des découpes d'évaluation du rayonnement les rectangles obtenus ne sont pas parfaitement rectangulaires, partie inférieure (intrados) plus petite que la partie supérieure (extrados), cela est dû au jeu entre l'écrou et la tige filetée d'entraînement du chariot des X.

Mesurez et calculez cette différence de longueur. Ensuite dans le menu **<Configuration>** connaissant le nombre de pas par tour de votre moteur et le pas de votre vis mère, calculez le nombre de pas perdu correspondant et renseignez avec le champ "Pas perdu/Inversion de sens", lors de la prochaine découpe, votre bloc sera parfait en dimensions et géométrie.

Modélisation de l'effet de rayonnement causé par le passage d'un fil chauffant à travers un matériau fusible.

© Jacques Blain

Dimanche, 31 octobre, 1999

Introduction

Ce document décrit un modèle simple qui permet de prédire le volume de matière qui sera fondu lors du passage d'un fil uniformément chauffé à une vitesse constante le long d'une trajectoire rectiligne.

En utilisant ce modèle, il est possible de prévoir, pour des conditions de découpe connues (type de fil, voltage, vitesse d'avance, type de mousse), l'épaisseur finale de la zone fondue par le rayonnement thermique du fil, ainsi que la distance minimale qu'il y aura entre le centre du fil et la mousse pendant la découpe.

L'utilisation du modèle implique que l'on connaisse la valeur de la chaleur latente de fusion du matériau découpé. Bien que cette valeur soit généralement difficile à trouver dans la littérature, il est assez facile de la déterminer expérimentalement.

Les résultats expérimentaux obtenus par l'auteur semblent confirmer que les prédictions faites avec ce modèle s'avèrent suffisamment précises pour atteindre le but visé, c'est-à-dire la découpe de profils aérodynamiques avec l'aide d'une machine numérique pilotée par ordinateur.

On discutera également des façons d'étendre le modèle afin de pouvoir prédire l'effet de rayonnement le long de trajectoires curvilignes. Ces corrections sont utiles, si l'on désire une grande précision lors de la découpe de régions fortement courbées, comme par exemple les bords d'attaque de profils aérodynamiques.

Simplifications

Pour en arriver à une solution analytique simple du problème, on utilise les idéalizations suivantes :

- 1) La chaleur latente de fusion (K) du matériau est beaucoup plus importante que l'énergie nécessaire pour faire passer le matériau de la température ambiante à son point de fusion
- 2) Le matériau fondu possède des propriétés uniformes à travers tout son volume
- 3) Le fil n'entre jamais en contact avec le matériau.
- 4) Le transfert d'énergie entre le fil et le matériau ne s'effectue que par rayonnement; On néglige donc les composantes convectives.
- 5) En raison des hypothèses 3 et 4, la surface du fil est toujours propre
- 6) On néglige les effets de bords, c'est-à-dire que le modèle n'est applicable que dans le volume du noyau de découpe et pas sur ses cotés
- 7) La découpe s'effectue à voltage constant. Si l'on utilise une source de courant plutôt qu'un transformateur, il est facile de reformuler le modèle en conséquence.
- 8) Toute la puissance dissipée dans le fil sert directement à la fusion du matériau

Symboles

Φ	Diamètre du fil chauffant
l	Longueur du fil de découpe (mètre)
V	Voltage durant la découpe (volt)
I	Courant durant la découpe (ampères)
R	Résistance du fil par unité de longueur (ohm/m)
P	Puissance dissipée dans le fil par unité de longueur (Watt/m)
K	Chaleur latente de fusion de la mousse par unité de longueur (joules/m ²)
t	Le temps (secondes)
v	Vitesse de découpe (m/s)
L	Largeur finale de matériau fondu par le passage du fil (m)
d_i	Distance minimale entre le centre du fil chauffant et le matériau découpé
v_{\max}	Vitesse maximale de découpe pour une puissance donnée

Le fil

On suppose que sa résistance par unité de longueur, R , est uniforme et constante durant la découpe. C'est donc la valeur mesurée une fois la température de découpe atteinte. Cette valeur est toujours supérieure à la résistance mesurée à température ambiante. On doit donc, pour chaque type de fil, soit la calculer grâce aux propriétés intrinsèques du fil, soit la déterminer expérimentalement. Elle dépend en particulier du type de fil (diamètre et nature), de sa longueur et/ou du voltage de découpe.

Si l'on connaît la résistance du fil sous tension V , alors la puissance par unité de longueur est obtenue par

$$(1) \quad P = V^2/RI \text{ Watts/m}$$

Si l'on travaille à courant fixe, alors on peut écrire

$$(1) \quad P = RI^2/I \text{ Watts/m}$$

Le phénomène de fusion par rayonnement autour d'un fil stationnaire

Si l'on pouvait introduire un fil froid dans la masse du matériau, puis instantanément le rendre chaud, on verrait alors une zone de fusion circulaire apparaître et croître autour du fil sous l'effet du rayonnement. Au départ, le rayon de cette zone augmenterait rapidement puis, petit à petit, l'accroissement de rayon ralentirait.

On peut facilement comprendre pourquoi en examinant la figure 1

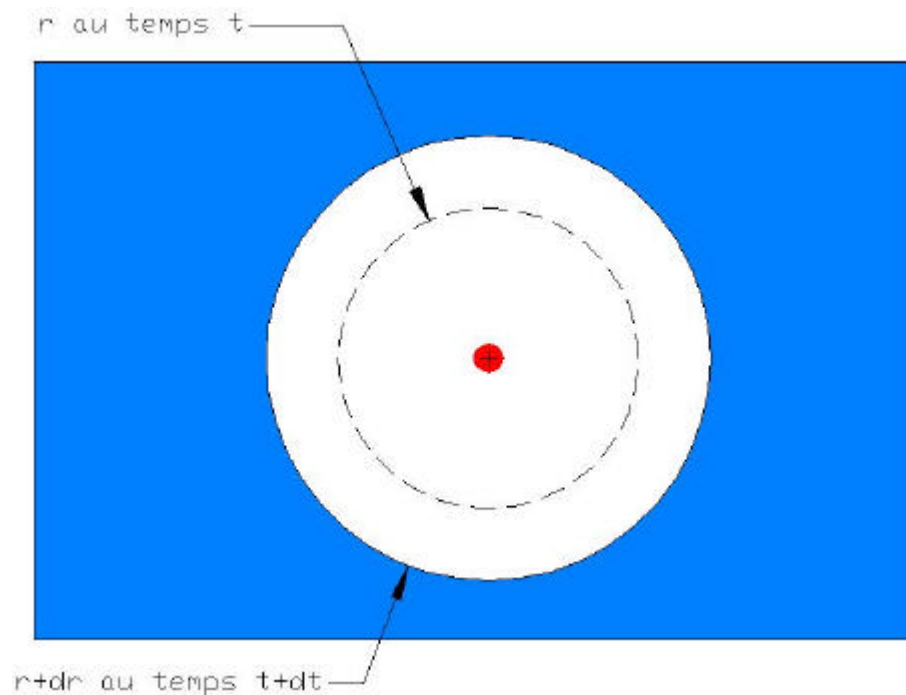


Figure 1

Si, au temps t , le rayon de la zone fondue est égal à r et au temps $t+dt$, il est égal à $r+dr$, alors le rayon s'est accru de dr en un temps dt . Il en découle donc que le volume de matière fondue dans le même intervalle dt est égal à :

$$\text{Volume fondu au départ par unité de longueur} = \Pi r^2$$

$$\text{Volume final à } t+dt = \Pi (r+dr)^2$$

$$\text{L'accroissement de volume dans le temps } dt = \Pi (dr^2 + 2rdr)$$

Pour ceux qui ont fait du calcul différentiel, on sait que si dt tend vers 0, alors dr^2 devient une valeur négligeable face à $2rdr$. L'accroissement de volume dans l'intervalle dt s'écrit alors plus simplement comme :

$$(2) \quad dv = 2\Pi r dr \quad m^2$$

Pour un matériau dont on connaît la chaleur latente de fusion K par unité de longueur, Kdv sera la quantité d'énergie nécessaire pour faire passer le rayon de mousse fondue de r à $r+dr$. Si l'on divise cette quantité par dt on obtient alors la puissance par unité de longueur nécessaire à l'avance du front de fusion.

$$(3) \quad Kdv/dt = P \quad \text{Watts/m}$$

Cette puissance est forcément égale à la puissance électrique dissipée dans le fil. En combinant les équations (2) et (3) on conclut que :

$$(4) \quad P = K2\Pi r_1 dr/dt \quad \text{Watts/m}$$

$$(5) \quad dr/dt = P/2\Pi K r_1 \quad m/s$$

L'équation (5) donne donc la vitesse d'avance d'un front de fusion situé à une distance r d'un fil dans lequel on dissipe une puissance P .

Le phénomène de fusion par rayonnement autour d'un fil en mouvement rectiligne

La figure 2 donne la forme approximative du sillage causé par le passage d'un fil se déplaçant de gauche à droite le long d'une trajectoire rectiligne.

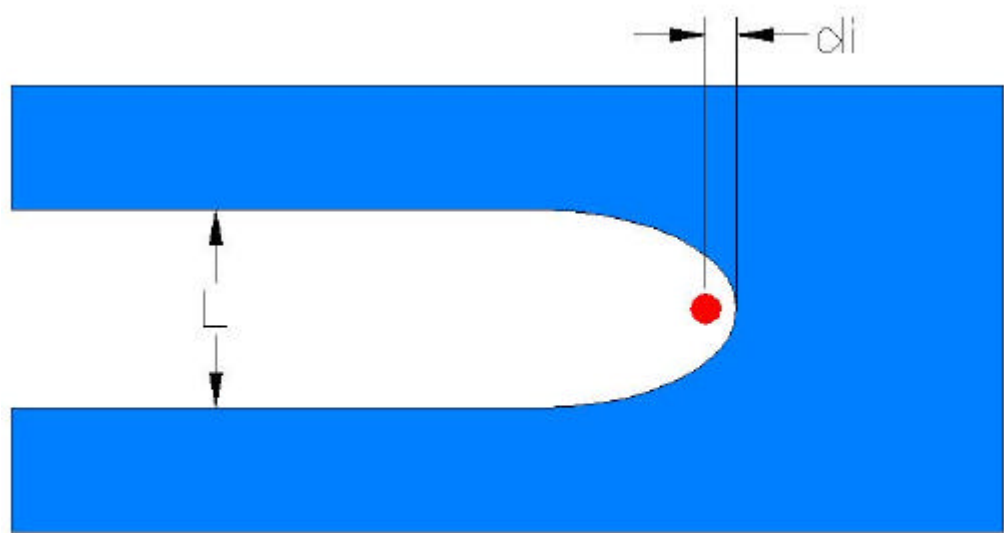


Figure 2

Le fil dissipe de façon continue une puissance P pendant son mouvement. Grâce à l'équation (5), il est assez facile de connaître la distance (d_i) entre le centre du fil et le front de fusion. En effet, cette distance correspond au rayon r de l'équation (5) pour lequel la vitesse d'avance du front de fusion dr/dt est égale à la vitesse de découpe v .

$$(6) \quad v = P/2\pi K d_i \quad \text{m/s}$$

$$(7) \quad d_i = P/2\pi K v \quad \text{m}$$

La distance entre le centre du fil et le front de fusion sera alors directement proportionnelle à la puissance utilisée et inversement proportionnelle à la vitesse de découpe. En n'utilisant que les hypothèses actuelles, il est également possible de calculer la largeur finale du canal produit (L). En effet, si le fil se déplace à vitesse v et produit un sillage de largeur L alors le taux de fusion du matériau est égale à :

$$(8) \quad \text{Taux de fusion} = Lv \quad \text{m}^2/\text{s}$$

A cause de l'hypothèse (8), le produit du taux de fusion et de la constante K doit être égal à la puissance dissipée :

$$(9) \quad P = LvK \quad \text{watts}$$

En combinant (7) et (9), on arrive à :

$$(10) \ 2\Pi K v d_i = L v K \quad \text{watts}$$

C'est-à-dire que :

$$(11) \ L = 2\Pi d_i = P/Kv \quad \text{m}$$

Donc, indépendamment de la vitesse du fil, de la puissance utilisée et même de la nature du matériau découpé, on voit que la largeur finale du sillage sera égale à 2Π fois la distance entre le centre du fil et le front de fusion. La largeur du sillage est donc aussi directement proportionnelle à la puissance utilisée et inversement proportionnelle à la vitesse de découpe.

A titre d'exemple, si l'on découpe de la mousse expansée et que le sillage produit a une largeur de 2 mm. On sait alors (équation 11) que le front de fusion se trouvait à $(2/2\Pi)$ c'est-à-dire 0.32 mm du centre du fil. Si le diamètre du fil était de 0.3 mm, alors la distance entre la surface du fil et le front de fusion dans la mousse était égale à $0.32 - (0.3/2) = 0.17$ mm.

Dans ces conditions, la moindre variation de vitesse, de puissance ou des propriétés de la mousse (K) peut entraîner un contact entre le fil et la mousse. Dans ce cas, on souille le fil, on passe d'un transfert radiatif d'énergie à un transfert conductif et en général on obtient un résultat loin de l'optimal.

On remarque également que le modèle permet de calculer la vitesse à laquelle le fil entrera en contact avec la mousse qui correspond à la vitesse maximale de découpe. Dans ce cas :

$$L = \Phi/2$$

Et alors selon (9) :

$$(12) \ v_{\max} = 2P/\Phi K$$

En pratique, la vitesse maximum est toujours inférieure à la valeur donnée par (12) à cause, entre autre, des vibrations du fil et de la formation de gouttes de mousse fondue qui peuvent toucher le fil par capillarité.

Le phénomène de fusion par rayonnement autour d'un fil en mouvement curviligne

Dans le cas d'un mouvement rectiligne, le canal produit par le passage du fil chaud est symétrique par rapport à l'axe de déplacement du fil. Dans le cas d'un mouvement curviligne, la situation est différente et l'asymétrie du canal par rapport à la trajectoire du fil est liée à la courbure locale de la trajectoire.

Le traitement analytique de ce cas est plus complexe et ne sera pas développé dans le présent texte. La figure 3 donne cependant une idée de l'effet de la courbure de la trajectoire sur la forme du sillage.

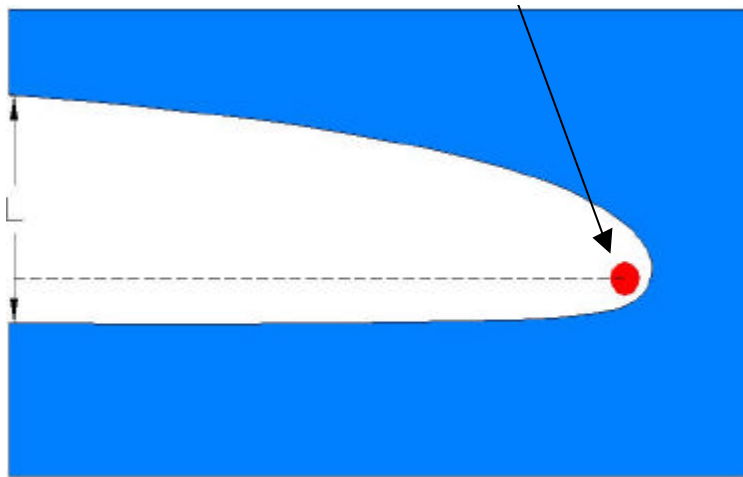


Figure 3 Illustrant la dissymétrie provoquée dans le sillage par la courbure de la trajectoire de découpe. L'effet de rayonnement total L , reste le même que précédemment, il est cependant beaucoup moins marqué en bas du pointillé (extérieur de la trajectoire) qu'en haut. La flèche représente ici le rayon de courbure.

Basé sur mes expériences personnelles, je suis convaincu que l'effet de la courbure locale de la trajectoire est perceptible en pratique et que si l'on désire un maximum de précision on doit en tenir compte. Cette correction est cependant, dans la plupart des cas, assez faible pour ne pas causer de problèmes majeurs, sauf si vous êtes du genre quadrikératomique (vous aimez fendre les cheveux en quatre).

Détermination expérimentale de la constante K

L'utilisation de ce modèle requiert au départ de connaître pour un matériau donné la valeur réelle de K. Bien qu'il puisse être possible de la découvrir dans des ouvrages de référence, il est cependant beaucoup plus facile de la déterminer empiriquement.

Il s'agit de couper un même morceau de mousse avec un même fil soit à deux vitesses différentes, soit à deux puissances différentes et d'ajuster K pour que dans les deux cas, les largeurs prédites du sillage correspondent aux valeurs obtenues.

Conclusion

En utilisant les résultats principaux présentés (équations 7, 11 et 12), il est possible de prédire la largeur du sillage produit par le passage d'un fil chaud dans un matériau, la distance minimale entre le fil et la mousse ainsi que la vitesse maximale de découpe possible.

Pour ce faire, il faudra cependant déterminer expérimentalement, pour chaque matériau, la valeur de la constante K.

Pour un maximum de précision durant la découpe, il faudra tenir compte de la courbure locale de la trajectoire.