

Conception de machine (1), les bases

Des articles pour vous permettre de concevoir et réaliser une machine quelconque, faire de la conception de machine. Avec quelques notions simples et pragmatiques tout un chacun trouvera le cheminement à suivre d'une idée vers une réalisation à peu près possible (ne rêvons pas ☐). Cela s'adresse à ceux qui n'ont pas de méthode. Le but, fournir un chemin concret vers votre réalisation, c'est un peu présomptueux mais ça peut aider! Pour rendre ce tracé le plus clair possible, j'utiliserai un fil rouge, l'idée d'un matin.

Séparation arbitraire de cet narration en divers articles

- 1. les biscuits pour l'aventure*
 - 2. les probables problèmes*
 - 3. les premiers encouragements*
 - 4. les espoirs et la réalité*
 - 5. le bilan*
-

Introduction

Donc au magasin de bricolage du coin, je trouve un kit de réparation de ventilateur pour un prix "chinois" (environ 1,2 €) et l'idée de me fabriquer une petite graveuse pour circuits électroniques a germé.



Comme expliqué, nous utiliserons la genèse de cette petite graveuse pour sortir des principes fondamentaux pour la conception d'une machine. L'idée c'est de montrer qu'avec peu de matériel, il est possible de faire quelque chose d'intéressant. Attention nous n'allons pas fabriquer une machine pour usiner des hélices de bateaux, mais une machine de faible puissance.



Le terme est lâché : la puissance ?

Avant toute aventure il est préférable d'avoir quelques biscuits avec soi, et dans la nôtre, d'aventure, les biscuits sont quelques notions théoriques NON partez pas ! Rien de bien compliqué, du bon sens paysan comme disent certains. En fait le plus important dans tout ce que je vais vous raconter, c'est le prochain paragraphe (en jaune), le reste c'est un exemple, une démonstration, du blabla. Pour avoir réalisé passablement de machines diverses (ça fait un peu vieux qui radote), c'est la plus pragmatique des méthodes pour arriver à un résultat pas trop éloigné de votre souhait, que vous trouverez ci-dessous.

AU DÉPART

Définissez votre but : C'est la tâche que doit accomplir votre machine, comme bâtir une maison, fabriquer un cadran de montre de luxe, souder les plaques d'un sous-marin d'attaque, réaliser des figurines en plastique, dessiner un objet virtuel bref "**faire un objet.**"

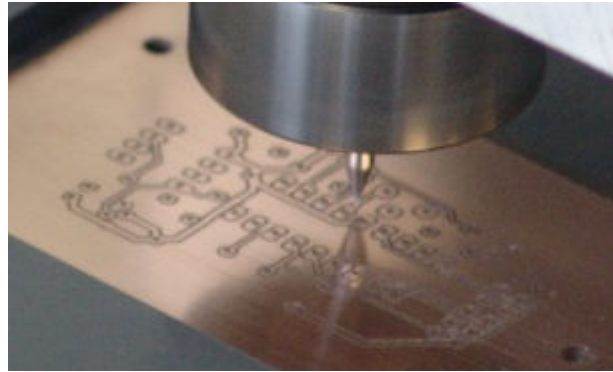
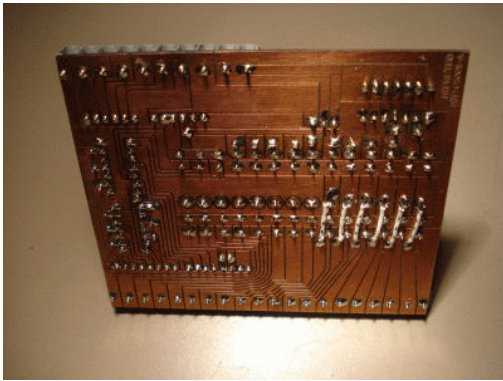
De ce but, vous en tirez deux éléments que vous n'oublierez pas durant la conception et réalisation de votre machine : l'exactitude et la puissance, de là découle le reste : la construction, le prix, la faisabilité, le type de machine, le principe de fabrication, etc. Donc un premier conseil lorsque vous concevez et confectionnez une machine : **gardez toujours devant vous un rappel du but et des deux paramètres: exactitude et puissance.**

Donc pour réaliser la conception d'une machine, trois éléments à impérativement définir :

BUT, EXACTITUDE et PUISSANCE

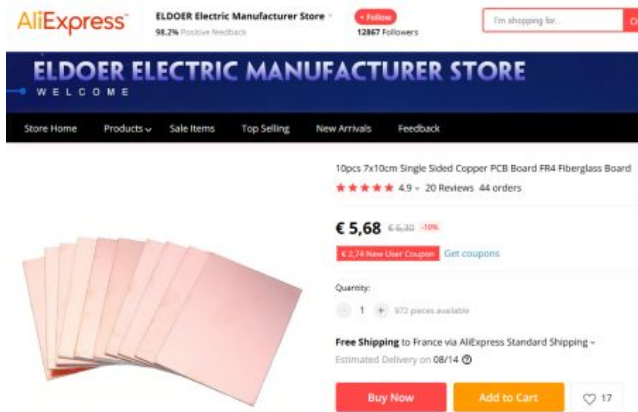
Notre fil rouge

Pour notre graveuse de PCB (circuit électronique), avant de fixer son but et ces deux paramètres principaux, voici une rapide présentation du projet, ehhhh c'est pas une invention, ça existe, d'autres l'ont déjà réalisé. Donc pour ceux qui ne savent pas ce qu'est une graveuse mécanique de circuits électroniques (certains parlent de "gravure à l'anglaise"). Deux photos, [un site](#) et deux petites vidéos (4'06) et (1'10) pour visualiser le projet. Mention spéciale pour le projet (2ème vidéo) de "The Ant", vraiment superbe machine.



SON BUT

Graver des circuits électroniques amateurs par gravure mécanique. C'est-à-dire enlever une fine couche de cuivre d'une plaque d'[époxy](#) (ou autre support). Dans le commerce ces plaques ont généralement une épaisseur de 1,5 mm, dont une couche de cuivre de l'ordre de 30µm. La taille que l'on prendra comme base sera une plaque de 100mm x 70mm. Au hasard sur Internet :



Dans mon but, j'espère que vous avez remarqué que j'ai tout de suite transgressé une des règles de la conception de machine qui est, de ne décrire que l'objet que doit réaliser la machine. Moi, j'ai fixé d'emblée le mode de fonctionnement de la machine (gravure mécanique) alors que pour faire des cartes électroniques beaucoup d'autres principes sont (pourraient être) utilisés. L'entorse est volontaire, c'est pour vous éviter un exposé sur ces diverses possibilités de réalisation qui n'a pas sa place ici. Mais pour votre réalisation prenez le temps de chercher, c'est passionnant et excitant, surtout ne copiez pas forcément ce qui existe !

SON EXACTITUDE

C'est le résultat que vous voulez obtenir qui vous l'indiquera. Si vous souhaitez réaliser la conception d'une machine qui éclaire un objet situé à 250m, son exactitude sera, par exemple, définie par la luminosité et sa variation dans la zone souhaitée (l'objet à 250m). Dans notre cas, c'est une graveuse, en conséquence il s'agit d'obtenir une forme géométrique plane dont ses déformations seront acceptables.

Cette exactitude est souvent délicate à définir, mais il est très bénéfique (argent, temps, travail, etc) d'essayer de spécifier ce que vous souhaitez comme résultat. Pour l'instant, pour notre machine, pas de valeur, cela sera présenté après les explications dites "théoriques", donc voir plus loin □.

SA PUISSANCE

C'est ce qui "entre" dans votre machine pour assurer son fonctionnement, mais comme vous n'avez pas encore d'idée de sa conception, c'est compliqué à déterminer ! Pour essayer de se débrouiller, reprenons le cas de la machine qui doit éclairer à 250m. Si on définit une

luminosité minima au but à éclairer, on peut en déduire la puissance lumineuse nécessaire à la source. Autre exemple, vous souhaitez avoir une machine qui marque le bois à la flamme, vous aurez certainement deux types de puissance une chimique (la flamme) et une mécanique pour mouvoir cette flamme (ou le bois).

Dans notre cas, que représente ce terme ? Ici aussi, on verra la méthode de détermination par la suite □

Résumé pour mon (notre) projet

Exemple de panneau qui doit toujours être devant nos yeux, c'est :



et comme vous l'avez certainement déjà compris ce tableau évoluera lors de la conception ou la réalisation de votre machine. Je n'ai jamais connu d'une machine avec les "but-exactitude-puissance" fixés préalablement ne variant pas pendant la conception et/ou la réalisation. Petit conseil supplémentaire : Gardez un historique et essayez de commenter les évolutions.

Explications sur les "biscuits"

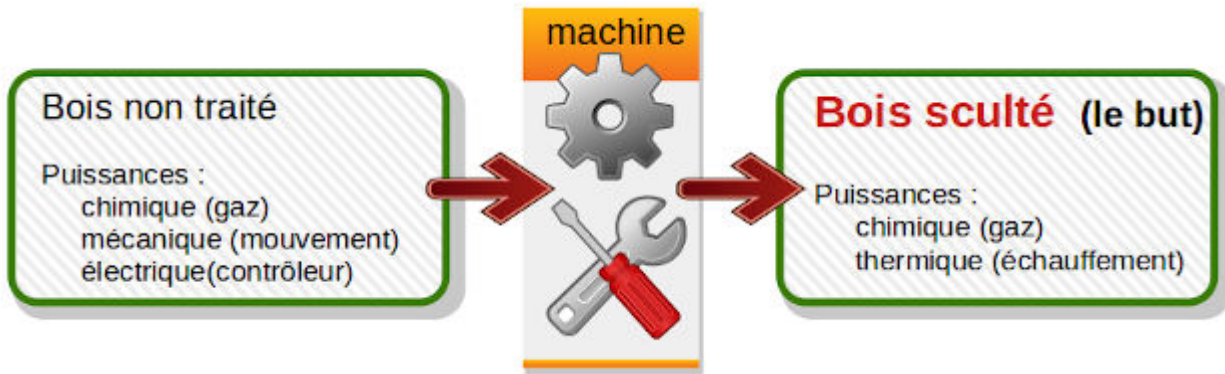
Je vous laisserais définir et choisir vous-même le but de votre prochaine réalisation, car vous l'avez deviné, il faut simplement écrire la description de votre projet le plus simplement et directement possible, surtout décrire les caractéristiques de l'objet final. Voyons ensemble comment définir une exactitude et une puissance. Autre point, au

début de votre conception ne tenez compte que du régime permanent de votre machine (fonctionnement normal sans particularités), laissez les mises en régime, arrêts et transition pour plus tard.

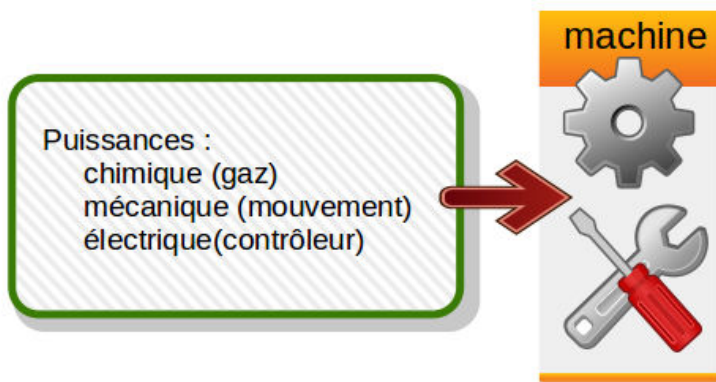
La puissance

Pour pouvoir avoir une idée de cette valeur, je suis désolé mais une connaissance de la physique du système à mettre en place est nécessaire. Cette physique dépend du but (évidemment) et de l'architecture de votre machine. Il faut comprendre le terme "architecture" comme quel moyen (quel principe physique) on utilise pour obtenir l'objet final, le but à atteindre. Pour être très clair, ne pensez pas construire une machine de collage satisfaisante sans avoir un minima de connaissance de chimie et des principes du collage au sens large du terme. Ce terme "connaissance" regroupe la théorie et la pratique. Si vous ne connaissez, même très bien, que la théorie du collage et que vous souhaitez construire une encolleuse, je vous conseillerais de tâter un peu la chose avant de vous lancer. A contrario, si vous êtes un spécialiste du collage, il vous sera difficile de réaliser la conception d'une "bonne machine", parce vos expériences seront souvent un frein à l'innovation (le syndrome du : "c'est impossible"). Connaître (bien connaître), mais pas trop spécialiste, pour moi c'est le bon cocktail.

La [puissance](#) est une notion nettement plus simple que l'exactitude, car on peut suivre son "écoulement", comme un débit de fluide, attention c'est une métaphore. "L'écoulement de ce qui est nécessaire au fonctionnement de votre machine", pour illustrer cela, reprenons l'exemple de la gravure du bois à la flamme. Une puissance chimique (via du gaz par exemple), une puissance mécanique pour assurer les mouvements relatifs bois-flamme, une puissance biologique ou électrique pour la commande de ces mouvements. Notez que nous n'avons pas tenu compte du bois à graver, que dire ça dépend, des fois il faut tenir compte des objets à traiter, dans le doute prenez ce paramètre en compte. Voici un exemple du flux des puissances pour la sculpture bois

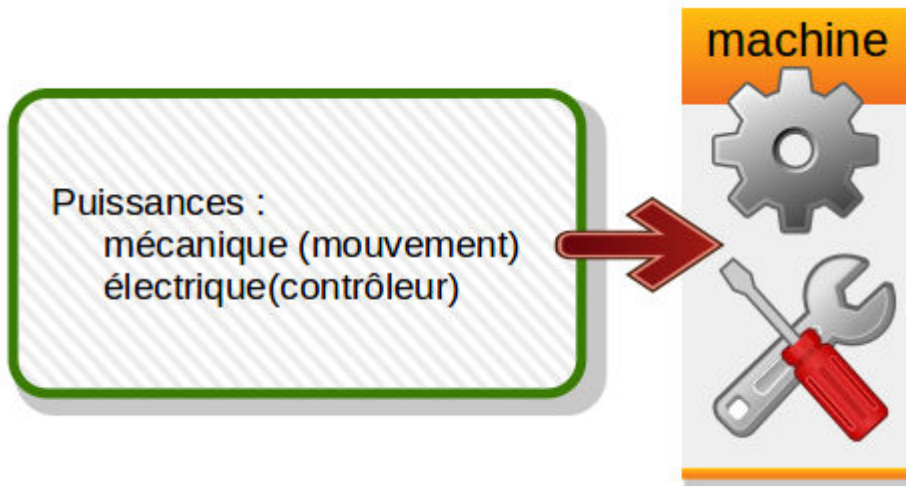


En première conception de machine, on peut considérer qu'il n'y a pas de perte de puissance. Exemple un vérin hydraulique, la puissance hydraulique sera complètement transformée en puissance mécanique, c'est naturellement faux mais c'est une simplification qui permet de concevoir plus simplement un système, par la suite il sera toujours temps de le soumettre au regard des pertes. Si vous imaginez une machine ou "l'écoulement" de la matière première (dans l'exemple: le bois à sculpter) à transformer n'est pas automatique, c'est-à-dire l'approvisionnement en bois et son retrait sont hors fonction machine (c'est manuel, machine stoppée), votre schéma des puissances pourra dans un premier concept se présenter comme suit :



POUR NOTRE GRAVEUSE

Dans le cas de notre machine de gravure, nous aurons uniquement deux puissances : mécanique et électrique. On considère qu'un outil de gravure est utilisé au minima pour un circuit, ce qui fait que nous ne tiendrons pas compte de l'usure des outils (donc pas d'autre élément ou de fluide consommable).



PUISSANCE ÉLECTRIQUE

Bien que les commandes (amplificateurs) de moteurs et les moteurs soient souvent électriques, on les inclut dans la partie mécanique. Ce qui revient à dire que seul la partie pilotage est considérée comme consommatrice d'électricité, pour ceux qui veulent en savoir plus : [articles sur le pilotage d'axe](#) . Généralement la partie "calculateur", on l'achète toute faite, je n'en parlerais pas plus dans cet exposé, l'estimation de sa puissance sera de 100 W.

PUISSANCE MÉCANIQUE

Cette notion est relativement simple, c'est un couple de "vitesse effort" au sens large. Que se soit une vitesse de rotation ou une vitesse linéaire.

Vitesse

Il n'est pas nécessaire de beaucoup en parler, vous avez certainement déjà passablement expérimenté ce concept.

Effort, c'est quoi ?

L'effort, c'est principalement un ensemble d'entités qui s'opposent au mouvement. Je ne

parlerais pas d'effort statique (type engendrant une pression), nous nous intéresserons donc qu'aux éléments suivants :

- frottements.
- résistances.
- couplage de "masse accélération".

Les frottements seront admis comme inexistantes en première approche, c'est en fait déjà mentionner en parlant de ne pas tenir compte de pertes. Si les effets frottements sont recherchés (comme un système de freinage), il faudra bien sûr considérer leurs influences.

Les résistances, le plus simple pour expliquer ce concept, est un exemple : une grue de chargement. La résistance, c'est le poids du container qui contrarie la manipulation. Ce peut être un ressort à comprimer, un vérin comprimer, etc. La résistance c'est un ensemble de force qui s'exerce même en dehors d'un mouvement. À la différence du frottement, la résistance peut augmenter le mouvement, comme la descente du container.



La masse, c'est ce qui bouge, qui est en mouvement et l'accélération, c'est sa rapidité de variation de vitesse. Pour illustrer ceci, montez dans votre Clio et accélérez à fond jusqu'à 100km/h puis faites de même dans votre Ferrari : accélération = différence de temps et de sensations □ .

Un résumé de la situation :

□ *masse accélération* □ *résistance* □ *frottement* □ *vitesse* □ ⇒ *puissance*

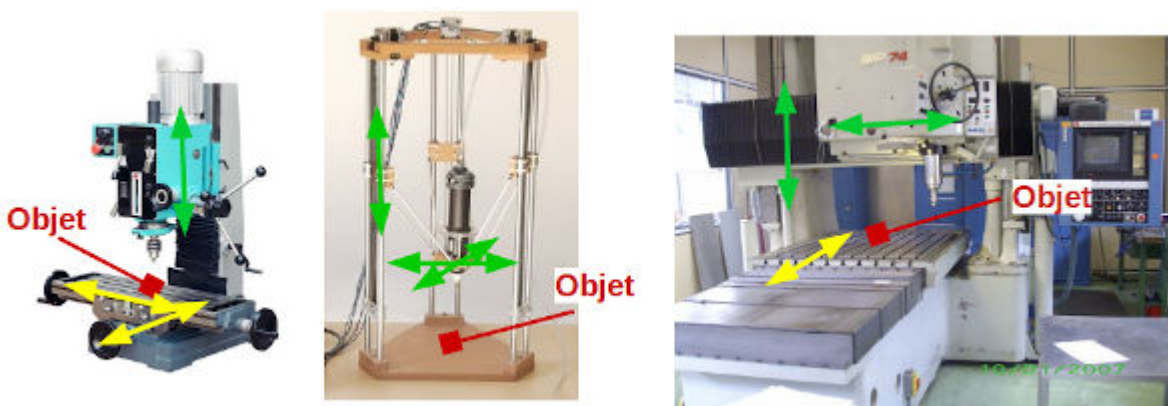
PUISSANCE MÉCANIQUE GRAVEUSE

Voilà, maintenant vous savez ce que vous devez définir pour la conception de votre machine : la masse, l'accélération, la résistance, les frottements et la vitesse. Vous pensez : "On n'est pas sorti de l'auberge ☐ !!" Prenons chaque élément séparément et voyons ce que nous obtenons. Pour notre machine "fil rouge", nous n'aurons pas de résistances, pas de ressorts, l'effort de gravure est très faible (pour rappel : c'est enlever $35\mu\text{m}$ de cuivre), donc l'effort total à prendre en considération ne sera que le couple "masse accélération".

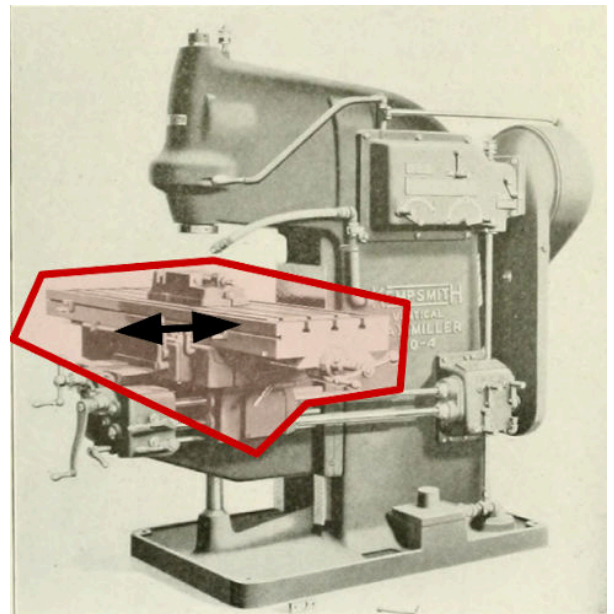
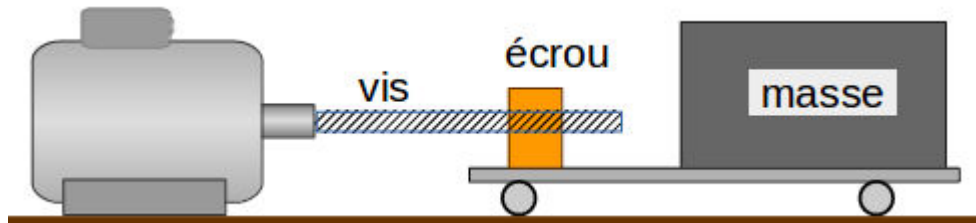
Et là, de nouveau, vous sentez bien un problème, avant d'avoir commencé la conception de votre machine, vous devez connaître son architecture ! En fait, vous n'aurez pas le choix, il faut l'estimer avant même de la concevoir, c'est le métier ☐ Ce qui veut dire, que peut-être, vous devrez échafauder quelque chose pour abandonner cette structure après en avoir défini sa puissance ou son exactitude. Pas très encouragement, désolé et bienvenue dans la conception de machine. Notez que, très souvent, l'important (et de plus très instructif), c'est de savoir pourquoi on laisse une architecture de côté.

Exemple d'architecture et calcul de la puissance

Le but, pour rappel, c'est d'enlever une fine couche de cuivre par gravure mécanique. Donc, ce qui compte, c'est le mouvement relatif entre la pointe de l'outil et la plaque de cuivre. Voici quelques idées parmi un grand nombre d'architecture de machine possibles. On veut un mouvement relatif entre l'outil et la plaque de cuivre (l'objet). En jaune les mouvements de l'objet, en vert les mouvements de l'outil dans les différentes architectures.



Arbitrairement, nous prendrons la solution n°1. La masse, c'est tous les éléments en mouvement (ceux de votre machine et votre objet). Pour fixer les esprits voici le calcul pour un axe de notre machine, on admet que la plaque de cuivre bouge avec l'axe (jaune). L'outil qui grave est lui fixe.



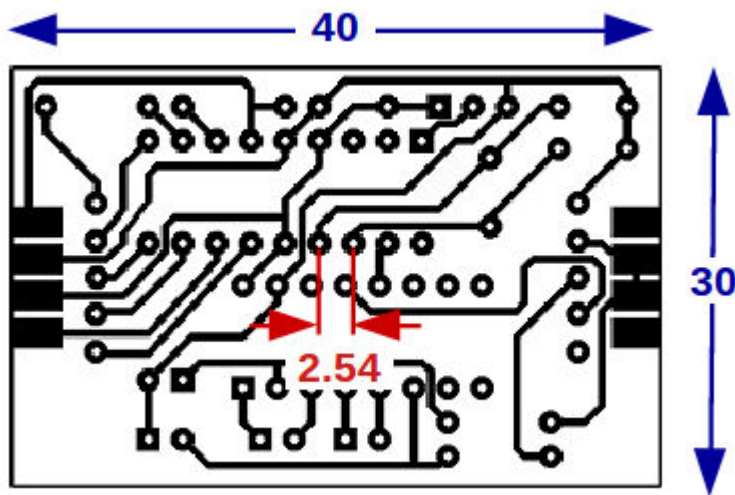
La masse en mouvement c'est le bloc gris, l'écrou, les roues et le plateau gris. Si l'on veut être exact il y a encore la vis et quelques trucs dans le moteur. Mais nous en première approche, nous admettrons donc que la masse en mouvement c'est le bloc gris uniquement, on considère les autres pièces comme négligeables. Bien sûr nous n'avons pas indiqué ce qu'est ce bloc gris ! Nous prendrons le cas défavorable, c'est à dire le mouvement de l'axe qui supporte l'autre axe, voir illustration ci-contre.

Heureusement notre masse sera nettement moindre que celle de la photo, on peut l'estimer à 1,5kg (moteur, vis, glissière, plateau, etc) sans vraiment savoir de quoi elle sera constituer, normalement nous devrions être avec une masse inférieure.

Accélération et vitesse

✓ (masse accélération) ✓ (résistance) ✓ (frottement) (vitesse) ⇒ puissance

En fait c'est souvent là le noeud du problème, grande accélération égale beaucoup d'effort. Repensez à la différence entre la Clio et la Ferrari pour arriver à la même vitesse finale. La puissance des moteurs est légèrement différente (un euphémisme ☹). Comment estimer l'accélération et la vitesse dans notre cas ? Encore une fois, l'observation du produit final, va nous aider.



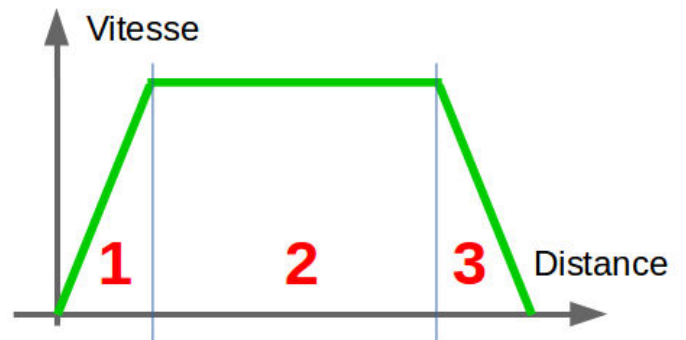
Comme je n'ai pas d'idée, j'ai pris un petit circuit sur le net. Je ne sais pas à quoi il sert, mais il ressemble au but recherché. La seule distance connue, c'est les 2.54mm, après c'est de la déduction On a environ 70 pastilles, 8 contacts rectangulaires et approximativement 8x40mm de pistes.

- pastilles : 70x diamètre 2.4mm ≈ 530 mm
- contacts : 8x (3+4+4) ≈ 90 mm
- pistes : 8x 2x40 ≈ 640mm (2 cotés de la piste)
- Total approximatif arrondi : 1300 mm

Maintenant il faut se poser cette question combien de temps pour réaliser ce circuit, ce temps va fixer une vitesse moyenne pour votre machine. Garder à l'esprit la liaison :

Petit temps → machine rapide → grande accélération → grand effort → grande puissance

Si vous dites "oh pas de soucis moi j'ai le temps, 24 heures cela me va !", il y a un autre problème c'est la gravure elle-même, votre outil ne travaillera pas bien (brûlure et usure). Je pense qu'un temps de 10 minutes est raisonnable (!? je vous laisse chercher et/ou expérimenter sur cette valeur). Comme vous pouvez le voir sur l'exemple, les pastilles sont espacées, donc la machine devra éloigner/approcher l'outil, ainsi qu'effectuer des déplacements sans gravure. Ces mouvements pourront être plus rapides, mais, néanmoins, ils prennent du temps. On va admettre qu'environ 30% du temps sera perdu pour cela. Soit, pour finir, un temps de gravure de $10 \cdot 0,7 = 7$ min et donc une vitesse moyenne d'approximativement 190mm/mn (ou 3.2mm/s).



Si l'on analyse le mouvement général de notre masse, il sera de type : accélération / vitesse constante / décélération.

En première approche, nous n'avons pas de frottements et notre machine ne subit aucun d'effort résistant, donc la puissance à vitesse constante (2) est nulle. Ainsi la puissance pour notre axe sera définie par l'accélération (1) et la décélération (3). Comment estimer cette accélération ? Comment choisir le temps pour atteindre la vitesse de gravure ou la vitesse de déplacement maximum de la machine (hors gravure) ?

Une méthode exemple, pour un circuit électronique, il n'est pas bon d'avoir des angles droits pour les pistes électroniques (réflexions, échauffement, etc), l'écoulement des électrons n'est pas optimum, donc il est bon que la piste effectue un virage plutôt qu'un angle (voir article: [le courant électrique](#)) .



Avec un rayon minima de 1mm, le chemin parcouru, $\frac{1}{4}$ périmètre, est approximativement 1mm. Cette distance correspond, pour un axe, au temps pour passer de la vitesse nulle à la vitesse de gravure soit 3.2mm/s, dans le même temps l'autre axe passe de la vitesse de gravure à l'arrêt. Soit un temps d'accélération maxi de 0.3s. L'accélération sera donc de x

Au final la puissance pour un axe :

Puissance pour un axe : $\text{puissance} = \text{masse} \cdot \text{accélération} = 1,5 \cdot 10 = 15 [\text{mW}] = 0,015 [\text{W}]$

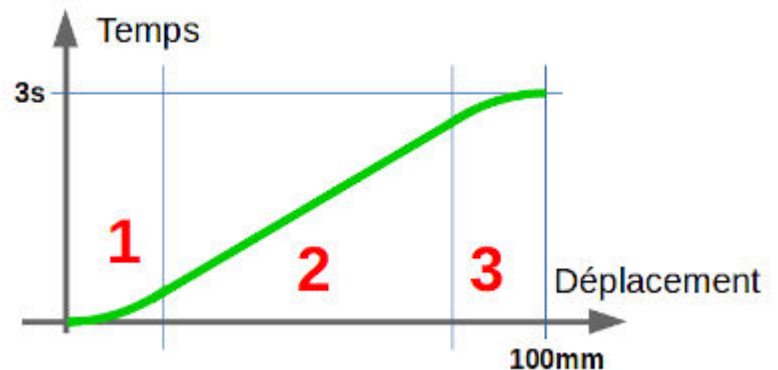
Vous allez me dire : "tout ça pour arriver à ça !". C'est vrai que la puissance semble ridicule et de plus la plupart des machines que vous avez vu sont motorisées avec beaucoup plus de puissance. Vous avez raison et donc d'où provient ce décalage ?

La première chose, il faut comparer les machines comparables, la masse en mouvement en est le premier élément. Une machine -outils avec une masse de 150kg à mouvoir ne fait pas partie des grandes machines, mais c'est déjà cent fois supérieur à notre machine. Ensuite les vitesses de déplacement des machine-outils modernes se situent autour de 10m/min soit environ 170mm/s, ce qui est dans ce cas 50 fois plus rapide. De plus ces machines subissent d'importants efforts dû au travail de la matière. Donc la puissance d'un axe sera nettement supérieure au nôtre.

Deuxièmement, les moteurs pas à pas que l'on trouve sur les imprimantes 3D personnelles, généralement des [17HS4401](#) ([Nema 17](#)) ne sont pas si puissants que cela. Leur couple est d'environ 0,4Nm. Comme la vitesse de déplacement des axes est d'environ : 40mm/s. Souvent le mouvement est transmis via une courroie (diamètre poulie 12mm), donc la vitesse de rotation environ 1t/s, soit 6,3rad/s. Au final, la puissance demandée sera d'environ 2,5W. Si on prend la machine "The Ant", voir vidéo au début de l'article, les moteurs sont encore plus petit format Nema11, soit en puissance nominale d'environ 1,5W.

Troisièmement, peut-être bien que mon exemple de gravure d'un angle pour définir la puissance ne soit

si pertinent. Bien que cela n'apparaisse pas dans les calculs précédents, pensez-vous que 30s pour déplacer l'objet de la course maximum d'un axe soit acceptable ? En effet course maxi 100mm, vitesse de la machine 3,2 mm/s, soit environ 30s. Et je ne tiens pas compte de l'accélération et de la décélération.



Suivons une nouvelle méthode. Nous admettrons 3s comme temps acceptable pour effectuer un déplacement de 100mm. La vitesse moyenne sera donc de 33 mm/s. Nous sommes dans "les eaux" des imprimantes 3D. Mais comme le montre le diagramme, pendant la partie (1) et (3), la vitesse ne peut pas varier instantanément de 0 à la vitesse moyenne donc pour obtenir un déplacement total final en 3s, nous admettrons une vitesse maximum de 33mm/s. En gardant le temps de 0,3s pour l'accélération nous obtenons un temps de déplacement d'environ 3,3s avec une accélération/décélération de 110mm/s^2 . Ce qui amène une puissance environ dix fois plus grande que la méthode du virage en gravure, soit une puissance de 0,15W.

C'est toujours une valeur relativement faible. Mais nous nous arrêtons là dans notre recherche de la puissance nécessaire pour notre machine, mais nous y reviendrons prochainement afin d'être satisfait de nos théories, comme du résultat. □

ON RÉSUME LA SITUATION DE LA PUISSANCE

- *Calculateur : 100 W*
- *Mécanique : 0,3W (trois axes de mouvements)*
- *Broche : 40 W (On l'achète toute faite, sa puissance est brutalement parachutée ici, mais j'y reviendrais)*

Puissance globale de la machine : environ 140 W

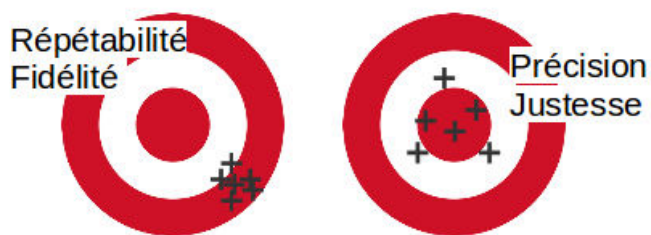
L'exactitude

Comment définir cette exactitude (précision) ? (vous trouverez dans la littérature beaucoup de différentes expressions, ne vous focalisez pas sur les termes mais plutôt sur les notions qu'ils recouvrent)

C'est aussi le résultat final qui vous l'indique; que doit produire votre machine ? Mais préalablement, peut-être faut-il rappeler ce que qu'est une exactitude ? Souvent c'est propre à chacun, à son parcours et ses habitudes. Par exemple si vous parlez d'exactitude avec un horloger suisse ou avec un maçon thaï ce n'est pas tout à fait les mêmes valeurs et les mêmes idées qui émergent. C'est normal et c'est sûrement très bien comme cela. Mais nous ce qui nous intéresse, c'est quelle doit être l'exactitude des objets produites par notre machine ?

Notez que l'on parle bien de l'objet produit par la machine et non de la machine.

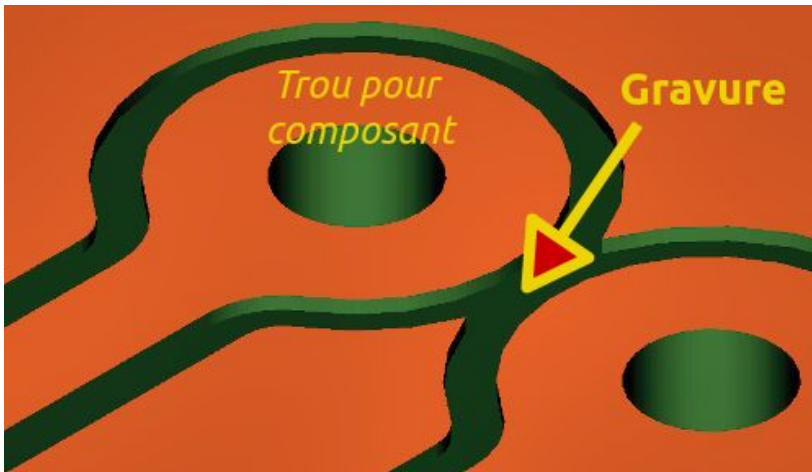
L'exactitude peut-être est définie par deux éléments : précision et répétabilité. Un petit schéma pour visualiser ces notions.



RÉPÉTABILITÉ (FIDÉLITÉ)

Dans notre cas que cela signifie ? Le but de notre machine est de produire des circuits de manière unitaire, pas de production industrielle donc pas de quantités d'objets répétitifs, en fin de compte la répétabilité sera vue à l'échelle de temps de fabrication d'un circuit. Pour fixer les idées, on prend un temps maximum de 30min (c'est arbitraire). Vue d'une partie de circuit qui présente le travail que doit effectuer la machine : enlever le cuivre selon un

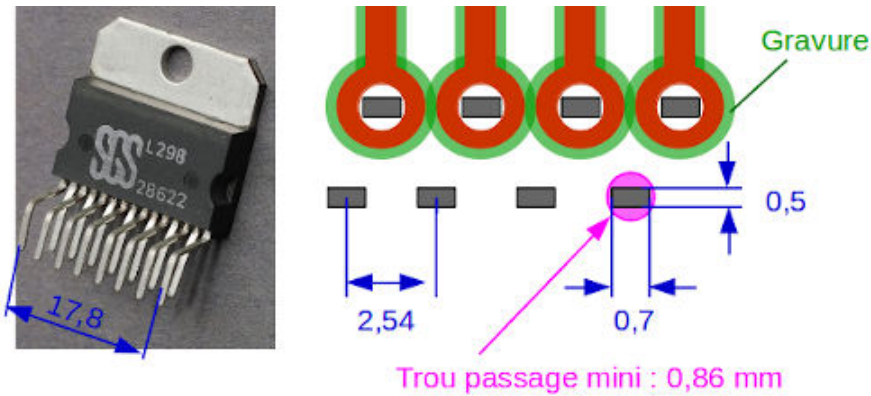
chemin prédéfini.



La valeur de répétitivité pour notre machine sera définie par une démarche, bien que pas très académique, qui a l'avantage d'être facilement utilisable et parfaitement admissible dans une approche de conception. Qu'accepte-t-on comme défaut de positionnement pour une zone restreinte ? Notre exigence dans une zone restreinte de notre objet sera la répétitivité demandée à notre machine, car l'on considère qu'il n'y a pas d'autre source de problème comme la dérive temporelle. Pratiquement, cela correspond à une gravure, plusieurs fois de suite, sur le même petit parcours (au même endroit de la machine), comme une pastille autour d'une patte de composant traversant, et qu'en fin compte on observe le cuivre restant.

Essayons de passer de la théorie à la pratique

Pour commencer fixons quelques [règles pour les circuits électroniques](#), c'est simplement pour justifier les valeurs présent en compte, donc notre largeur de piste électrique sera typiquement de 0,7mm. Généralement la distance entre pattes des composants utilisés est de 2,54mm. Par exemple les pattes du L298N sont rectangulaires de 0,7×0,5mm et donc le trou de passage sera de diamètre 0,9mm. Il existe d'autres composants avec des pattes plus petites et d'autres avec de plus grosses, comme le L200. Voilà maintenant un petit schéma pour éclaircir la situation :



La largeur théorique pour la gravure entre les pattes du composant (partie vert clair) sera de 0,28mm ($2,54 - 0,86 - 0,7 - 0,7$).

Voilà on a fini avec les valeurs théoriques. Maintenant regardons les erreurs possibles ; le trou plus grand, la gravure plus large, l'espace entre les pastilles moins larges, etc. C'est ce que veut montrer la figure ci-dessous avec le terme de "largeur pastille réelle".



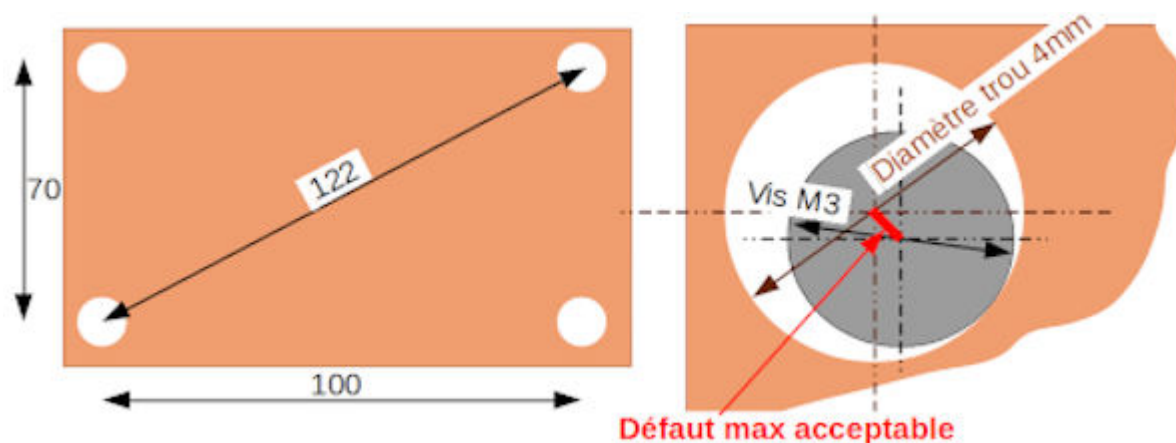
Les causes sont multiples (outils, mal-rond, jeu, planéité, positionnement, incrément, etc) et comme vous êtes au début de votre conception, beaucoup de défauts vous sont cachés, voire ignorés. C'est normal, en conception de machine, il pratiquement impossible de tout imaginer. C'est pourquoi les trois éléments de bases (but-puissance-exactitude) varieront inmanquablement durant la conception de votre machine. Il faut donc, encore une fois, passer par le résultat que vous souhaitez, mais là c'est votre minimum acceptable. Dans notre cas, c'est la "largeur pastille réelle". Que choisir ? Pour le composant L298N, le courant maximum par canal est au max de 2A en continu. Donc pour le côté d'une pastille, c'est 0,3mm de cuivre au minima (1 ampère par côté). Pour essayer de ne pas avoir d'ennui (??), on admet que la largeur minima acceptable sera 0,5mm (facilité de soudure, tenue de la couche de cuivre, ...). Donc l'erreur maximum admissible est $0,7 - 0,5 = 0,2$ mm. La répétabilité de notre machine devra être de 0,2mm dans le plan (plaque de cuivre).

PRÉCISION (JUSTESSE)

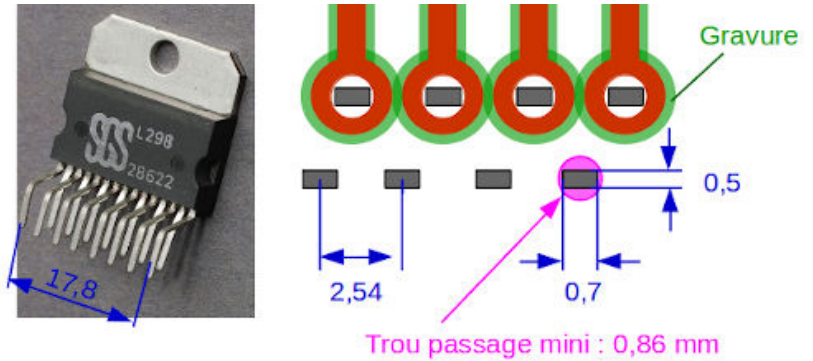
Toujours regarder la pièce produite avec notre machine et se poser la question :

“Qu’acceptons-nous comme défaut sur notre objet ?” Pour la répétitivité, nous avons admis que se sont principalement les défauts à courte distance, nous attribuerons les défauts à longue distance aux défauts de précisions. Je vous “balance” cela un peu brutalement et surtout sans vraie démonstration, mon seul argument, c’est qu’en première approche de conception de machine, c’est amplement acceptable.

Donc pour des circuits électroniques la précision “longue distance” est deux ordres, les gros composants (IC multi-pattes) et les trous de fixation pour le montage mécanique du circuit. Le but pour les vis, c’est qu’elles passent directement par le trou de passage et pour l’IC les pattes doivent aussi passer par le trou prévu sans pour autant ne plus avoir de cuivre autour.



Le centrage des vis : nous admettrons un trou de 1mm de plus que le diamètre de la vis (jeu de 0,5mm). Ce qui revient à dire que l’erreur admissible totale (erreur courte distance et erreur longue distance) sera de 0,5 mm pour les courses maximums de la machine (surface usinable). Nous avons dans le but de la machine admis les dimensions de plaques de 70×100 comme maximum pour notre machine. Donc la distance maximum, la diagonale, est de $122 = \sqrt{70^2 + 100^2}$. Pour qu’une vis passe sans forcer par le trou, il est nécessaire de tenir compte des deux sources d’erreurs : longue et courte distance. On détermine donc l’erreur longue distance par une soustraction : $0,3\text{mm} = 0,5$ (erreur totale admissible) - $0,2$ (erreur courte distance).



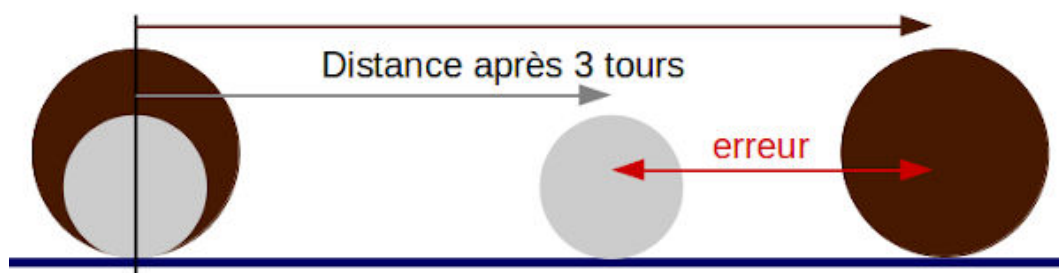
Dans le cas du composant multi-pattes, nous aurons 17,8mm entre pattes et un trou de 0,95mm, donc un jeu d'environ 0,05mm. C'est acceptable, car les pattes peuvent subir une petite déformation lors de la mise en place du composant.

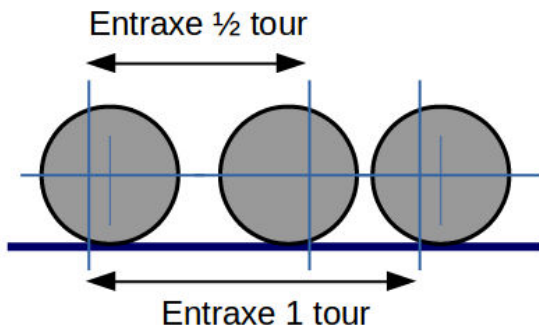
Pour résumer la situation de l'erreur acceptable en longue distance (la précision), nous avons deux systèmes de valeur :

- 0,3mm pour 122mm
- 0,05mm pour 17,8mm

Comment combiner ces deux systèmes valeurs et la répétabilité ?

Deux types de problèmes apparaissent, par exemple si l'on mesure une distance avec une roue qui tourne, la distance parcourue dépend du nombre de tour de roue. Si la roue est plus grande que prévu, la distance donc l'erreur augmente à chaque tour de roue. Si, par contre, la roue n'est pas centrée, l'erreur variera sur un tour de zéro à un maxi puis retour à zéro.





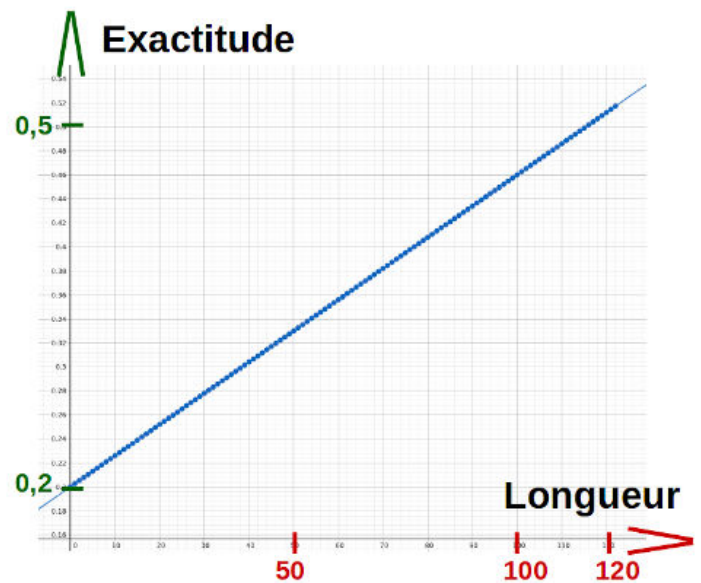
Sur cette simple démonstration, nous estimerons que les problèmes à longue distance sont directement proportionnels à la longueur mesurée (c'est le cas de notre roue, une erreur de pas de vis ou une dilatation par exemple) , ce qui nous amène à formuler ce défaut comme suit :

$$\begin{aligned} \text{défaut à longue distance} &= \text{longueur prise en considération} \cdot \text{facteur} \\ \text{précision (justesse)} &= \text{diagonale} \cdot \text{facteur} \end{aligned}$$

Donc dans notre cas, notre graveuse, les facteurs vaudront, et par moyenne on gardera 0,0026 :

$$\begin{aligned} \text{facteur 1} &= \frac{\text{précision}}{\text{longueur maxi}} = \frac{0,3}{122} = 0,0024 \\ \text{facteur 2} &= \frac{\text{précision}}{\text{longueur maxi}} = \frac{0,05}{17,8} = 0,0028 \end{aligned}$$

Par contre le décentrage de la roue peut-être compris comme une erreur à courte distance (max un demi-tour) et donc celui-ci sera, en fait "toujours présent". Il sera pris comme un défaut à courte distance.



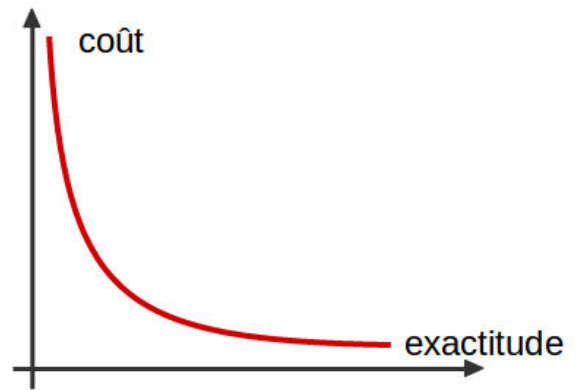
Pour finir l'exactitude est l'addition de la précision et de la répétabilité, ou bien le défaut global est la somme des défauts courte distance et longue distance soit dans le cas de notre fil rouge (la graveuse) :

$$\text{Exactitude [mm]} = 0,2 \text{ [mm]} + \text{Longueur [mm]} \cdot 0,0026$$

ATTENTION :

Suivant la machine envisagée, comme déjà mentionné, l'exactitude ne sera pas forcément de ce type : juste un problème de longueur, ou bien linéaire par rapport à un autre paramètre. Par exemple si vous désirez construire une machine de découpe par jet d'eau, il faudra intégrer également, par le même type de raisonnement, les variations du jet (pression, diamètre, additifs, etc). Autre cas, si vous voulez réaliser une machine à décorer le bois à la flamme (on fait ce que l'on veut ☐), l'essence et l'humidité seront certainement des éléments importants pour définir votre exactitude de la puissance de la flamme et de sa position. Il est parfois difficile de prévoir les variations des éléments prépondérants à votre machine, mais c'est vraiment le point que vous devez approfondir avant de commencer

quoique ce soit. Parfois le rêve est un peu trop ambitieux et il est nécessaire de retomber



Avec "votre formule" de l'exactitude, vous avez une idée générale de votre machine, mais un élément doit toujours vous titiller : le coût de votre machine. Il n'est généralement pas inversement proportionnel à votre exactitude, mais plutôt inversement exponentiel.

Conclusion

Voilà la partie théorique est terminée, normalement vous avez tout pour bien faire. Bien sûr, il y aura de possibles problèmes sur le chemin de votre conception de machine et nous chercherons ensemble comment les contourner ou les résoudre. Nous verrons également dans le prochain article, comment utiliser concrètement ces valeurs de puissance et d'exactitude ainsi qu'éclairer notre insatisfaction concernant la puissance mécanique.

Maintenant notre "panneau" complété :

- **But** : Enlever une fine couche de cuivre ($0,35\mu\text{m}$) par gravure mécanique d'une plaque d'époxy.

Puissance : électrique 100W
Mécanique 140W

Exactitude : $0,2 + L / 0,0026$