

Dossier Fraiseuse CNC 3D

**Une machine modulaire
à commande numérique,
précise et rapide
sur les 3 axes...**

Une fraiseuse permet, simplement en dessinant sur son ordinateur, de découper des pièces en 2 dimensions pour réaliser des kits ou des pièces telles que des châssis d'hélicoptère. En 3 dimensions, des formes complexes telles que des moules, figurines, pièces complexes sont réalisables. Du modélisme aux arts créatifs en passant par le bricolage, les applications ne manquent pas. Cependant, le budget d'une machine professionnelle reste dissuasif pour la plupart d'entre-nous. J'ai donc recherché des solutions astucieuses conciliant précision et maîtrise des coûts...

Les composants industriels sont incontournables pour concilier facilité de fabrication, rigidité élevée et modularité sans compromettre la précision obtenue.

Cet article volumineux est partagé entre la revue papier et le site www.rcpilot-online.com pour les détails et une vidéo de la machine en marche.

Les kits de fraiseuse avec des courses X, Y, Z de 400x300x100 mm tournent autour de 1600 à 2500 euros, une machine terminée autour de 4000 euros minimum. La fabrication amateur devient donc incontournable tout comme la recherche de fournisseurs fiables, d'un niveau de prix accessible à un particulier. J'ai donc retenu quelques adresses connues des profession-

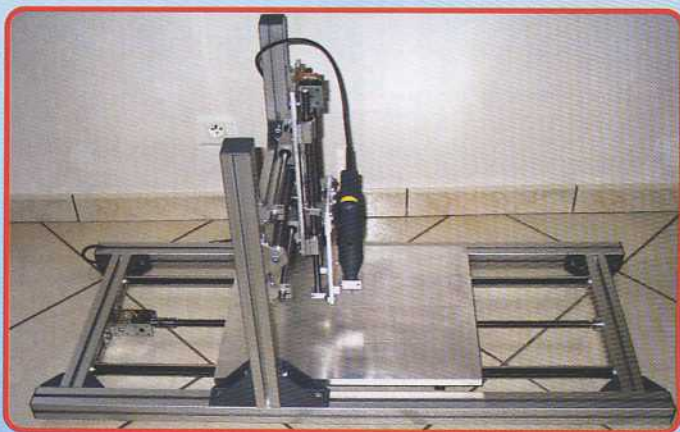
nels et des amateurs passionnés de CNC. Les interfaces électroniques sont nombreuses, celle d'Hobby CNC me donne toute satisfaction. Pour la partie mécanique, par contre, une étude soignée est incontournable. Les nombreuses interventions sur les forums concernant la découpe numérique indiquent que ce sujet passionne les modélistes qui construisent leurs modèles. Il faut bien reconnaître qu'une fois que l'on a goûté à cette technique, la passion pour ces petites machines est difficile à contenir ! L'observation des différentes réalisations conduit à étudier les critères suivants :

- La rigidité
- La modularité
- La précision
- Le rendement mécanique

Vue détaillant l'entraînement à vis type Victor Sendas.

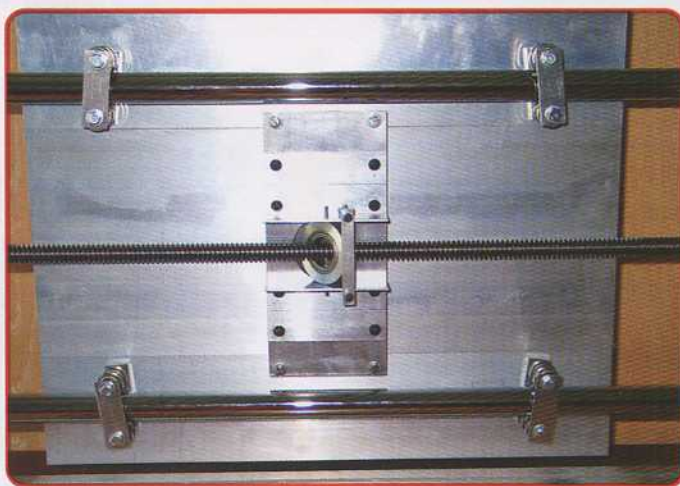


Ci-dessus, deux détails de l'entraînement de l'axe Z.

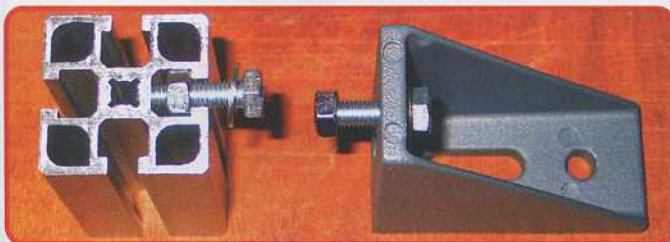




Exemples d'utilisations : en haut, fraisage d'un support de silencieux en carbone et sur la table, gravure, découpes, décorations...



autre vue du principe d'entraînement suivant le procédé Victor Sendas.



Le principe de montage avec le profilé et un boulon M8.

- La facilité de réalisation
- La maîtrise du budget
- L'entretien

Il découle de ce cahier des charges des choix techniques qui vont conditionner les performances futures de la machine en projet. Bien entendu, aucune solution ne représente la panacée, des compromis sont toujours nécessaires si l'on souhaite maîtriser le budget total. Les courses souhaitées sont $X=620$ mm, $Y=310$ mm, $Z=150$ mm.

- La rigidité de la structure est obtenue avec des profilés standard. Pour les 3 axes, il faut contrôler, par le calcul, la section des arbres de guidage. La vis trapézoïdale de 16 mm offre une bonne rigidité. Le fraisage de métaux sera possible. Le principe de la table passante valide une rigidité élevée.

- La modularité sera elle aussi obtenue avec les profilés standard disponibles pour les réalisations modulaires. Le montage se fait sans perçages, par simple vissage, cela autorise des modifications ultérieu-

res sans nécessiter de tout refaire.

- La précision de la machine impose une sélection rigoureuse (composants et choix techniques). La rigidité des profilés, les coulisses à billes sur arbres rectifiés et les tubes de section généreuse pour l'axe des X sur roulements, garantissent de rester dans les tolérances que je me suis fixées. Le principe de Victor Sendas employant un roulement à 45° annule tout jeu sur la vis trapézoïdale. Les cardans respectent les critères de précision fixés.

Le rendement mécanique, avec le principe du roulement à 45° qui roule sur la vis trapézoïdale, les roulements, les cardans ou les coulisses à bille, est excellent, voisin de 90%. Le couple des moteurs pas à pas ne sera donc pas gaspillé inutilement et la vitesse de déplacement avec un pas de 4 de 50 mm/s maximum. Principe sur www.rcpilot-online.com

La facilité de réalisation est privilégiée, évitant les "usines à gaz" avec étages de réduction, courroies, etc.

Les profilés et la conception font appel à des solutions simples, à la portée de tout bon bricoleur.

La maîtrise du budget conduit à trouver des solutions simples mais rigoureuses. Victor Sendas nous fait économiser environ 250 euros en évitant l'achat des onéreuses vis à billes. Une sélection drastique des fournisseurs contient le budget. La table passante représente aussi un vecteur d'économie non négligeable. J'ai monté initialement les petits moteurs Conrad pour vérifier l'excellent rendement du principe de Victor Sendas, ils sont bien entendu sous dimensionnés et seront remplacés par la suite (par des moteurs unipolaires ou hybrides de 1,5 Nm).

L'entretien de la machine est réduit au maximum car il n'y a aucune courroie à retendre, aucun palier n'est à lubrifier. Seules les coulisses à billes seront lubrifiées après un long fonctionnement.

L'aluminium de la structure offre une bonne résistance à l'oxydation.

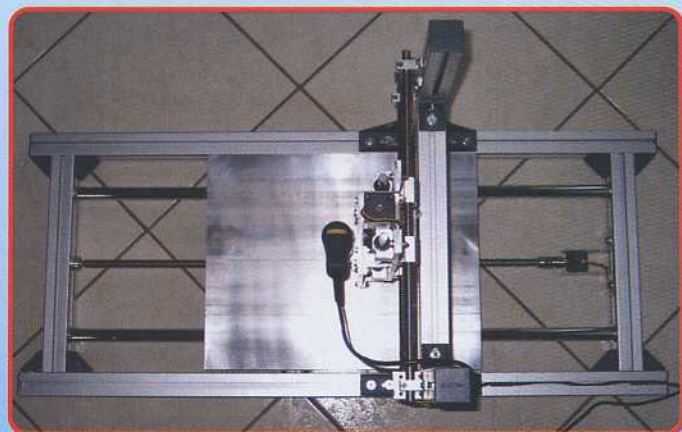
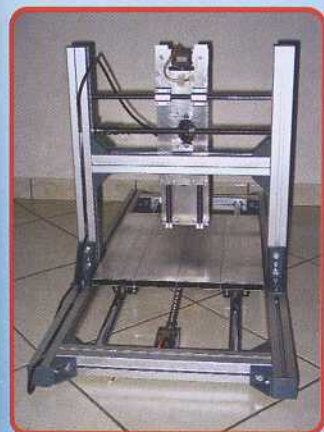
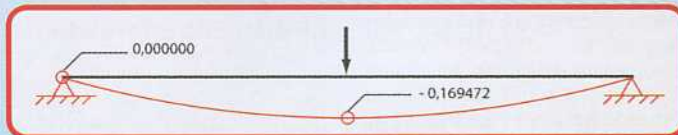
La résistance de la structure

Une fraiseuse 3D doit pouvoir sup-

porter des efforts importants sans engendrer des déformations des éléments constitutifs. Les torsions, efforts tranchants, flexions, flèches diverses ne doivent pas dépasser les limites fixées par le cahier des charges. Dans mon hypothèse, souhaitant obtenir une résolution de l'ordre du $5/100^e$ mm (0,00005 m), et une déformation en charge ne dépassant pas le $1/10^e$ mm (0,0001 m) un contrôle de la flèche des arbres (repère 27) permet d'éviter toute déconvenue car ils constituent le maillon faible, par rapport au châssis très rigide. Ce poste, avec les coulisses à billes, est le plus onéreux. En conclusion, il faut dimensionner les composants en fonction de ses propres besoins, tout excès fera grimper le budget.

Calcul de la flèche des arbres

Le calcul d'une structure devient presque toujours un problème d'algèbre linéaire où interviennent un nombre plus ou moins important de variables. Pour simplifier, j'ai basé les calculs sur la représentation d'une poutre avec deux appuis simples et charge centrée unique. Notre machine, en ré-

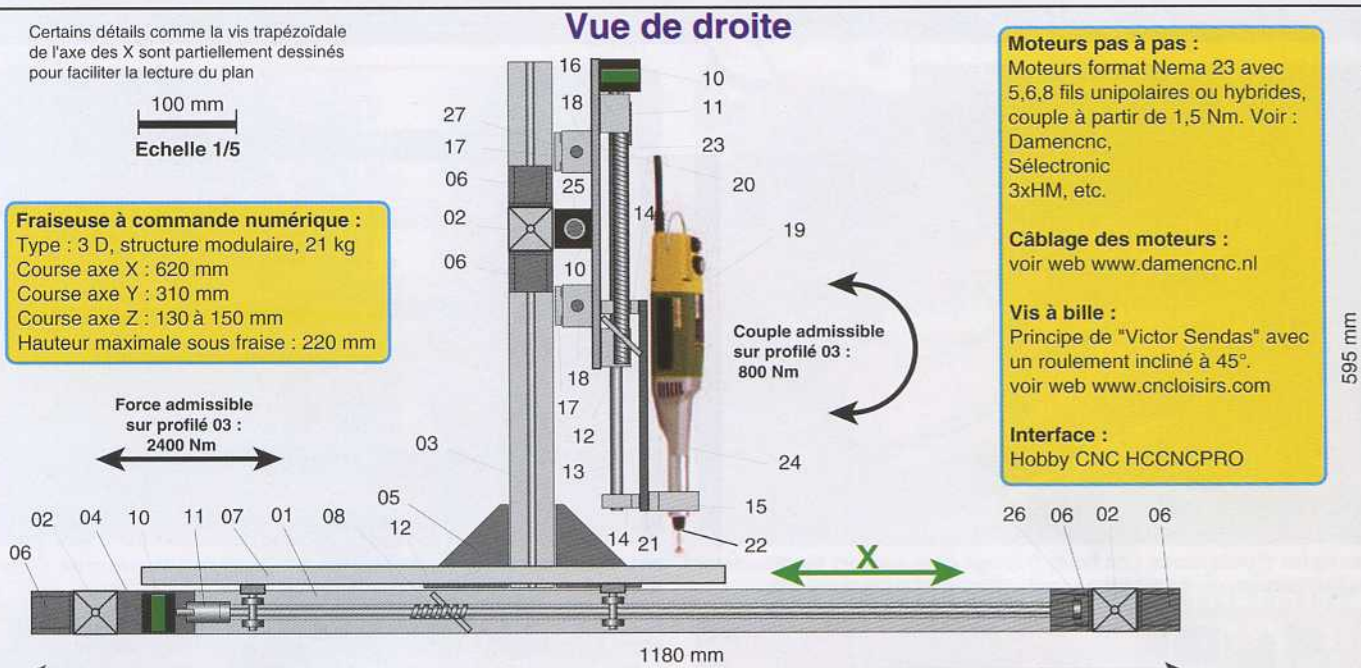


Certains détails comme la vis trapézoïdale de l'axe des X sont partiellement dessinés pour faciliter la lecture du plan

100 mm
Echelle 1/5

Fraiseuse à commande numérique :
Type : 3 D, structure modulaire, 21 kg
Course axe X : 620 mm
Course axe Y : 310 mm
Course axe Z : 130 à 150 mm
Hauteur maximale sous fraise : 220 mm

Force admissible sur profilé 03 : 2400 Nm



Moteurs pas à pas :
Moteurs format Nema 23 avec 5,6,8 fils unipolaires ou hybrides, couple à partir de 1,5 Nm. Voir : Damencnc, Sélectronic 3xHM, etc.

Câblage des moteurs :
voir web www.damencnc.nl

Vis à bille :
Principe de "Victor Sendas" avec un roulement incliné à 45°. voir web www.cnclouisirs.com

Interface :
Hobby CNC HCCNCPRO

595 mm

- | | | |
|--------------------------------------|--|---------------------------------------|
| 01 Profilé aluminium 45x45x1180 mm | 10 Moteur pas à pas | 19 Meuleuse - perceuse 5000-20000 rpm |
| 02 Profilé aluminium 45x45x410 mm | 11 Cardan DIN 808-7551 couple 18,12 Nm | 20 Platine aluminium 6x120x320 mm |
| 03 Profilé aluminium 45x45x550 mm | 12 Roulement ZZ d25xD37xL7mm à 45° | 21 Platine aluminium 6x120x220 mm |
| 04 Equerre 35x45x90 mm | 13 Acier Diamètre 12x450 mm | 22 Col 20 mm - Proxxon LB/E ou 220E |
| 05 Equerre PRF4590-E 42x87x87 mm | 14 Support extrémité D = 12 mm | 23 Vis trapézoïdale D16xPas 4x250 mm |
| 06 Equerre PRF45-E 42x42x42 mm | 15 Support extrémité D = 20 mm | 24 Choisir une tête métallique |
| 07 Table passante 400x600 mm | 16 Coulisse à billes D = 12 mm | 25 Vis trapézoïdale D16xPas4x400 mm |
| 08 Vis trapézoïdale D16xPas 4x875 mm | 17 Support extrémité D = 12 mm | 26 Support roulement 8x22x7 mm |
| 09 Roulement Roller ZZ d8xD22xL 7 mm | 18 Coulisse à billes D = 12 mm | 27 Arbre guidage linéaire D12x500 mm |

Dessin Pascal Delannoy janvier 2006

alité, nécessiterait une étude plus complexe. C'est donc volontairement, que les calculs sont simplifiés, cela permet aussi de rendre accessible la lecture de cet article. Les spécialistes en RDM (résistance des matériaux) n'ont nul besoin de cette présentation pour concevoir leur machine, mais la plupart d'entre nous sommes peu familiarisés avec une approche rigoureuse. L'idée, c'est d'éviter de sous dimensionner un élément, cela réduirait la précision de travail de toute la machine...

La méthode manuelle

La flèche sous charge centrée d'un arbre se calcule avec la formule suivante :

$$\text{Flèche au centre (chariot centré)} = \frac{(P \times L^3)}{(Q \times E \times I)}$$

P = Force centrée en Newton = masse en Kg x 9,81, ici 1 kg comme exemple ; L = distance entre les 2 appuis repères 17 en mm soit ici 455 mm ; Q = 48 avec un appui simple, 192 en encastrement; E = module de Young du matériau en MPa, I = moment quadratique de

la section, ici de l'arbre de 12 mm, $I_x = I_y$. Cette approche sommaire permet d'éliminer dès le départ un sous-dimensionnement latent. Les platines en aluminium de 8 mm d'épaisseur (repères 20, 21) contribuent à la rigidité et les supports (repères 17) constituent un encastrement (le calcul ci-dessus est basé sur des appuis simples), limitant d'autant la rotation des arbres aux extrémités. Il découle de tout ce qui précède que le calcul effectué ci-dessus est pessimiste. Ces calculs simplifiés reviennent à appliquer un coefficient de sécurité non négligeable. Les calculs sur www.rcpilot-online.com.

La méthode informatique

Winbeam 3.3 est un logiciel de calcul de résistance des matériaux (employant la méthode des éléments finis) destiné particulièrement aux poutres. Pour ceux que les mathématiques passionnent, il y a de quoi occuper quelques heures à contrôler les déformations de la

machine sous efforts. Avec un moteur de recherche en tapant Winbeam 3.3 on trouve immédiatement de nombreux sites de téléchargement. Ce logiciel est apprécié lorsque l'on possède des bases en résistance des matériaux autrement on risque de trouver la tâche ardue. Plus intéressant, dans le menu Data en bas à gauche, on peut déplacer la souris et obtenir la flèche en tout point de la poutre (dans notre exemple deux ronds diamètre 1,2 cm). Les calculs sur www.rcpilot-online.com.

La fraise en descendant, si elle applique une force par le biais de la vis trapézoïdale de 9,81 N (masse de 1 kg 9,81) sur la pièce travaillée, va générer une flèche de 0,045 mm. La fraise en avançant dans la matière va, par effet de levier, augmenter cette flèche si l'axe Z est descendu à fond de course (150 mm). Au delà de 1 kg, la fraise (queue de 3 mm) va progressivement se déformer et la précision sera plus aléatoire. Pour générer cet effort, l'opérateur ne devra pas

chercher à aller trop vite. Avec des moteurs pas à pas coupleux, une force de plusieurs dizaines de Newton peut être appliquée. Pour des machines devant travailler sous des contraintes importantes, des arbres de 16 à 20 mm seront à prévoir. **Le tableau ci-dessous** permet de constater que des arbres de 16 mm offrent un bon rapport rigidité/prix. La flèche est divisée par 3 par rapport aux arbres de 12 mm et presque par 10 avec des arbres de 20 mm. Chacun optera donc pour le diamètre approprié à ses besoins actuels, mais surtout futurs. Mais en tout état de cause ne pas descendre sous 12 mm de diamètre. Avec 2 arbres de guidage de 12 mm de diamètre, à 80 mm du profilé aluminium supportant les axes Y et Z, la flèche est limitée à -0,11 mm alors qu'au centre elle atteint -0,22 mm sous une force de 49,05 N (5 kg).

Il découle de tout ce qui précède, que la meilleure précision sous charge pourra être obtenue en déplaçant le chariot sur l'axe Y vers un profilé repéré 03 (et non pas au centre), d'autre part l'axe Z sera remonté au maximum pour limiter l'effet de levier (Winbeam 3.3 visualise très bien en déplaçant la souris cette particularité). Dans ces conditions la rigidité sera maximale.

Flèche du profilé

Par acquis de conscience, la plus grande longueur, soit 1180 mm est soumise à une force de 98,1 N centrée et les appuis sont considérés encore une fois comme des appuis

Flèche calculée

Désignation	9,81 N centrés	49,05 N centrés	98,1 N centrés
2 arbres de guidage Ø 12 mm	Flèche avec 2 arbres F = - 0,045 mm	Flèche avec 2 arbres F = - 0,225 mm	Flèche avec 2 arbres F = - 0,45 mm
2 Arbres de guidage Ø 16 mm	Flèche avec 2 arbres F = - 0,014 m	Flèche avec 2 arbres F = - 0,07 mm	Flèche avec 2 arbres F = - 0,14 mm
2 Arbres de guidage Ø 20 mm	Flèche avec 2 arbres F = - 0,0058 mm	Flèche avec 2 arbres F = - 0,0292mm	Flèche avec 2 arbres F = - 0,0583 mm

En vert la flèche respecte le cahier des charges

En rouge la flèche dépasse le cahier des charges

