

Guide d'utilisation

Fraiseuse EAS(Y) 600 KG ECO avec Mach3

Table des matières

A. Généralités	2
A.1. Prérequis et sécurité.....	2
A.2. Processus de fabrication.....	3
A.3. Présentation de la fraiseuse et vocabulaire	5
A.4. Termes et vocabulaire habituels	5
B. Mise sous tension de la fraiseuse.....	6
C. Démarrage du logiciel Mach3	6
C.1. L'onglet "Automatique Alt-1"	7
C.2. Action préliminaire 1 : Armer l'Arrêt d'urgence.....	8
C.3. Action préliminaire 2 : Activer les limites.....	8
C.4. Action préliminaire 3 : Référencer	8
D. Déplacements de la tête de fraisage.....	10
E. Maintien du brut sur la table (Bridage).....	11
F. Installation de l'outil coupant.....	14
F.1. Mettre en place un outil coupant.....	15
F.2. Serrage sur la broche.....	15
F.3. Enlever un outil coupant et une pince	16
G. Régler l'origine XY d'usinage	16
H. Régler l'origine Z d'usinage : l'onglet « Palpage Alt-4 ».....	17
I. Usinage automatique : l'onglet "Automatique Alt-1"	18
I.1. Ouvrir / Charger le fichier d'usinage	19
I.2. Visualisation du parcours d'outil et manipulations.....	19
I.3. L'onglet "Parcours d'outil Alt-3"	20
I.4. Démarrage de l'usinage.....	20
I.5. Actions possibles et informations de l'écran principal.....	21
J. L'onglet usinage "Manuel Alt-2" (Pour les plus aguerris)	23
K. Après utilisation.....	24
Annexe 1 : Raccourcis clavier	26
Annexe 2 : Autres écrans de Mach3.....	28
L'onglet "Décalages Alt-5"	28
L'onglet "Réglages Alt-6"	29
L'onglet "Diagnostics Alt-7"	29
Annexe 3 : Fraises – Termes et calculs d'usinages.....	30
Considérations générales et approche globale des calculs	30
Choix de la fraise.....	31
Calculs et déduction des paramètres de fraisage.....	32
Les formules usuelles :.....	34
Annexe 4 : Le G-code et le M-code	36
Annexe 5 : La fraiseuse EAS(Y) 600 KG ECO	39

A. Généralités

Bienvenue dans ce manuel qui est une synthèse de toutes les découvertes et tests effectués lors d'un apprentissage approfondi de la fraiseuse et de Mach3 en ayant à la base absolument aucune connaissance sur ces sujets.

Il est relativement complet et structuré afin que chacun puisse y retrouver la moindre information nécessaire et la mettre en application de façon sereine.

Mais que l'ampleur de ce guide ne vous effraie pas : c'est moins compliqué qu'il n'y paraît. Il vaut mieux comprendre certains principes théoriques pour réussir ce que l'on souhaite réaliser.

A.1. Prérequis et sécurité



La formation préalable à l'utilisation de cette fraiseuse est impérative

L'usage de l'atelier bois impose de se prémunir d'un casque anti-bruit et d'un masque FFP2

Une fraiseuse est une machine fantastique dès lors qu'on la maîtrise. Cependant, elle requiert quelques précautions d'usage et de sécurité.

L'utilisateur doit être en mesure d'arrêter immédiatement tout déplacement ou usinage qui pourrait poser un souci :

- Soit en appuyant sur l'Arrêt d'urgence du boîtier de contrôle
- Soit en appuyant sur l'Arrêt d'urgence de la cage de protection
- Soit en cliquant sur le bouton d'Arrêt d'urgence de Mach3
- Soit en appuyant sur la touche « \leftarrow » du clavier en étant dans le programme Mach3



D'une manière générale, tout problème persistant doit être signalé aux FabManagers.

De plus, une compréhension minimale des types d'outils coupants et du paramétrage de leur utilisation selon les matériaux est nécessaire pour éviter d'abîmer ou de casser les outils, avoir de bons usinages et pour éviter des problèmes sécuritaires. Ce paramétrage s'effectue généralement lors de la définition de l'usinage (FAO, voir chapitre suivant) ou lors d'un usinage manuel.

Un chapitre « *Annexe 3 : Fraises – Termes et calculs d'usinages* » est dédié à ce sujet en page 30.

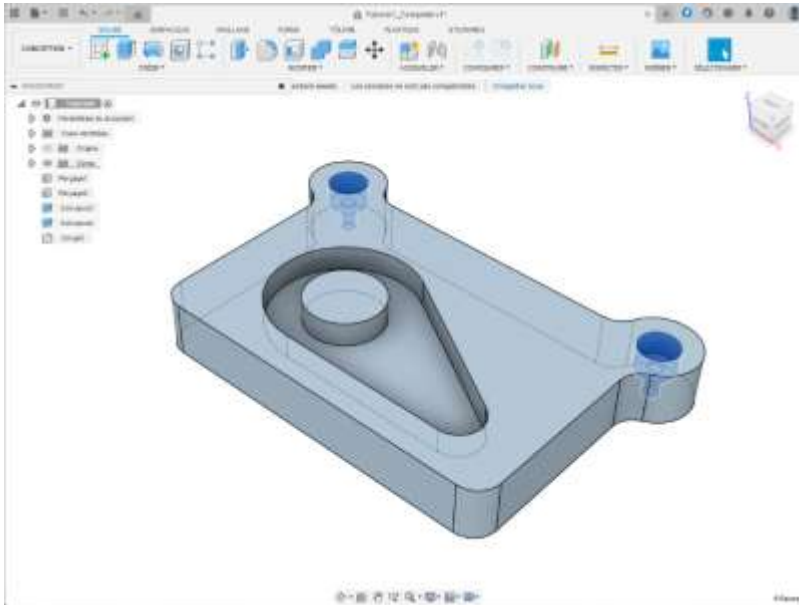
Prudence et vigilance sont de mise.

Bonne utilisation ...

A.2. Processus de fabrication

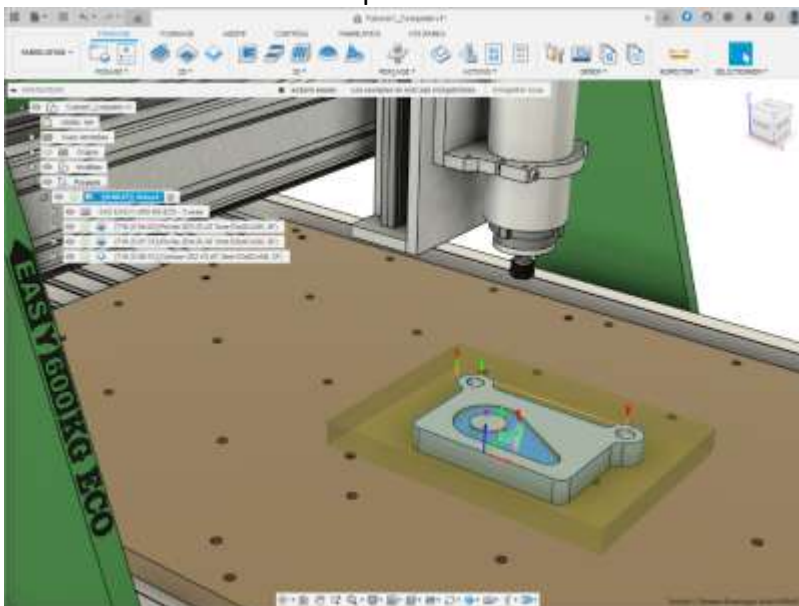
Globalement, pour arriver au stade de l'utilisation d'une fraiseuse, il convient de :

1. Imaginer son projet final avec ses différentes contraintes (formes, assemblages, matériaux, etc...). Il n'est généralement guère possible d'aboutir à un résultat probant si on n'a pas une idée claire et relativement précise de ce que l'on souhaite au final
2. Le modéliser dans un **logiciel de CAO** - Conception Assistée par Ordinateur tel que Fusion360, FreeCAD, ou autre.



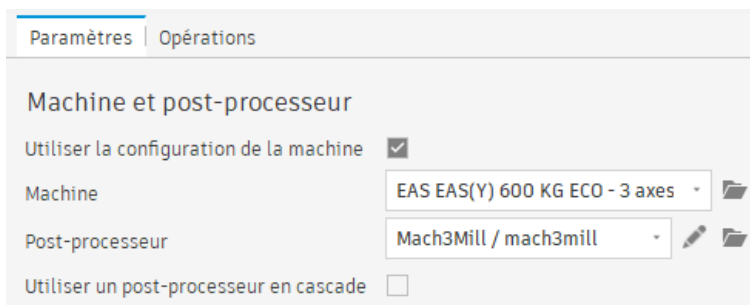
NB : CAO = CAD en anglais pour Computer-Aided Design

3. Si ce logiciel n'intègre pas de module FAO, exporter sa conception dans un **fichier 3D** (.F3D, .OBJ, .STL, .STEP, .IGES, ...) pour l'importer ensuite dans le logiciel de FAO
4. Définir les usinages dans un **logiciel de FAO** - Fabrication Assistée par Ordinateur (Fusion, FreeCAD, VCarve, ...) et simuler les travaux pour s'assurer que les parcours d'outils définis sont conformes à ce qui est souhaité. Depuis ce logiciel, générer un **fichier d'usinage** pour le matériel et son contrôleur qui seront utilisés

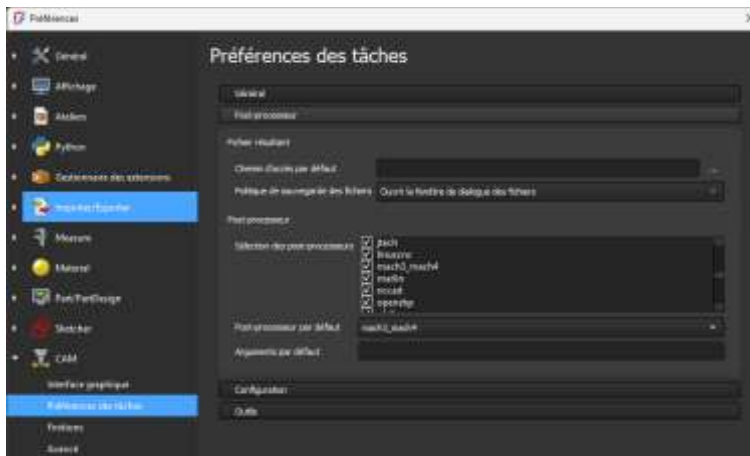


NB : FAO = CAM en anglais pour Computer-Aided Manufacturing

Avec Fusion, le post-processeur pour le contrôleur doit être « Mach3Mill »



NB : Avec FreeCad, le post-processeur pour le contrôleur doit être « mach3_mach4 »



5. Ouvrir le **logiciel de pilotage de la fraiseuse** et charger le fichier d'usinage. Quelques vérifications, puis lancer le/les usinage(s)



Le matériel utilisé :

- La fraiseuse EAS(Y) 600 KG ECO, récemment modernisée et modifiée
- Le boîtier de contrôle contenant toute l'électronique de gestion des moteurs et capteurs

Les logiciels sur le poste de travail sont :

- Fusion 360 pour la CAO et FAO (on parle alors de CFAO, combinaison des deux)
- FreeCAD v1.x (CAO et FAO)
- Mach3 de ArtSoft pour l'interprétation du fichier d'usinage et le pilotage de la fraiseuse via le boîtier de contrôle

A.3. Présentation de la fraiseuse et vocabulaire

L'environnement est le suivant :

- Le poste de travail PC Windows avec Mach3
- Le boîtier de contrôle (sous la fraiseuse) connecté au PC
- La fraiseuse dans sa cage de protection (reliée au boîtier)



A.4. Termes et vocabulaire habituels

Quelques définitions et descriptions usuelles et simples :

- **Fabrication soustractive** : à l'inverse d'une imprimante 3D qui construit l'objet par dépôt de matière (fabrication additive), une fraiseuse constitue l'objet par élimination de matière
- **Cage de protection** : augmente la sécurité, limite le bruit, les poussières et les projections
- **Coup(s) de poing d'Arrêt d'urgence** : dispositif(s) de sécurité visant à couper l'alimentation électrique de la fraiseuse en cas de souci
- **Châssis** : base fixe de la fraiseuse
- **Table** : partie de la fraiseuse sur laquelle est posée la pièce à usiner (Ici, table = châssis, mais ce n'est pas forcément le cas pour d'autres machines qui ont des tables mobiles)
- **Portique** : partie mobile de la fraiseuse se déplaçant le long de la partie fixe
- **Surface de serrage** : plateau aluminium à rainures permettant la fixation d'éléments
- **Plaque de bridage** : à la base, il s'agit de la plaque en aluminium. Mais pour la protéger, elle est ici complétée d'une plaque de MDF de 22mm avec pas moins de 74 inserts de bridage (voir plus loin). En prendre soin (comme si c'était de l'alu) pour éviter des changements fréquents
- **Surface de travail** : zone couverte par les déplacements de la machine et pouvant donner lieu à un usinage
- **Martyr** : surface complémentaire en bois permettant d'absorber des dépassements verticaux d'usinage de pièce sans abimer la surface de serrage en aluminium.
- **Inserts** : bagues de vissage pour boulons de type M8 (8mm), positionnées par l'envers de la plaque de bridage à intervalles réguliers, permettant le bridage des pièces à usiner
- **Brides** : accessoires permettant de maintenir fermement, mais sans l'abimer, la pièce à usiner sur la plaque de bridage (voir plus loin) pour éviter tout déplacement lors de l'usinage
- **Pièce à usiner** : élément brut ou semi-fini sur lequel on souhaite effectuer un ou plusieurs usinages (trous, coupes, gravures, rainures, etc...)
- **Brut** : volume englobant a minima la pièce à usiner, généralement une simple plaque de matière (bois, aluminium, etc...)

- **Axes X, Y et Z** : correspondent aux mouvements de liberté des éléments mobiles de la fraiseuse. Ici X sur l'axe gauche/droite, Y sur l'axe avant/arrière et Z sur l'axe vertical
- **Zéro machine** : Positionnement minimal de la machine défini mécaniquement par des capteurs sur les axes X et Y et le plus haut de l'axe Z. De ce zéro machine (X0, Y0, Z0) découlent les coordonnées machine relatives lors des mouvements (Dans le cas de la fraiseuse EAS, X et Y machine forcément positifs, Z forcément négatif)
- **Zéro pièce / Origine d'usinage** : point de référence de l'usinage de la pièce, tel que défini dans le fichier d'usinage créé par le logiciel de FAO
- **Parcours** : chemin tridimensionnel suivi par la pointe de l'outil lors de l'usinage
- **Broche** : bloc moteur faisant tourner l'outil coupant, celle équipant la fraiseuse est à vitesse variable de 4000 à 24000 tr/min (VFD = Variable Frequency Drive), pilotable par Mach3
- **Outil coupant** : outil de coupe rotatif. Il en existe de nombreuses formes, qualités et dimensions, et pour différents matériaux (Bois, aluminium, acier, ...). Voir annexe dédiée
- **Pinces** : permettent de fixer de façon précise et sûre un outil coupant sur la broche. Leur taille dépend du modèle de broche (ici de type ER11), mais surtout du diamètre de queue (tige) de l'outil à fixer
- **Bague de serrage (Collet)** : permet de serrer l'outil coupant avec la pince adaptée sur l'axe de la broche
- **Tête de fraisage** : ensemble des éléments constituant la partie mobile qui supporte la broche
- **Palpeur** : accessoire permettant au logiciel d'usinage de déterminer et de mémoriser de façon très précise la position de la pointe de l'outil coupant sur la surface de la pièce à usiner (cette position est modifiée chaque fois qu'un outil est bougé ou changé sur la broche)

B. Mise sous tension de la fraiseuse

Sur le boîtier de contrôle de l'électronique de pilotage de la CNC situé sous la fraiseuse :

1. Vérifier que les boutons d'Arrêt d'urgence sont armés (boîtier contrôle et cage de protection). Si ce n'est pas le cas, les tourner dans le sens des flèches pour les armer.



2. Appuyer ensuite sur le bouton vert indiqué « On ».

C. Démarrage du logiciel Mach3

Sur le bureau du PC, cliquer tout simplement sur l'icône "Mach3 EAS(Y) 600 KG ECO". Cela ouvre directement Mach3 avec le profil adapté pour la fraiseuse.



C.1. L'onglet "Automatique Alt-1"

Au démarrage de Mach3, l'affichage se présente ainsi :



Plusieurs fonctionnalités ou boutons sont accessibles directement par des raccourcis clavier (Voir l'annexe intitulée « Raccourcis clavier » en page 26)

Quasiment tous les menus sont désactivés pour éviter des actions inopportunes

Ne modifiez des informations que si vous êtes certains de ce que vous faites et sans que cela n'altère l'usage par d'autres utilisateurs.

Le voyant carré en haut à gauche du bouton du bouton d'Arrêt d'urgence donne le statut de la communication avec le boîtier de contrôle.



Rouge = boîtier "Hors tension"

Vérifier que l'étape "Mettre sous tension" a bien été effectuée

Rouge clignotant = défaut de communication avec le boîtier

Le mieux est d'éteindre le boîtier, de fermer Mach3, de redémarrer le PC

Eteint = communication normale avec le boîtier

Les valeurs sont exprimées par défaut en millimètres.

Si vraiment nécessaire, il est possible d'utiliser le bouton Unités de l'onglet « Réglages Alt-6 » associé la combinaison de touches Alt + U.

Lorsqu'une valeur d'un champ d'écran sera à modifier, ce sera possible :

- Parfois grâce à des boutons « + » et « - » positionnés à proximité de la valeur
- En cliquant sur la zone de la valeur qui passe en surlignage, puis en saisissant la valeur souhaitée ou en saisissant « + » suivi d'une valeur pour l'ajouter à la valeur actuelle ou en saisissant « - » suivi d'une valeur pour la soustraire à la valeur actuelle, puis en appuyant sur :
 - « Entrée / Return » pour valider la valeur saisie
 - « ESC » pour annuler la saisie en cours et revenir à la valeur précédente

- NB : Les touches Retour arrière, et Sup, Ins ne sont pas opérationnelles et ne permettent pas d'éditer le contenu du champ (sauf zone MDI de saisie de G-code sur l'écran « Manuel Alt-2 »).

Ne pas modifier les valeurs des Echelles sur les différents axes.

Avant d'aller plus loin et d'utiliser la fraiseuse ou Mach3, il est impératif d'effectuer les 3 actions préliminaires ci-après.

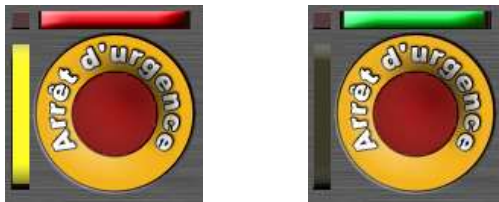
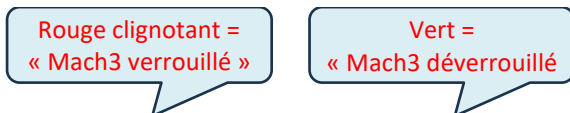
C.2. Action préliminaire 1 : Armer l'Arrêt d'urgence

Dans Mach3, en bas à gauche :

- Au début, le voyant d'Arrêt d'urgence clignote en rouge
C'est normal car empêche toute action non désirée sur la machine
- Cliquer sur le bouton « Arrêt d'urgence » ou appuyer sur la touche « ² » (sous Esc) pour armer l'arrêt d'urgence et activer l'utilisation de Mach3



Le voyant passe au vert, le voyant jaune s'éteint. Mach3 est prêt à exécuter des commandes



NB : Le voyant jaune clignotant à gauche indique l'état d'arrêt d'urgence déclenché manuellement ou provoqué par une anomalie. Cela engendre un verrouillage du fonctionnement (Voyant rouge).

C.3. Action préliminaire 2 : Activer les limites

Assurez-vous que le voyant vert du bouton "Activer limites" est bien allumé. Sinon cliquer dessus.



Il s'agit d'une sécurité logicielle indispensable. Ainsi, lors du déplacement des axes X, Y et Z seulement vers le haut, la tête s'arrêtera sur "Limite Logicielle" sans déclencher l'Arrêt d'urgence et avant d'activer les interrupteurs de fin de course qui aurait comme conséquence d'activer l'Arrêt d'urgence.

C.4. Action préliminaire 3 : Référencer

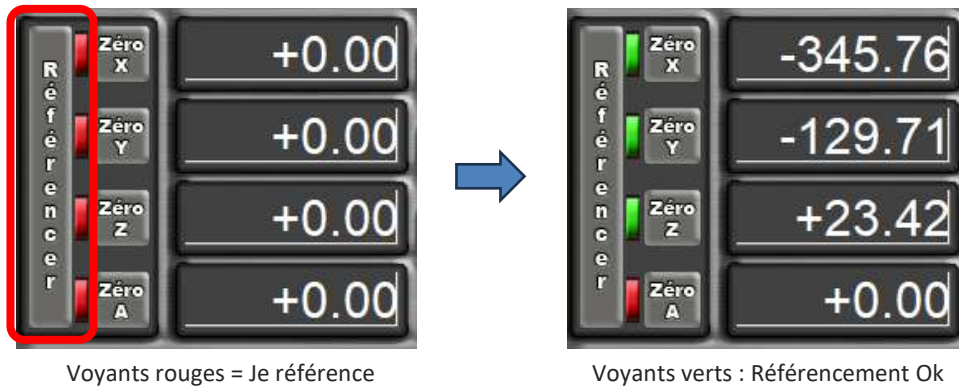
La première chose à faire est d'effectuer un référencement après :

- Chaque démarrage du boîtier de contrôle,
- Chaque démarrage de Mach3,
- Chaque arrêt machine du fait d'un incident (notamment après Arrêt d'urgence)

Il consiste à déplacer la tête de fraisage automatiquement vers des capteurs de fin de course afin d'avoir un « Référencement » mécanique des points X=0, Y=0 et Z=0 appelé « Zéro Machine ».

Appuyer sur le bouton « Référencer » de l'écran principal « Automatique Alt-1 ».

Une fois le référencement effectué, les voyants « Zéro X », « Zéro Y » et « Zéro Z » passent au vert, peu importe pour l'instant les valeurs indiquées en regard.



Par contre si l'on clique sur « Coord. Machine », on doit bien visualiser une valeur à 0 sur chaque axe.



NB : Le "Zéro A" n'est pas référencé car il s'agit un quatrième axe (qui pourrait être une rotation d'une pièce cylindrique) dont la fraiseuse n'est pas actuellement équipée.

En cas d'échec du référencement

Problème : En cliquant sur "Référencer" la broche monte, ne s'arrête pas au niveau du capteur et continue sa course vers le haut ==> En butée mécanique, le moteur de l'axe Z force et claque

Solution : Stopper immédiatement le mouvement en appuyant sur la touche « ² » du clavier sous la touche « Esc », ou en cliquant sur "Arrêt d'urgence" en bas à gauche de l'écran, puis :

- S'assurer que Mach3 est déverrouillé (Action préliminaire 1)
- Redescendre l'Axe Z suffisamment pour dégager le capteur de fin de course
- Manœuvrer le déplacement en X et en Y pour éviter d'être en butée sur le X0 et/ou Y0 machine (voir chapitre suivant sur les déplacements)
- Sortir de Mach3 en quittant normalement l'application
- Eteindre le boîtier électronique sous la table en appuyant sur le bouton Rouge
- IMPORTANT : Attendre 10 s, le ventilateur du boîtier qui continuait à tourner doit s'arrêter.
- Ensuite, rallumer le boîtier électronique en appuyant sur le bouton Vert
- Relancer Mach3 et effectuer à nouveau les actions préliminaires
- Si le problème persiste, adressez-vous à un FabManager

D. Déplacements de la tête de fraisage

Il est nécessaire de déplacer manuellement la tête de fraisage pour avoir assez de place pour :

- Fixer ou enlever la pièce à usiner sur la table de fraisage
- Fixer, changer ou enlever aisément une fraise sur la broche
- Effectuer un « palpage » comme il se doit
(voir chapitre intitulé « H. Régler l'origine Z d'usinage : l'onglet « Palpage Alt-4 » en page 17)

Ces déplacements sont effectués de 3 façons non exclusives l'une de l'autre :

- Au clavier
- Par l'écran Jog (Déplacements)
- Par une manivelle (Non disponible à LabBoite)

Dans tous les cas, les limites mécaniques et logicielles (si bien activées !) éviteront de dépasser les limites techniques de la fraiseuse. On peut agir sur les 3 axes selon 3 vitesses de déplacement en fonction de la précision du positionnement attendu :

- **En vitesse lente** : A l'aide des flèches de direction
Se déplace selon un % de la vitesse rapide modifiable sur l'écran Jog
- **En vitesse rapide** (maximale) : Shift + flèches
Se déplace à la vitesse maximale configurée pour la machine
- **En pas par pas** pour avancer par sauts minimes et quasi imperceptibles : Ctrl + flèches
Idéal pour un positionnement ultra précis. Regarder la valeur associée à l'axe manipulé

Les déplacements peuvent se faire simultanément sur 2 ou même 3 axes, mais dans ce cas selon le même type de vitesse (normal, rapide ou par pas).

Représentation des touches clavier liées aux déplacements :



Rappel : La touche « 2 » ici en rouge correspond à un arrêt d'urgence

ATTENTION :

- **La touche Shift reste parfois bloquée** (d'un point de vue logiciel) et le déplacement reste rapide même sans appuyer sur la touche Shift provoquant un déplacement rapide alors qu'on souhaite un déplacement lent : dans ce cas réappuyer sur la touche Shift une ou deux fois pour revenir à une situation normale
- **La touche Ctrl est parfois inopérante** (d'un point de vue logiciel) pour incrémenter une valeur, et dans ce cas, le déplacement n'a pas lieu (la valeur de l'axe manipulé ne change pas)
- Le déplacement d'un pas sera de la distance indiquée par la valeur du saut et s'effectuera en vitesse lente

En appuyant sur la touche « Tab » du clavier, on fait apparaître / disparaître l'écran « Jog » qui permet de gérer les déplacements manuels.



Ne sert pas dans notre configuration
(Manivelle inexistante et non configurée)



Exemples de manivelles

NB : bien que l'écran « Jog » puisse être affiché sur n'importe quel onglet, les déplacements ne sont possibles que depuis les onglets « Automatique Alt-1 », « Manuel Alt-2 », « Décalages Alt-5 » et « Diagnostic Alt-7 »

E. Maintien du brut sur la table (Bridage)

La pièce à usiner doit être fixée solidement sur la plaque de bridage afin de ne pas bouger durant l'usinage, par sécurité et pour avoir des côtes d'usinage respectées.

Si vous prévoyez un ou des usinages dits traversants (trous ou coupes), c'est-à-dire sur toute l'épaisseur du brut, alors mettre un martyr constitué de chutes de MDF 3 ou 6mm (ou plus) sous toute la surface du brut à usiner pour ne pas dégrader la plaque de bridage. Vous pourrez ainsi prévoir 0,5mm ou 1mm de plus afin d'être totalement certains de traverser le brut et d'avoir une coupe propre sans l'abîmer (Attention : en tenir compte pour les onglets).



Ancienne plaque de bridage totalement « martyrisée » = à proscrire svp !

Plusieurs solutions de maintien peuvent être utilisées :

- **Brides étagées en acier avec cales à crans**, fixées aux inserts par des boulons ou goujons de type M8 : bien choisir la longueur adaptée pour une bonne fixation.
Permet un bon plaquage du brut sur la plaque de bridage (avec ou sans martyr), surtout pour les grandes épaisseurs, mais n'évite pas totalement un décalage latéral en cas d'effort de fraisage trop important.



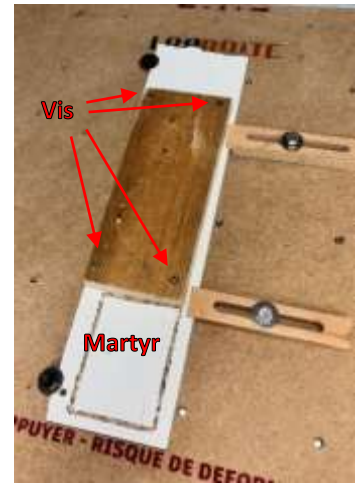
- **Brides en bois et cales d'épaisseur**, fixés aux inserts par des boulons de type M8 et présentant l'avantage de plaquer le brut mais également de le caler latéralement.
Autre avantage : en cas d'erreur, la fraise rentre dans du bois et ne casse pas sur du métal !



- **Boulons de type M8**, fixés aux inserts : les corps filetés font office de butées latérales et les têtes hexagonales équipées d'une rondelle font office de maintien sur la plaque de bridage (avec ou sans martyr). Pour éviter que les boulons ne prennent un angle lors du serrage et n'abiment le bord du brut et les inserts, mettre à l'opposé du brut une petite cale de même épaisseur que le brut. Vous aurez ainsi un meilleur serrage bien vertical.
L'avantage est de bénéficier d'un alignement correct sur les axes X et Y.
L'inconvénient est qu'on ne peut pas maintenir l'ensemble de la pièce à usiner (seulement 2 côtés au plus) et il faut combiner avec un autre système de bridage.



- **Vissage sur un martyr** : un martyr peut servir à visser votre pièce à usiner s'il est d'épaisseur suffisante (au moins 18mm et s'assurer que les vis ne le traversent pas). L'inconvénient relatif est que l'on perd d'autant en capacité d'usinage en hauteur
- **Fixation mixte**, par combinaison des bridages cités ci-avant. Par exemple :



D'autres type de fixations existent mais sont proscrits / interdits au Lab car n'offrant pas la sécurité adéquate ou dégradant le matériel :

- Collage qui n'offre pas suffisamment de résistance et présente un réel danger
- Adhésif double face (idem et laisse généralement de la matière collante sur les outils et la plaque de bridage après retrait)

Dans tous les cas, toujours vérifier que :

- Si usinage traversant, martyr obligatoire
- Ni l'outil coupant ni le bas de la broche ne viendront en contact avec les points de fixation
- Les boulons et goujons n'iront pas au contact de la table de serrage en aluminium
- Les vis insérées dans un martyr ne doivent pas atteindre la plaque de bridage
- L'intégrité et la planéité de la plaque de bridage avec les inserts ne seront pas altérés
=> proscrire les serrages excessifs, vissages et usinages traversants

F. Installation de l'outil coupant

Ce qui est nécessaire se trouve dans les tiroirs sous la fraiseuse :

- **Outil coupant** adapté à l'usinage à réaliser
Quelques outils coupants sont à disposition dans les tiroirs sous la fraiseuse



- **Pince de serrage ER11** adaptée à la taille de la queue de l'outil coupant.
Des pinces sont disponibles allant de 1mm à 8mm par pas de 0,5mm (Sauf 7,5mm), plus une de 1/4 de pouce (soit 3,175mm) et une de 1/8 de pouces (soit 6,35mm)



- **Bague de serrage :**
2 places de rangement sont prévues pour leur stockage sur la boîte des pinces (voir ci-dessus)
- **Clé plate de 13mm** pour maintenir l'axe de la broche
- **Clé plate de 17mm** pour la bague de serrage
- Idéalement, un petit **chiffon** ou des gants

Précautions de manipulation :

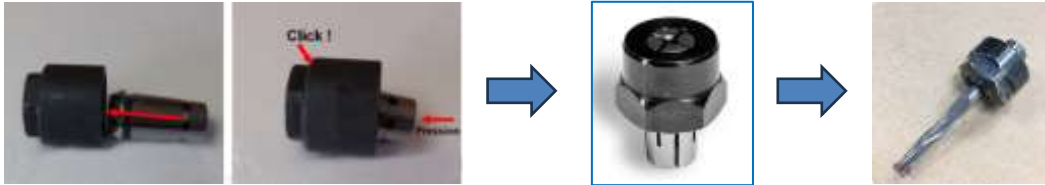
Lors du serrage/desserrage, bien positionner les clés pour éviter de déraper : vous pourriez abimer le matériel ou vous blesser en heurtant l'outil coupant.

Important : ne jamais huiler ou graisser le filetage de l'axe de la broche sur lequel vient se visser la bague de serrage : la chaleur pourrait rendre le dévissage très difficile.

F.1. Mettre en place un outil coupant

Les étapes :

1. Prendre la bague de serrage
2. Choisir la pince de serrage ER11 qui correspond **EXACTEMENT** au diamètre de queue de l'outil coupant. Ne jamais tenter d'utiliser une pince avec une queue d'outil de taille différente.
3. **Clipser la pince seule** dans l'écrou de serrage. La tête de la pince doit être de plan avec la base de la bague de serrage
4. **Puis** mettre la queue de l'outil coupant dans la pince

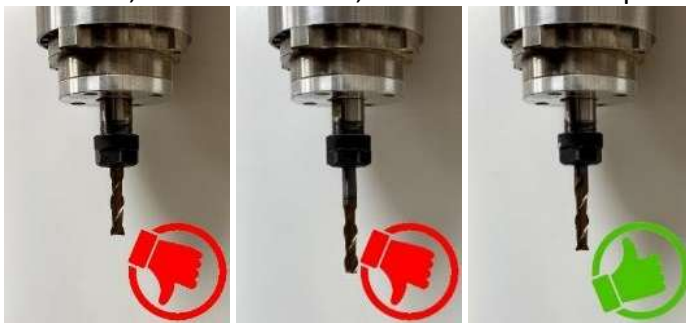


Attention : Ne JAMAIS mettre la pince dans l'axe pour visser ensuite la bague de serrage ! Le démontage serait difficile voire impossible et l'outil ne serait pas parfaitement installé.

F.2. Serrage sur la broche

Les étapes :

1. Positionner à la main la bague de serrage incluant la pince et l'outil coupant sur la partie filetée de l'axe de la broche et aller au serrage manuel très léger. Le vissage se fait dans le sens inverse des aiguilles d'une montre quand on regarde par le haut. Attention, le pas de vis est fin et la mise en place demande un petit coup de main au début. Ne pas forcer, le vissage doit s'effectuer sans aucune contrainte.
2. Faire tourner l'outil dans la pince dans la pince pour s'assurer d'un bon centrage
3. S'assurer d'un emboîtement correct en maximisant la surface de prise et en laissant un espace entre la bague et la zone de coupe afin que les copeaux puissent être bien évacués. Attention, au-delà de 7mm, il est limité à ~2cm par le diamètre intérieur de l'axe de la broche.



4. Serrer la bague de serrage avec les clés plates (elle se visse dans le sens inverse des aiguilles d'une montre quand on regarde par le haut). **NE JAMAIS FORCER** : Ne surtout pas serrer comme une brute, un serrage léger suffit car le sens de rotation de la broche va dans le sens d'un serrage, donc pas de risque de desserrage
5. Penser à refaire le Z0 par palpéage après chaque changement d'outil (Voir chapitre intitulé « H. Régler l'origine Z d'usinage : l'onglet « Palpage Alt-4 » en page 17)



Astuce : pour penser à faire le Palpage, mettez le palpeur bien visible sur la pièce à usiner en même temps que vous montez un outil coupant. Et une fois le palpéage effectué, rangez-le.

F.3. Enlever un outil coupant et une pince

Les étapes sont simples et à l'inverse du montage :

1. Dévisser la bague de serrage avec les clés plates (elle se dévisse dans le sens des aiguilles d'une montre quand on regarde par le haut).
2. Enlever ensuite l'outil coupant en tirant dessus en si besoin en le faisant bouger (**attention aux coupures et à la chaleur**)
3. Pour désolidariser/déclipser la pince de la bague de serrage, appuyer fermement avec un doigt (surtout pas d'outil métallique qui l'abimerait) pour repousser la pince par l'extérieur de la bague tandis qu'on effectue une poussée latérale pour l'incliner
4. Si vous n'avez plus besoin de cette pince, rangez là de suite dans son emplacement de la boîte à pinces pour ne pas la perdre
5. Si vous n'avez plus besoin de la bague de serrage, rangez là de suite dans son emplacement de la boîte à pinces



G. Régler l'origine XY d'usinage

Le X0 et Y0 de la pièce à usiner ou "Zéro pièce" doivent être réglés conformément au référentiel utilisé lors de la création du parcours d'outil.

Habituellement, il se trouve :

- Soit sur le coin inférieur gauche du brut
- Soit au milieu du brut
- Soit sur le haut du brut

Ne pas omettre cette étape, sinon, le point d'origine d'usinage reste celui précédemment défini, généralement le zéro machine.

Les étapes :

1. Déplacer manuellement la tête comme indiqué à l'étape précédente au-dessus du point Zéro d'usinage (la hauteur Z0 sera réglée à l'étape suivante)

Astuce : si vous avez besoin d'effectuer un positionnement très précis, l'idéal est de monter une fraise de gravage à 10° (Cf photo). Le pointage sera facilité surtout avec des déplacements pas par pas



2. Sur l'écran principal cliquer sur "Zéro X" et "Zéro Y"



Les voyants passent au vert et +0.00 s'affiche sur les deux cases en regard des boutons

3. A partir de cet instant, les valeurs indiquées sur les axes sont relatives au Zéro pièce

H. Régler l'origine Z d'usinage : l'onglet « Palpage Alt-4 »

Le Z0 de la pièce à usiner ou "Zéro pièce" doit être réglé conformément au référentiel utilisé lors de la création du parcours d'outil. Il se prend à la pointe de l'outil coupant.

Il dépend naturellement de l'épaisseur d'un éventuel martyr, du brut à usiner, mais aussi et surtout de la longueur de l'outil coupant et de sa position exacte dans l'axe de la broche.

Ce réglage est donc à refaire systématiquement à chaque manipulation d'outil coupant.

Le palpeur est situé complètement à la gauche de la fraiseuse.



Les étapes :

1. Facultatif : Aller sur l'onglet « Diagnostics Alt-7 » de Mach3 et vérifier que l'appui sur le palpeur allume bien le voyant associé au palpeur et qu'il s'éteint bien dès qu'on relâche la pression.



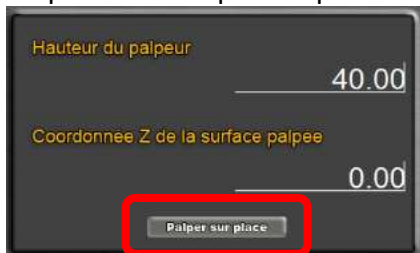
2. Aller sur l'onglet « Automatique Alt-1 » de Mach3 et remonter la tête pour laisser de la place au palpeur puis la déplacer au-dessus du point de mesure.
3. Prendre le palpeur et le placer bien à plat à l'endroit à mesurer et le positionner afin que la fraise soit bien au centre du bouton interrupteur du palpeur



4. Aller sur l'onglet "Palpeur Alt-4" de Mach3.
Ne modifier aucune des valeurs de l'écran



5. Cliquer sur « Palper sur place »



La broche descend lentement (à la vitesse de palpée) pour activer le contacteur puis remonte à la valeur de la « coordonnée Z de retour » paramétrée, soit : +50.00.
Un bip du PC signale que la référence Y a été effectuée

6. Revenir à l'onglet « Automatique Alt-1 » de Mach3.
La valeur de la position actuelle en regard du Zéro Z affiche +50.00



7. Penser à **retirer le palpeur** et à le remettre à sa place d'origine

A noter : alors que les coordonnées machine évoluent de 0 pour la position haute à une valeur négative pour une position basse, les coordonnées machine évoluent de 0 pour la position de référence à +NNN en remontant à -NNN en descendant

I. Usinage automatique : l'onglet "Automatique Alt-1"

La grande majorité des usinages seront réalisés en automatique depuis l'écran principal « Automatique Alt-1 », c'est-à-dire par exécution successive des commandes G-code d'un fichier d'usinage.

I.1. Ouvrir / Charger le fichier d'usinage

Sur l'écran principal "Automatique Alt-1", cliquer sur le bouton "Ouvrir Fichier" et aller chercher le fichier issu de la conception du parcours d'outil dans le répertoire où vous l'avez enregistré.

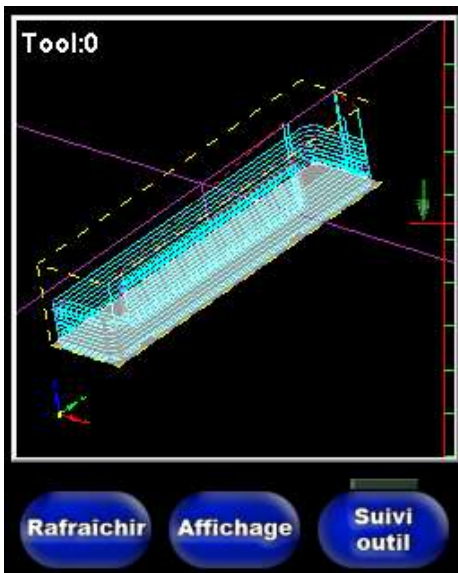
Les fichiers exploitables sont des fichiers texte standards contenant des instructions G-code et ayant pour extension .Tap, .NC, .NCC ou .Txt selon le programme qui l'a généré (privilégier .Tap ou .NC).

Ils doivent contenir par défaut des mesures exprimées en millimètres.



I.2. Visualisation du parcours d'outil et manipulations

Vérifier sur le cadran noir de droite où apparaît l'usinage que l'ensemble de l'usinage est bien positionné et qu'il n'y a pas de risque de collision de l'outil sur une bride ou une vis.



- Une vue des axes est affichée en bas à gauche
- La flèche verte à droite simule la hauteur de la fraise. Le trait rouge horizontal indique le 0 pièce
- Un point jaune indique la position actuelle de l'outil
- L'intersection des lignes violettes = pos. X,Y de la fraise
- En rouge : déplacements rapides ou conflits
- En violet : les rayons
- En bleu : déplacements en vitesse d'avance
- En jaune : limites d'usinage
- En gris clair : surface du brut

Les mouvements au sein de la vue sont les suivants (uniquement avec la souris) :

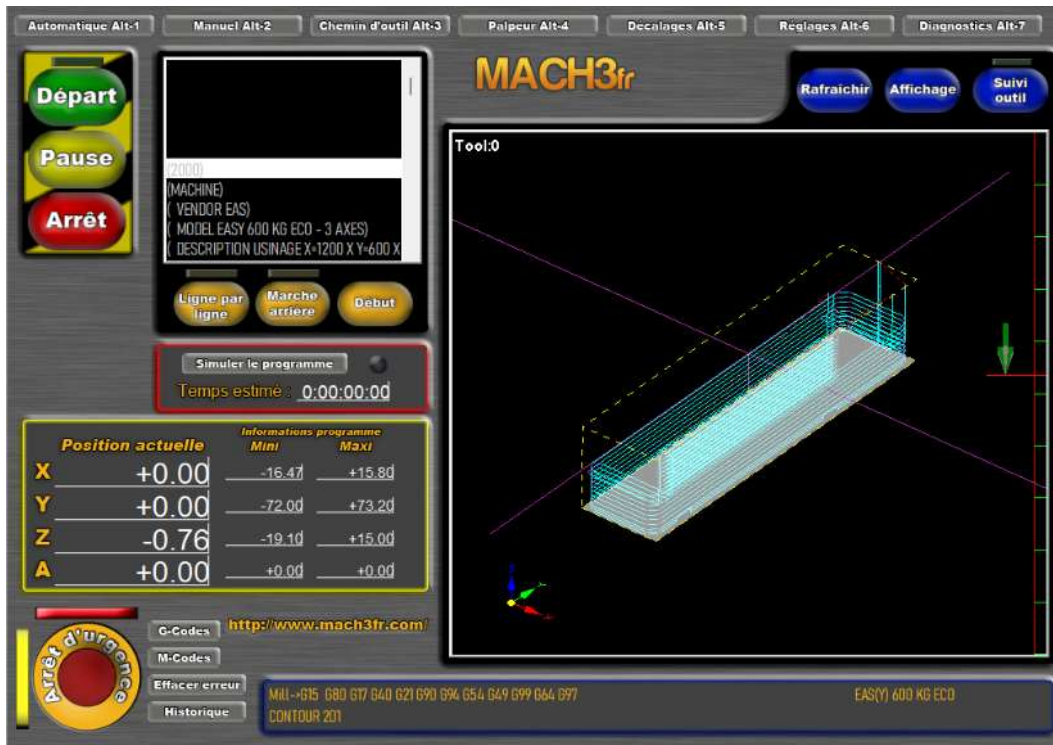
- Bouton gauche enfoncé + déplacement : pivote en 3D
- Bouton gauche enfoncé + déplacement : déplacement sur l'horizontale ou la verticale
- Molette : zoom avant ou arrière

Les boutons sont les suivants :

- Rafraichir : redessine le parcours d'outil
- Affichage : bascule entre affichage normale et affichage avec matérialisation des dimensions maximales de la zone d'usinage de la fraiseuse (inutile car à partir du zéro pièce)
- Suivi d'outil : si activé, l'intersection de positionnement de l'outil reste centrée sur l'affichage, sinon, les lignes donnant l'intersection se déplacent alors que le reste est fixe

1.3. L'onglet "Parcours d'outil Alt-3"

Il est également possible de visualiser le parcours d'outil sur cet onglet de Mach3.



Depuis cet écran :

- Les déplacements de la broche ne sont pas possibles
- Le bouton « Simuler le programme » exécutera le programme, mais sans commander les moteurs et permettra d'estimer le temps d'exécution de votre programme. Lors d'une simulation, la vitesse d'exécution est généralement dix fois supérieure à la vitesse réelle
- L'encadré jaune donne la position actuelle de l'outil mais surtout les déplacements min et max sur chaque axe
- Les autres boutons suivent la même logique que sur l'écran principal.

1.4. Démarrage de l'usinage

Les étapes à suivre pour le démarrage de l'usinage sont :

1. Dernières vérifications :
 - Rien ne doit entraver le parcours d'outil ou les mouvements du portique
 - Le bon outil est en place et correctement serré
 - Les Zéro pièce ont été pris en compte
2. Régler le facteur d'avance à 20% pour le début de l'usinage
3. Cliquer une première fois sur « Départ » : le programme démarre jusqu'à la commande de mise en place d'outil
4. Cliquer à nouveau sur « Départ » : la broche démarre et les moteurs se mettent en action
5. Soyez vigilants aux premiers mouvements et soyez prêts à les interrompre en urgence (voir ci-après)
6. Si tout se passe bien, repasser le facteur d'avances à 100% pendant l'usinage



7. Pour une bonne visé sur la pièce en cours d'usinage et afin de faciliter le parcours d'outil, il convient d'aspirer régulièrement les copaux. Éviter de le faire pendant que la broche est en fonctionnement et préférez mettre en Pause (voir ci-après)
8. En fin d'usinage, la broche se relève au maximum (Z0 machine) et retourne au Zéro machine (généralement pour changement d'outil)

I.5. Actions possibles et informations de l'écran principal

La zone du bas d'écran affiche des informations diverses et messages utiles (ici : Valider un changement d'outil avant de poursuivre par appui sur « Début »)



Pendant l'usinage, les actions possibles sont :

Arrêt d'urgence : déclenchement de l'Arrêt d'urgence logiciel et arrêt immédiat des moteurs d'axes et de broche (nécessite d'être dans l'application Mach3 et pas sur une autre application).



La reprise d'usinage est impossible. Il faut réarmer l'Arrêt d'urgence **puis refaire un référencement** (le Zéro pièce est néanmoins conservé : à vérifier par « Aller au 0,0,0 »)

- **Arrêt d'usinage** : Arrêt immédiat des moteurs d'axes et de broche

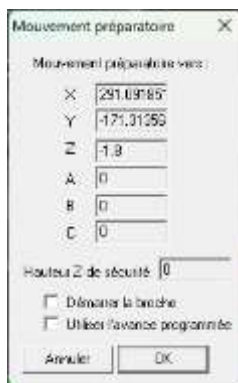


Il est possible de redémarrer la broche (Bouton « Broche M/A » ou F5) puis de cliquer sur départ pour reprendre l'usinage exactement à l'endroit de l'arrêt, même s'il y a eu un déplacement de la broche entre temps (par exemple pour changer une fraise cassée).

Attention : une perte de pas moteurs est possible et la reprise d'usinage risque de poser un souci. Ne pas tenter de poursuivre le programme en cliquant sur « Démarrer ici ». Vous devrez le redémarrer depuis le début éventuellement en supprimant les commandes déjà effectuées.

- **Pause et reprise d'usinage** : stoppe temporairement l'usinage en fin d'exécution de la commande en cours (Attention : la pause n'est donc pas nécessairement immédiate. La broche continue de tourner mais peut être gérée manuellement (Bouton « Broche M/A » ou F5).

La touche départ permet alors de reprendre l'usinage à la commande suivante



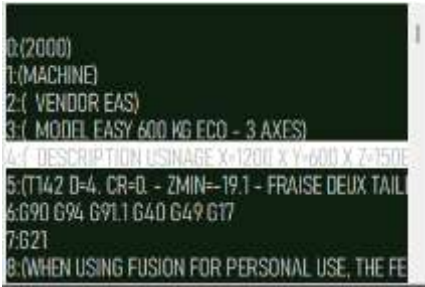
Pendant la pause, il est possible de déplacer la broche. Dans ce cas, après avoir cliqué sur Départ, une fenêtre s'ouvre.

Elle affiche les références exactes au moment de la pause et avant déplacements de la broche.

Il suffit alors de cocher « Démarrer la broche » puis « Ok » pour revenir dans le mode de reprise.

Il ne reste plus qu'à cliquer sur Départ pour que la broche redémarre et se repositionne à l'endroit de la pause pour poursuivre l'usinage.

Les actions possibles sur le G-code depuis cet écran sont :



- Double cliquer sur le G-code pour afficher les N° de lignes
- Cliquer une fois sur le G-code et se déplacer avec les flèches Haut et Bas ou la molette souris pour sélectionner une autre ligne



- **Ouvrir, Editer et fermer** un fichier programme
- **Fichiers récents** : derniers fichiers chargés
-
- **Prochaine ligne** : Définit la prochaine ligne de G-code APRES avoir saisi un N° de ligne
- **Début** = Se repositionne au début du G-code (Ligne 0)

Ne pas utiliser les autres boutons de cette partie d'écran (Démarrer ici, Marche Arrière, Ligne/ligne (ne fonctionne pas bien), Suppr.bloc, Activer M01, Arrosage)

Les autres actions et informations sur cet écran sont :



Section Outil : Ne pas modifier ces valeurs.

- Outil est le n° d'outil en cours d'utilisation (G-code Tnnn)
- Diamètre et Hauteur sont des valeurs d'ajustement aux calculs déjà réalisés
- La led « Changement d'outil » clignote en vert lorsqu'un changement est nécessaire avant de poursuivre (G-code M6 suivant un Tnnn)

Section Temps : Rien à modifier, seulement informatif

- Temps écoulé depuis le début d'exécution, sans tenir compte des pauses éventuelles
- Vitesse constante : mode actif ou non de vitesse de rotation constante indépendante du mouvement de broche
- Tempo active : indique qu'un temps de retard programmé est actif (ex : sur des actions précises ou pour éviter des vibrations ou lors de changements de vitesse brusques)
- Déplacement manuel : si actif, permet des déplacements de la broche par l'opérateur, par exemple pendant une pause

Section Avances :

- F actuel : vitesse d'avance actuelle en cours, en mm/min
- F consigne : vitesse d'avance prévue en mm/min, définie par le programme G-code (souvent dans une commande G1 ou G0) ou par l'opérateur.
- Facteur : permet d'ajuster la vitesse d'avance réelle proportionnellement à la vitesse programmée => $F \text{ actuel} = (\text{Facteur}/100) * F \text{ consigne}$
L'opérateur peut ajuster dynamiquement cette valeur par saisie directe ou via les boutons + ou - (de 10 en 10) ou en réinitialisant à 100% en cliquant sur le bouton RAZ, ce qui affectera la vitesse du mouvement suivant
- mm/min : vitesse de déplacement de l'outil en termes de distance parcourue par minute
- mm/tour : distance parcourue par l'outil pendant une rotation complète de l'outil

Section Broche :

- Bouton Broche : bascule On/Off du moteur de broche
- Voyant d'état d'alimentation de la broche : clignote en jaune si le moteur est alimenté
- Tr/min : vitesse réelle, si système de contre-mesure présent (pas le cas à LabBoite)
- S : vitesse de rotation en tours par minute (consigne G-code Snnnnn ou opérateur)
- Incrément : Valeur d'ajout ou de soustraction à la valeur actuelle lors de l'utilisation des boutons touches + et -
- Les boutons + et - permettent d'ajuster manuellement la valeur S par valeurs incréments successifs respectivement en positif ou en négatif

Section Multipasses : Sert à ré-exécuter N fois le G-code avec une valeur de progression en Z pour chaque passe jusqu'à une limite en Z définie

J. L'onglet usinage "Manuel Alt-2" (Pour les plus aguerris)

A contrario de l'usinage automatique, un usinage manuel est possible et est accessible depuis le deuxième onglet de Mach3 nommé « Manuel Alt-2 ».



L'usinage manuel consiste pour l'utilisateur à envoyer successivement des commandes ou groupes de commandes G-code agissant sur les déplacements, les paramètres de fraisage (vitesse de rotation de la broche, vitesses d'avances, etc...) et systèmes annexes.

L'utilisation de cet onglet nécessite une bonne compréhension des commandes G-code (Voir chapitre intitulé « *Annexe 4 : Le G-code et le M-code* » est dédié à ce sujet en page 36).

Cet écran recèle une zone jaune pâle nommée MDI (pour Manual Data Input) permettant de saisir du G-code et de l'envoyer à la machine.

On y retrouve des points communs avec l'écran standard nommé « Automatique Alt-1 » présenté auparavant comme :

- Les coordonnées des axes, avec Référencement, Zéros, valeurs, échelles ainsi que les différents boutons afférents
- Le bouton d'Arrêt d'urgence
- La zone d'affichage du parcours
- Une zone concernant l'outil
- Une zone concernant les vitesses
- Une zone concernant la broche
- Une zone estimant le temps d'exécution
- La zone de statut (en bas)
- Des boutons d'aides diverses

On y trouve en complément différents boutons (ne pas les utiliser) :

- « Déréférencer les axes » qui sert à enlever la référence des axes
- « Vérifier » permettant d'effectuer un contrôle rapide
- « Démarrer apprentissage » : lance un mode d'enregistrement de séquences
- « Arrêter apprentissage » : stoppe le mode d'enregistrement
- « Charger fichier apprentissage »
- « G50 Annuler échelles » remet les valeurs d'échelle à 1
- « Mémoriser la position »
- « Aller à la position mémorisée »

K. Après utilisation

Merci de laisser la machine et le plan de travail plus propre que vous ne l'avez trouvé.

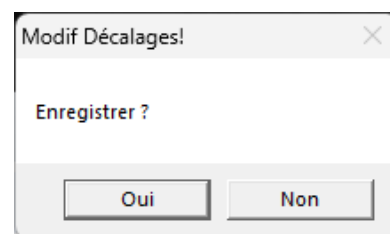
En effet, elle prend aussi la poussière du reste de l'atelier.

Pensez que le temps de rangement et de nettoyage doit être pris sur votre créneau horaire de réservation de la machine, pas sur le suivant. Prévoyez donc 10 à 15 minutes à cet effet.

Les étapes à respecter avant de quitter :

1. Repositionner la broche un peu avant le X0 et le Y0, ainsi qu'un peu plus bas que le Z0
Cela rendra le référencement plus rapide pour l'utilisateur suivant.
2. Eteindre le boîtier de contrôle sous la fraiseuse (Bouton « Off » en rouge)
3. Arrêter proprement Mach3 et confirmer votre souhait de quitter Mach3.

Puis, si vous avez eu l'occasion de changer le Zéro pièce pendant l'utilisation de Mach3, la fenêtre ci-contre s'affichera. Si vous répondez par Oui, alors le Zéro pièce sera conservé et récupéré après redémarrage de Mach3 et un nouveau Référencement. Cela est fort utile pour reprendre un usinage après un arrêt d'urgence, la pièce n'ayant pas bougé.

























































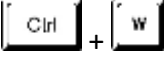
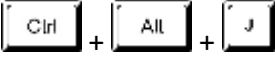
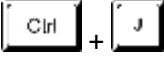

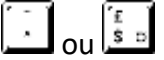
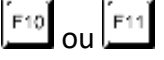

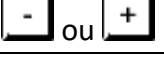
4. Eteindre l'ordinateur et le recouvrir de sa protection plexi (souris et clavier protégés)
5. Démonter l'outil coupant
6. Démonter la pince et la bague de serrage
7. Démonter votre matériau
8. Ranger les fraises, les pinces, les clés plates, les brides de serrage et autres accessoires
9. Nettoyer avec l'aspirateur le plateau, les vis sans fin, les rails... bref la machine entière
10. Refermer les portes de la cage de sécurité
11. Signaler tout dysfonctionnement, anomalie, matériel abimé ou amélioration possible

Et imaginez / concevez vos futurs projets avec la fraiseuse ...

Annexe 1 : Raccourcis clavier

Voici une liste non exhaustive des raccourcis clavier utilisables avec Mach3 :

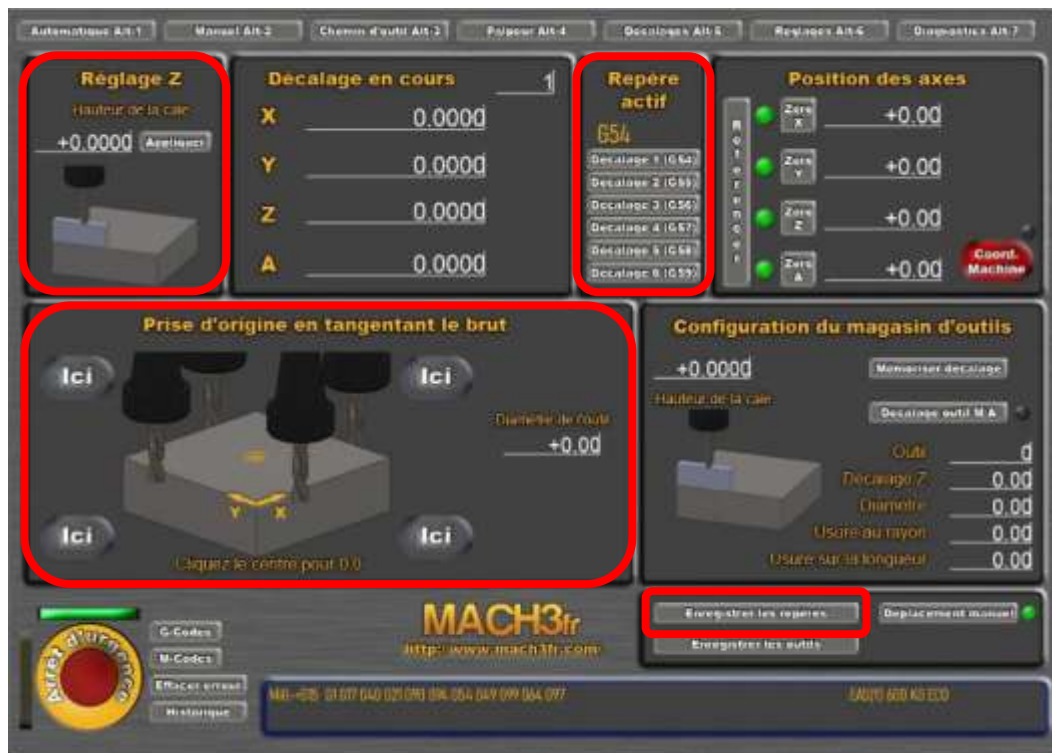
Touche(s)	Action associée
 (sous ESC)	Arrêt d'urgence
	Affiche ou masque le panneau JOG (déplacements)
 + 	Bascule unités métriques et impériales (Cf onglet Réglages Alt-7)
 + 	Positionnement au X,Y,Z de référence (=bouton « Aller au 0,0,0 »)
 + 	Référencement
	Démarrage/Arrêt du moteur de broche
 ou 	Déplacement à vitesse lente de la broche en X- / X+ selon le % de la vitesse maximale défini
 ou 	Déplacement à vitesse lente de la broche en Y- / Y+ selon le % de la vitesse maximale défini
 ou 	Déplacement à vitesse lente de la broche en Z+ / Z- selon le % de la vitesse maximale défini
 +  ou 	Déplacement à vitesse rapide de la broche en X- / X+
 +  ou 	Déplacement à vitesse rapide de la broche en Y- / Y+
 +  ou 	Déplacement à vitesse rapide de la broche en Z+ / Z-
 +  ou 	Déplacement en pas à pas (à chaque appui) de la broche en X- / X+
 +  ou 	Déplacement en pas à pas (à chaque appui) de la broche en Y- / Y+
 +  ou 	Déplacement en pas à pas (à chaque appui) de la broche en Z+ / Z-
 + 	Bascule sur l'onglet « Automatique Alt-1» de Mach3
 + 	Bascule sur l'onglet « Manuel Alt-2» de Mach3
 + 	Bascule sur l'onglet « Chemin d'outil Alt-3» de Mach3
 + 	Bascule sur l'onglet « Palpeur Alt-4» de Mach3
 + 	Bascule sur l'onglet « Décalages Alt-5» de Mach3
 + 	Bascule sur l'onglet « Réglages Alt-6» de Mach3
 + 	Bascule sur l'onglet « Diagnostics Alt-7» de Mach3
 + 	Fermeture de Mach3 (une confirmation sera demandée)
 + 	Départ/Reprise d'exécution du G-code

	Exécution du G-code en ligne par ligne
	Met en pause l'exécution du G-code
	Arrêt d'exécution du G-code
	Revenir au début du G-code
	Activer/Désactiver mode de déplacement Manuel
	Activer/Désactiver mode de déplacement en Continu
	Changer la valeur de pas (par cyclage de valeurs)
	Diminuer ou augmenter le % de vitesse lente (relativement à vitesse max)
	Diminuer ou augmenter l'avance
	RAZ de l'avance
	Diminuer ou augmenter la vitesse de la broche



Annexe 2 : Autres écrans de Mach3

L'onglet "Décalages Alt-5"



Il permet de gérer :

- Les magasins d'outils (dont la fraiseuse n'est pas équipée)
- La prise d'origine Z avec une cale d'épaisseur définie
- La prise d'origine X,Y par tangentes d'un outil de diamètre connu
- Plusieurs décalages d'outils (ou repères), c'est-à-dire la distance entre Zéro machine et la position effective de l'outil, peuvent être mémorisés à l'instar du Zéro pièce qui est mémorisé en Décalage 1, associé au G-code G54.

Aussi, sur une position donnée, il est possible de la mémoriser par le bouton adéquat au G-code G54, G55, G56, G57, G58 ou G59. Ce G-code pourra être ré-utilisé en manuel pour revenir à une de ces positions mémorisées, quitte à la définir comme référence Zéro pièce pour un nouvel usinage en automatique.

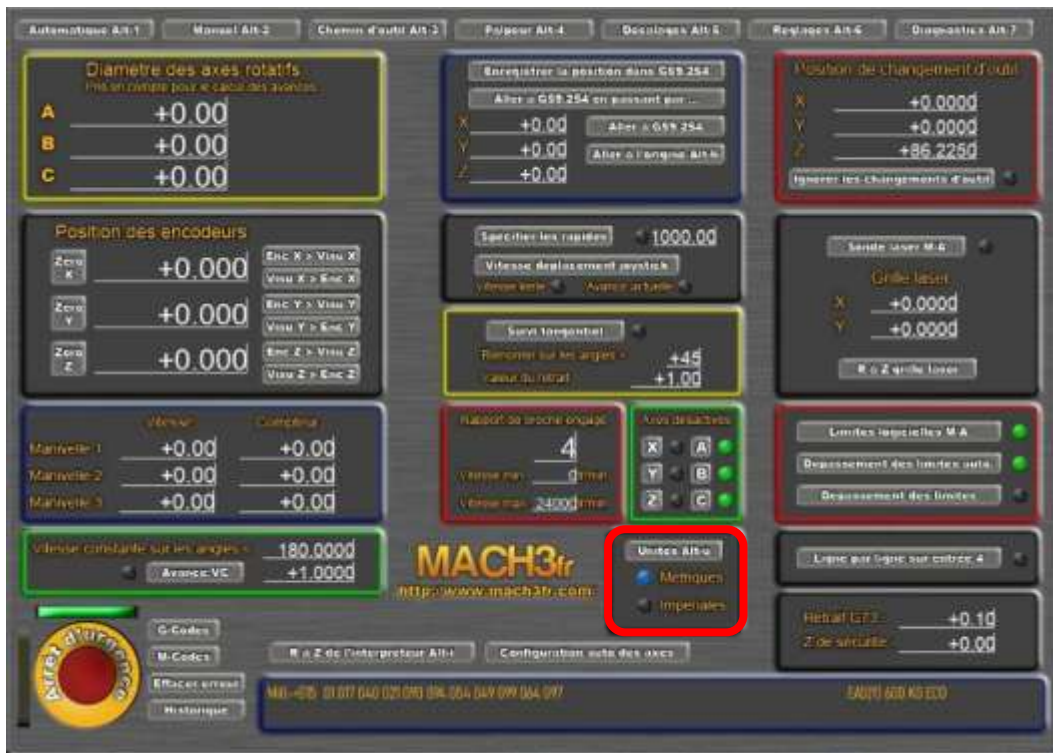
Le bouton « Enregistrer les repères » permet d'ouvrir une fenêtre montrant les valeurs stockées pour chaque repère, de les modifier manuellement si besoin et de les enregistrer. A noter qu'il en existe bien plus que de boutons.

Décalages	X	Y	Z	A	B	C	Nom
G54	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	G54
G55	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
G56	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
G57	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
G58	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
G59	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
G59F7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

Le bouton « Enregistrer les outils » qui permet de configurer quelques caractéristiques pour chacun des 254 outils utilisables par Mach3. Comme la fraiseuse est partagée, ne pas l'utiliser, svp.

L'onglet "Réglages Alt-6"

A part éventuellement le bouton « Unités Alt-U » pour modifier l'unité des mesures du fichier G-code, **ne rien modifier** sur cet onglet qui est généralement utilisé pour configurer des paramètres de machine spécifiques, qui influencent le comportement de Mach3 et de la fraiseuse.



L'onglet "Diagnostics Alt-7"

Ne rien modifier sur cet onglet qui restitue un ensemble d'informations issues de la fraiseuse ou de Mach3, à des fins de diagnostic, voire d'agir dessus.



Annexe 3 : Fraises – Termes et calculs d’usinages

Considérations générales et approche globale des calculs

Travailler correctement avec une fraiseuse nécessite de prendre en compte différents éléments indispensables pour déterminer les bons paramètres permettant d’effectuer de bons usinages, en sécurité et sans abimer le matériel. On a ainsi :

- **Les caractéristiques de la fraiseuse**
Rigidité mécanique, vitesses max et en charge selon les axes, vitesse min (si réglable) et max de la broche, Diamètre min et max des queues d’outils (dépend des pinces disponibles), etc...
La dernière annexe donne diverses caractéristiques de la fraiseuse qui sont prises en compte automatiquement par Fusion dès lors qu’un posage utilise la machine « EAS(Y) 600 KG ECO »
- **Le matériau à usiner**
Bois (dur, tendre, massif, lamellé, ...), plastiques (PEEK, Teflon PTFE, PVC, POM, Nylon, ABS, ...), métaux (aluminium, cuivre, laiton, acier...), composites, ou autres.
La dureté et l’abrasivité ne sont pas les mêmes d’un matériau à l’autre
- **Les conditions d’usinage**
Une lubrification lors du fraisage de certains matériaux est impératif (Dans ce cas, attention aux fluides sur la plaque de bridage en MDF, c’est proscrit !)
- **Le type d’usinage à réaliser**
Perçage, surface, poche 2D, rainure, contour, Hélicoïdal 3D, adaptatif, rainures, chanfreinage ou congé, gravage, taraudage, etc...
Les variantes d’usinage : ébauche ou finition, l’engagement, en opposition ou en avalant, profondeur de passe, etc...
- **L’outil coupant à utiliser et ses caractéristiques.**
Il dépend directement du matériau à usiner et du type d’usinage à effectuer.
Ainsi, on aura sa forme (bout plat, arrondi, avec angle), le nombre de dents (ou flutes), sa matière (alliage) et le type de revêtement, son diamètre de queue, son diamètre d’usinage, différentes longueurs et valeurs spécifiques
On y pense rarement, mais un outil usagé a une longueur et un diamètre qui réduisent légèrement (corrigés par ce qu’on appelle des valeurs de compensation) et coupe nettement moins bien qu’un outil neuf et de qualité ! En tenir compte dans les paramétrages

A partir de ces informations, il faut obtenir grâce à des abaques constructeur (de fraises) différentes informations :

- Une **vitesse de coupe (Vc)** exprimée en m/min
qui dépend du matériau à usiner et de la qualité d’alliage de l’outil
- Une **avance par dent (fz)** exprimée en mm
qui dépend du matériau à usiner ainsi que de la qualité d’alliage et diamètre de l’outil
- Un **coefficient d’avance ou d’engagement (k)**
qui dépend du matériau à usiner ainsi que de la qualité d’alliage et diamètre de l’outil

Et c’est là qu’il existe un énorme flou sur internet car cela dépend des fabricants qui donnent très peu d’informations pour les seuls outils de leur marque, et les abaques sont rares, incomplètes et très majoritairement dédiées à des métaux très spécifiques (mais rarement du bois). Enormément de sites web donnent des valeurs généralistes très différentes, parfois fantaisistes.

Aussi, toujours commencer par effectuer des tests et en réduisant les valeurs max issues de cette théorie.

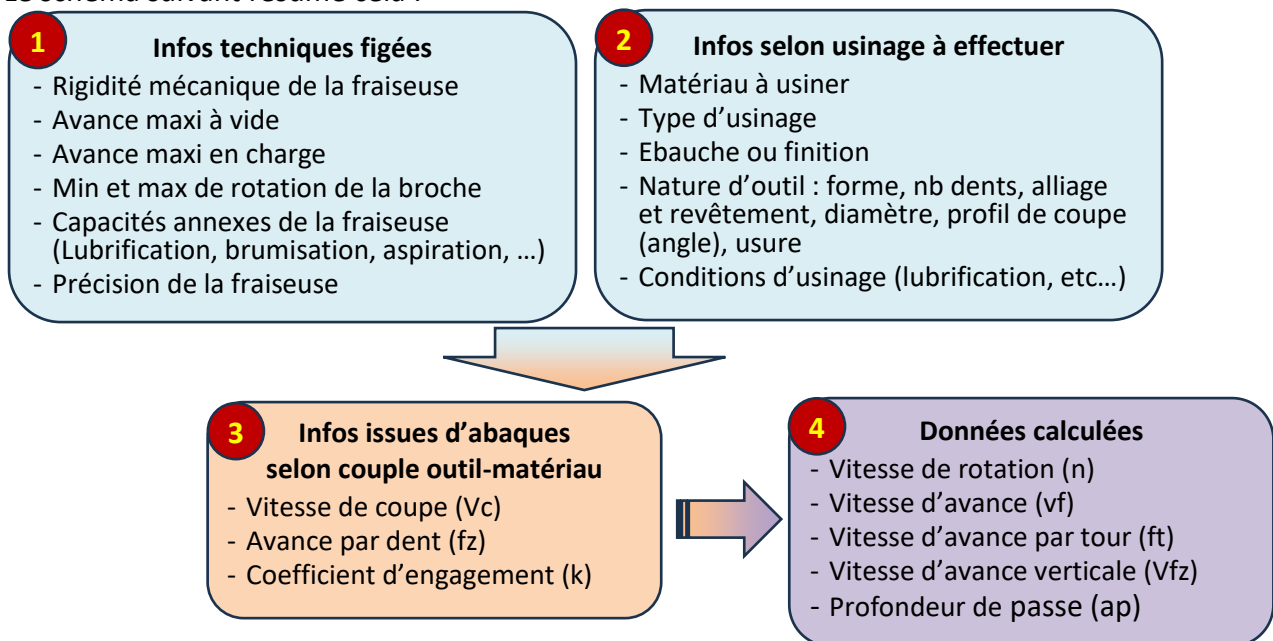
Pour terminer, l'ensemble de ces informations permettent de déduire par calculs les dernières valeurs de paramétrage dont les plus importantes sont :

- Une **vitesse de rotation de la broche (n)** exprimée en tr/min ou RPM (Rotation Par Minute)
Une **vitesse d'avance (vf)** exprimée en mm/min
- Une **vitesse d'avance par tour d'outil (ft)** exprimée en mm
Une **vitesse d'avance verticale (Vfz)** exprimée en mm/min
- Une **profondeur de passe (ap)** exprimée en mm

On le devine ici, ce sujet est très loin d'être simple et tout cela n'est pas à prendre à la légère, car de mauvaises conditions de coupe provoquent :

- Une mauvaise qualité de la surface usinée
- Une usure rapide des outils, si ce n'est la casse
- Une usure accélérée de la broche, notamment les roulements et bagues
- Une usure accélérée de la machine (moteurs, coupleurs et vis)

Le schéma suivant résume cela :



Choix de la fraise

Il est déterminé en premier lieu par le type d'usinage. Le lien ci-après donne une assez bonne idée des types d'usinages et est intitulé « *Comment choisir votre opération de fraisage : Autodesk Fusion360 FAO - Guide des opérations de fraisage* »

https://www.mekanika.io/fr_BE/blog/apprentissage-1/comment-choisir-votre-operation-de-fraisage-39

Au-delà de la forme, il existe beaucoup de types de fraises, et leurs caractéristiques ne sont pas nécessairement les mêmes d'un fabricant à l'autre. Le lien ci-après permet d'avoir une bonne idée des différents types des fraises et alliages/revêtements les constituant, intitulé « *Guide de sélection pour fraises CNC : Comment choisir la bonne fraise pour ma machine CNC* »

https://www.mekanika.io/fr_BE/blog/apprentissage-1/guide-de-selection-pour-fraises-cnc-4

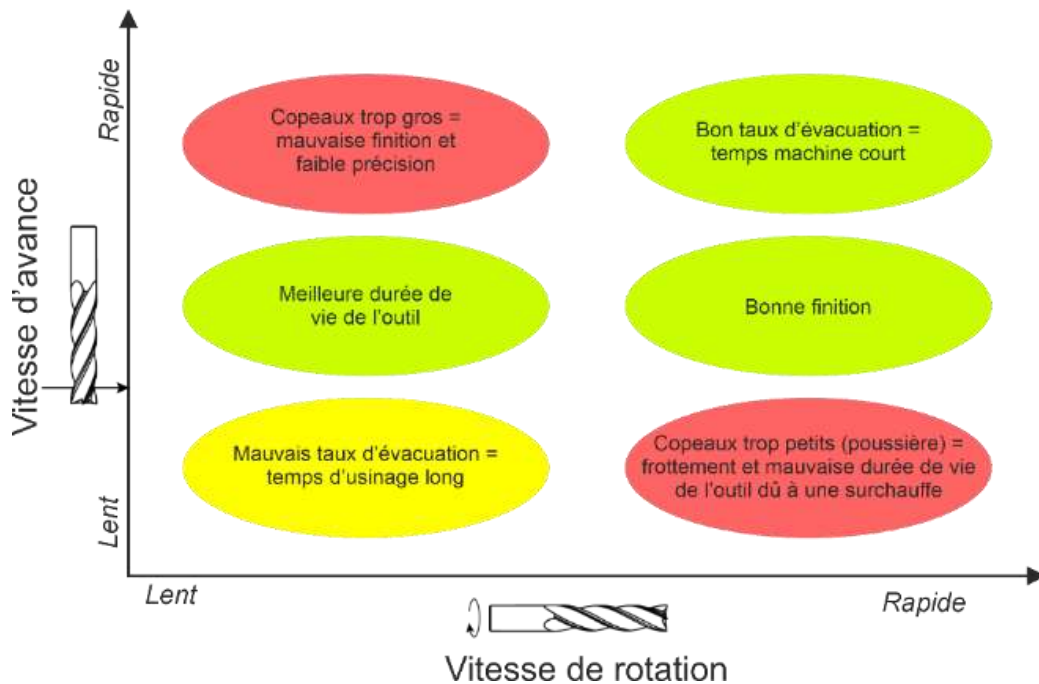
Pour choisir le nombre de dents, le tableau ci-après est un guide précieux :

Nbre dents	Avantages	Inconvénients	Usages typiques	Matériaux adaptés
1	- Gros copeaux - Réduit le bourrage - Permet des avances élevées à basse vitesse	- Moins bonne qualité - Usinage plus bruyant	- Découpe rapide - Passes profondes	- Plastiques, aluminium, bois tendres
2	- Bon compromis entre évacuation et qualité - Usinage plus rapide	- Moins performante sur passes profondes	- Ebauche/semi-finition - Passes moyennes	- Aluminium, bois durs, plastiques renforcés
3	- Bonne résistance - Meilleure qualité	- Peu adapté aux passes très profondes dans matériaux collants	- Alliages non ferreux - Finition légère	- Aluminium, laiton, cuivre, bois durs
4 et +	- Meilleure qualité - Usinage haute performance - Bonne tenue dans matériaux durs	- Mauvaise évacuation des copeaux dans passes profondes - Nécessite gestion optimale du refroidissement	- Finition - Passes légères et précises	- Acier, inox, titane, métaux durs

Calculs et déduction des paramètres de fraisage

Ce chapitre ne traite que des paramètres et calculs spécifiques aux fraisages, pas aux perçages, taraudages ou autres types d'usinage.

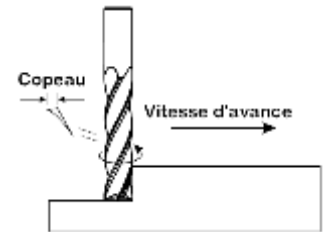
Les vitesses de rotation (speed) et d'avance (Feed) correctes sont calculées sur la base de formules (voir plus loin).



Elles correspondent au point idéal (en vert) selon votre objectif : qualité de finition, rapidité ou durée de vie de l'outil. Trois zones problématiques sont à éviter (en jaune et rouge).

D'autres notions (qu'il est judicieux de connaître) viennent ensuite affiner les paramétrages si besoin.

Le copeau est le morceau de matière coupé par une dent. Il dépend de l'**avance par dent (fz)** qui est la distance parcourue entre deux passages de dent. Elle détermine l'épaisseur du copeau (chip thickness) à ne pas confondre avec la **quantité de matière** (chip load) enlevée par l'outil qui dépend en plus de la **profondeur de coupe** et de la **largeur de coupe**. L'**avance par tour (ft)** est la distance parcourue pour un tour d'outil.



Attention : Sur internet, l'avance par tour est très/trop souvent associé au chip load alors que ce n'est pas exactement la même chose.

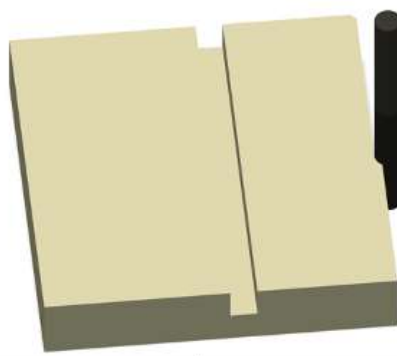
Une bonne pratique est qu'**il faut faire des copeaux, pas de la poussière**. La poussière rebouche le passage d'usinage, régénère de la matière qui gêne l'avance et chauffe l'outil !

L'engagement de l'outil

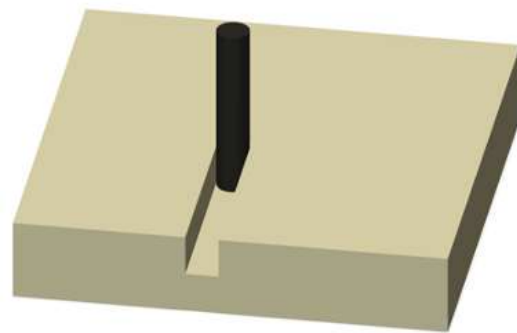
Il décrit l'étendue avec laquelle l'outil de coupe entre en contact avec le matériau pendant l'usinage, que ce soit en largeur ou en profondeur :

- L'engagement radial k_r (ou largeur d'engagement)
- L'engagement axial k_a (ou profondeur d'engagement)

La combinaison des deux définit la charge de coupe de l'outil (en Newtons ou N/m)



Faible taux d'engagement



Haut taux d'engagement

En fraisage d'ébauche, on utilise des engagements plus élevés, ce qui permet d'enlever plus rapidement une plus grande quantité de matière, au détriment de la qualité et de la chauffe d'outil.

En fraisage de finition, l'engagement est plus faible pour garantir une finition précise et une qualité de surface élevée, plus lentement mais sans surchauffe de l'outil.

Sans rentrer dans des calculs spécifiques pour k_a et k_r , le taux d'engagement général se définit par un coefficient k qui dépend donc de la matière à usiner, du diamètre d'outil mais aussi de la qualité attendue (ébauche ou finition).

Le tableau ci-après donne une idée de valeurs empiriques de ce coefficient k pour une fraise droite :

Matière	Coef k avance par dent selon diamètre d'outil (d en mm)				
	2mm	3mm	4mm	5mm	6mm
Bois tendre	0.5	0.8	1	1	1
Bois durs	0.2	0.4	0.5	0.6	1
Aluminium	0.1	0.2	0.25	0.35	0.35

La profondeur de passe

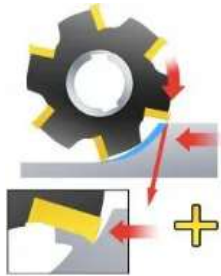
La profondeur de passe est la hauteur optimale de pénétration de la fraise dans la matière. Elle varie selon la vitesse de coupe, la vitesse d'avance de l'outil mais aussi selon le coefficient d'engagement.

Elle se calcule sur la base d'une formule (voir plus loin) mais voici une règle empirique simple pour vous aider dans les cas standards :

- Matière très tendre : passe de 2x le diamètre de la fraise.
- Matière tendre : passe de 1x le diamètre de la fraise.
- Matière intermédiaire : passe de 0.5x le diamètre de la fraise.
- Matière dure : passe de 0.2x le diamètre de la fraise.

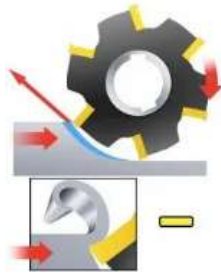
Notion de Fraisage en opposition (à privilégier) vs Fraisage en avalant

Pour réussir un fraisage, il faut tenir compte du type de contact entre les arêtes et la matière, en entrée comme en sortie. L'avance dans la pièce par rapport au sens de rotation de la fraise a un impact sur l'entrée en coupe et la sortie de coupe.



Fraisage en avalant = l'outil avance dans le sens de sa rotation.

Les copeaux sont plus épais en entrée qu'en sortie. Ceci permet d'empêcher l'arête de frotter contre la surface et de subir un brunissage avant de s'engager en coupe



Fraisage en opposition = l'avance de l'outil est opposée au sens de rotation de l'outil.

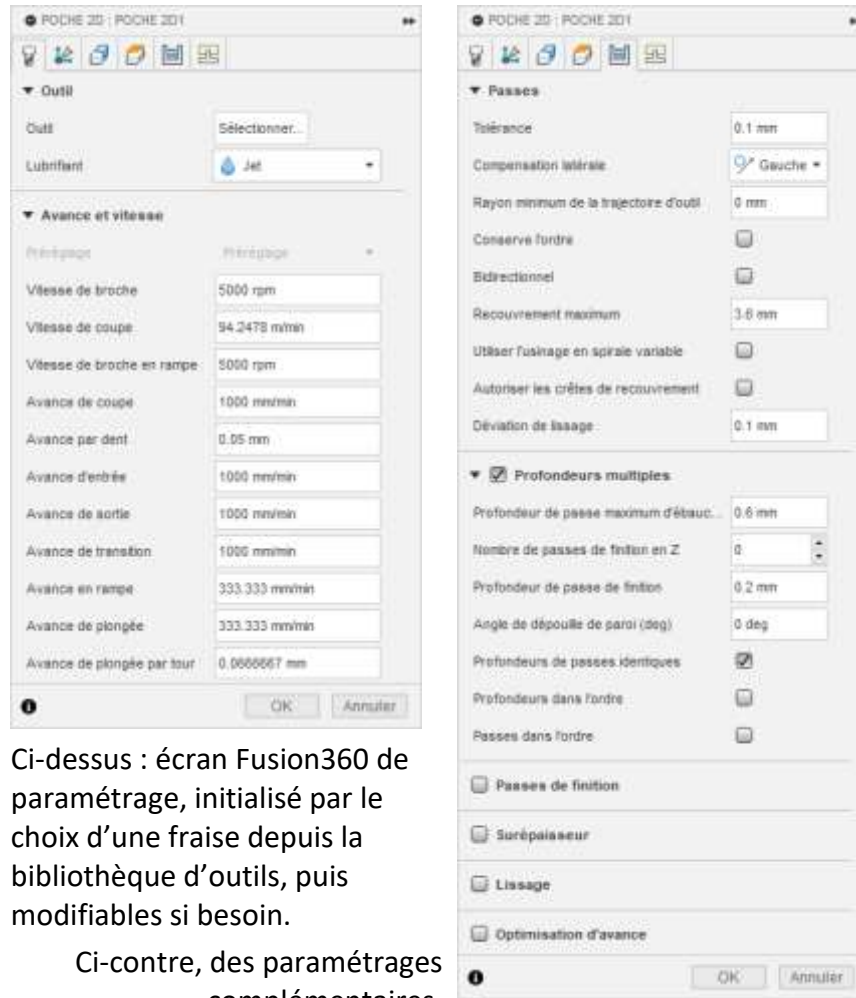
L'épaisseur des copeaux commence à zéro et augmente vers la fin de la coupe élevant de fait la température et limitant la durée de vie de l'outil.

Les formules usuelles :

Vitesse de rotation de broche	n	tr/min	$n = \frac{1000 * Vc}{\pi * D}$
Vitesse d'avance	Vf	mm/min	$Vf = n * Fz * Z$
Vitesse d'avance en Z	Vfz	mm/min	$Vfz = \frac{Vf}{2}$
Avance par dent	fz	mm	$fz = \frac{Vf}{Z * n} \text{ ou } fz = \frac{ft}{Z}$
Avance par tour	ft	mm	$ft = fz * Z \text{ ou } ft = \frac{Vf}{n}$
Profondeur de passe	ap	mm	$ap = k * D$

- D : diamètre de l'outil
- Z : nombre de dents de la fraise
- k = coefficient d'effort de coupe

NB : Fusion exploite les formules de calculs. Ne pas hésiter à baisser les valeurs



Ci-dessus : écran Fusion360 de paramétrage, initialisé par le choix d'une fraise depuis la bibliothèque d'outils, puis modifiables si besoin.

Ci-contre, des paramètres complémentaires.

Site donnant de nombreuses formules selon les types d'usinages (niveaux Expert++) : <https://www.sandvik.coromant.com/fr-fr/knowledge/machining-formulas-definitions/milling-formulas-definitions>

Cela montre la complexité du sujet et pourquoi il existe un métier de fraiseur !

Mais pas de panique, pour des usinages de travaux amateurs, la seule compréhension de ces notions permettra d'aboutir à des résultats corrects après quelques tests préalables.

Annexe 4 : Le G-code et le M-code

Un fichier d'usinage généralement produit par les logiciels de FAO, bien plus rarement manuellement, est constitué d'un ensemble de séquences de commandes de G-code et de M-code.

- Le G-code (ou code G) : dirige les mouvements géométriques de la machine. Ces commandes commencent par la lettre G
- Le M-code ou code M, ou code divers : dicte les mouvements non géométriques de la machine ou des actions spécifiques comme la marche/arrêt de la broche, diverses vitesses, l'activation/désactivation de flux de refroidissement, etc...

Un fichier d'usinage est un fichier éditable avec n'importe quel éditeur de texte :

- Chaque ligne, également appelé bloc, contient une ou plusieurs commandes
Un bloc suit souvent un format standard :
 0. (Facultatif) N° de ligne sous la forme Nnn (entre 0 et 99999, sans les zéros non significatifs)
 1. Commande G ou M (voir ci-après)
 2. Paramètres de positionnement (X, Y, Z, I, J, K, etc.)
 - **X, Y, Z** : Coordonnées de déplacement sur les axes X, Y et Z, en absolu ou relatif
 - **I, J, K** : Coordonnées relatives pour spécifier le centre d'un arc (mvts circulaires)
 3. Paramètres d'avance F et de vitesse S
 - **F** : Vitesse d'avance (en mm/min ou mm/tour, selon le mode sélectionné)
 - **S** : Vitesse de rotation de la broche (en tours par minute, RPM)
 4. Fonctions supplémentaires
 - **P, L, R** : Ces lettres peuvent aussi être utilisées dans des commandes spécifiques.
 - **P** : Pour définir une durée ou un temps d'attente
 - **L** : Pour répéter une commande un certain nombre de fois
 - **R** : Pour définir un rayon d'arc ou de mouvements circulaires
- Dans une ligne, ce qui suit un point-virgule ou qui est encadré par des parenthèses est considéré comme un commentaire
- On peut avoir des lignes vides pour une meilleure lisibilité
- Il est possible de définir des variables et la valeur associée, variables réutilisables par ailleurs dans le programme
- Des crochets « [» et «] » encadrent les formules de calcul qui s'effectuent avec les opérations de base et quelques fonctions mathématiques. Les parenthèses normalement utilisées pour les calculs sont à remplacer également par des crochets
- Il se termine par un code d'arrêt (M30) ou un symbole de terminaison.

Bien que certains logiciels soient en mesure de le faire, Mach3 ne gère pas les boucles, les tests conditionnels, etc... mais il est toutefois possible de définir des sous-routines internes et/ou externes.

Exemple d'un bloc de code et interprétation : **G1 X50 Y50 Z-5 F200 S1200**

- **G1** : Effectue un déplacement linéaire avec usinage à vitesse contrôlée
- **X50 Y50** : Se déplace jusqu'à la position X=50 et Y=50)
- **Z-5** : Descend de 5 mm sur l'axe Z
- **F200** : À une vitesse d'avance de 200 mm/min
- **S1200** : À une vitesse de rotation de la broche de 1200 RPM

Le but n'étant pas ici de faire un cours, référez-vous à internet pour y trouver des guides et tutos si nécessaire.

Un excellent document en anglais intitulé « *Mach3-GCode-Language-Reference.PDF* » est téléchargeable ici : <https://machmotion.com/blog/knowledge-g-code/>

Une aide est accessible depuis tous les onglets de Mach3 par les boutons Gcode et Mcode en bas à gauche, à côté du bouton d'Arrêt d'urgence.

G-code	Fonctions	G-code	Fonctions	M-code	Fonctions	A	Positionnement axe A
G0	Déplacement rapide	G52	Déplacement en coordonnées absolues	M0	Arrêt Programme	B	Positionnement axe B
G1	Déplacement à vitesse d'avance	G54 à G59	Sélection des origine pièces (axes 1 à 6)	M1	Arrêt Programme optionnel	C	Positionnement axe C
G2	Déplacement circulaire sens horaire	G61	Mode de déplacement en exact stop (arrêt exact)	M2	Fin de Programme	D	Numéro d'outil dans une compensation G41 / G42
G3	Déplacement circulaire sens anti-horaire	G62	Mode de déplacement à vitesse contrôlée	M3 / M4	Marche Broche sens horaire / anti-horaire	F	Vitesse d'avance
G4	Pause programmée	G70	Cycle de tarausage sans lubrification	M5	Arrêt Broche	G	Voit table G-codes
G10	Réglage des zéros et des corrections d'outil	G71	Fin du mode cycle	M6	Changement d'outil (par deux macros)	H	Sélection du numéro de correction d'outil (avec G43)
G11	Broche circulaire dans horaire	G72	Cycle de tarausage	M7	Marche Brouillard d'huile (Mist)	I	Offset axe X pour un arc
G12	Broche circulaire dans anti-horaire	G73	Cycle de tarausage avec pause	M8	Marche Lubrification abondante (Flood)	J	Offset axe X dans un cycle G87
G16	Mode coordonnées cartésiennes	G74	Cycle de tarausage avec lubrification	M9	Arrêt des Lubrifications	K	Offset axe Y pour un arc
G17	Mode coordonnées polaires	G75	Cycle de tarausage rapide à double pas alternatif	M30	Fin de Programme et retour au début	L	Nombre de répétitions dans un cycle
G18	Sélection du plan X-Y	G76	Cycle d'alésage sans pause, sortie à vitesse d'avance	M47	Répétition Programme depuis première ligne	E	Activer le forçage d'avance
G19	Sélection du plan Y-Z	G80	Cycle d'alésage avec pause	M48	Activer le forçage d'avance	M	Voir table M-codes
G20	Mode pouces	G81	Cycle d'alésage, sortie manuelle	M49	Désactiver le forçage d'avance	N	Numéro de ligne
G21	Mode millimètres	G82	Cycle d'alésage, pause, sortie à vitesse d'avance	M99	Appel de sous routine	O	Étiquette de sous-routine
G28	Retour à l'origine machine absolu (paramètres G91 à G94)	G83	Mode forçage alternatif			P	Temps de pause programme (avec G4)
G29	Retour à l'origine machine alternatif (paramètres G91 à G94)	G84	Mode forçage alternatif			T	Sélection d'outil
G28.1	Déplacement d'axe	G85	Mode forçage alternatif			X	Positionnement axe X
G31	Déplacement en mode tarausage (axes 1 à 6)	G86	Mode forçage alternatif			Y	Positionnement axe Y
G41	Annulation de la compensation de rayon d'outil	G87	Mode forçage alternatif			Z	Positionnement axe Z
G42	Compensation de rayon d'outil à gauche	G88	Mode forçage alternatif				
G43	Compensation de rayon d'outil à droite	G89	Mode forçage alternatif				
G54	Sélection d'une correction d'outil (G43) H= index d'outil	G90	Mode d'avance par minute (en mm/min)				
G55	Annulation de la correction d'outil	G91	Mode d'avance par minute (en mm/min)				
G59	Annulation de tous les facteurs des pièces	G92	Définition de la position actuelle (réinitialisation de coordonnées)				
G90	Programmation des pièces d'outils	G94	Mode d'avance par minute (en mm/min)				

Aide G-code disponible dans Mach3

Aide M-code disponible dans Mach3

Quelques commandes avec exemple associé :

Cmde	Description et exemples
G0	Déplacement rapide (sans usinage) G0 X10 Y10 : Se déplace rapidement vers la position X10, Y10
G1	Déplacement linéaire avec usinage (vitesse d'avance contrôlée) G1 X20 Y20 F100 : Déplacement linéaire vers (X20, Y20) avec une vitesse d'avance de 100 mm/min
G2	Arc horaire G2 X30 Y30 I5 J5 : Effectue un arc horaire jusqu'à (X30, Y30), avec un rayon de 5 mm basé sur les coordonnées I et J
G4	Pause (délai) G4 P2 : Effectue une pause de 2 secondes
G28	Retour au Zéro machine
G30	Retour à une position d'origine secondaire
G40	Annule la compensation de rayon de l'outil
G54	Retourne au point de référence défini par le code
-	G54 : Va en référence définie par G54 (Zéro pièce)
G59	
G90	Mode de positionnement absolu = relatifs à l'origine (0,0)
G91	Mode de positionnement incrémental = relatifs à la position actuelle
G92	Définition de la position actuelle (réinitialisation de coordonnées) G92 X0 Y0 : Définit la position actuelle comme (0,0)
G94	Mode d'avance par minute (en mm/min) G94 F100 : Définit la vitesse d'avance à 100 mm/min
M3	Mise en rotation du moteur de broche dans le sens horaire M3 S1200 : Démarre la broche dans le sens horaire à 1200 RPM
M5	Arrêt du moteur de broche
M6	Changement d'outil M6 T1 : Change l'outil pour l'outil numéro 1

M7	Activation du refroidissement léger (brume)
M8	Activation du refroidissement Jet (liquide de coupe)
M9	Désactivation du refroidissement
M30	Fin de programme
T	Sélection d'outil (compris entre 1 et 254 inclus) T126 : Sélectionne l'outil n° 146
F	Vitesse d'avance (en mm/min ou mm/tour, selon le mode choisi) F100 : Définit la vitesse d'avance à 100 mm/min
S	Vitesse de rotation de la broche (en RPM) S1500 : Définit la vitesse de la broche à 1500 RPM
I	Coordonnée relative pour les arcs (cercle), spécifie le décalage en X I5 : Définit un décalage de 5 mm dans l'axe X pour les arcs
J	Coordonnée relative pour les arcs (cercle), spécifie le décalage en Y J5 : Définit un décalage de 5 mm dans l'axe Y pour les arcs
L	Spécifie une valeur de répétition ou de nombre d'itérations L10 : Exécute l'opération 10 fois
R	Rayon de l'arc (pour G2 et G3) R5 : Définit un rayon de 5 mm pour un arc

Annexe 5 : La fraiseuse EAS(Y) 600 KG ECO

Cette fraiseuse de la Sté Allemande EAS (<https://easgmbh.de>) fait partie de l'ancienne série EAS(Y).

Sa robustesse permet l'usinage d'une grande variété de matériaux tels que le bois, le plastique, le PRV, le PRFC, le plexiglas, POM, l'aluminium et le laiton.

Elle est équipée d'une broche de 65mm pour 1500 watts à faible bruit refroidie par air, pilotée par un système à fréquence variable lui permettant des vitesses de 4000 à 24000 Tr/min. Elle dispose d'un système de pinces de type ER11 allant de 1,5mm à 8mm (sauf 7,5mm) en incluant 1/8^{ème} de pouces (soit 3,175mm) et 1/4 de pouces (soit 6,35mm).



Architecture	Machine à portique 3 axes avec plateau fixe
Plateau de serrage X, Y	Plateau aluminium de 1450 x 640mm avec rainures de fixation M5
Plaque de bridage X, Y	Plaque MDF de 1200 x 600mm avec inserts type M8 Surface correspondant exactement aux courses min et max en X et Y de la machine (surface accessible par la pointe d'un outil) + 1cm à gauche et à droite
Zone de bridage X, Y	Zone max entre points de bridage les plus éloignés : 1136 x 536mm
Zone d'usinage X, Y	Max 1200 x 600mm mais tenir compte du bridage de la pièce à usiner
Moteurs pas à pas	Nema 23HS33-4008D sur X, Y et Z
Axes X et Y	Guidage sur rails linéaires (2 en X et 2 en Y) de précision durcis et à faible entretien avec chariots de guidage (4 en X et 2 en Y) à triple recirculation de billes Tige filetée trapézoïdale au pas de 10 mm Equipés d'interrupteurs de référence
Axe Z	Guidage sur 2 rails linéaires de précision durcis et à faible entretien avec 2 chariots de guidage à recirculation de billes Tige filetée trapézoïdale au pas de 6 mm et écrou autoréglable Course max brute 170mm, réglage à 150mm max (due au martyr) Equipé d'interrupteur de référence
Support de broche	Support pour broche de 65mm
Précision	Erreur de positionnement maxi $\pm 0,1$ mm Résolution technique X / Y 0,005 mm Résolution technique Z 0,003 mm Précision de répétition $\pm 0,025$ mm
Vitesses	A vide : 90mm/s soit 5400 mm/min sur les axes X et Y En charge : - Réglage à 4000 mm/min (soit 66,6mm/s) sur X et Y - Réglage à 2000 mm/min (soit 33,3mm/s) sur Z
Divers	Structure en profilés industriels extrudés en aluminium, plaques aluminium de 10mm et cadre en acier Chaînes de guidage pour les câbles Peut recevoir un 4 ^{ème} axe (rotatif par exemple) Peintures anodisées / thermolaquées