

Les occasions d'avoir des billes à usiner, le plus souvent à percer, ne manquent pas en modélisme, comme par exemple la réalisation d'un régulateur à boules (*flyball governor*), un corps de vanne globe en mécano-soudure, des boules pour poteaux de garde corps, des chapes à rotule...

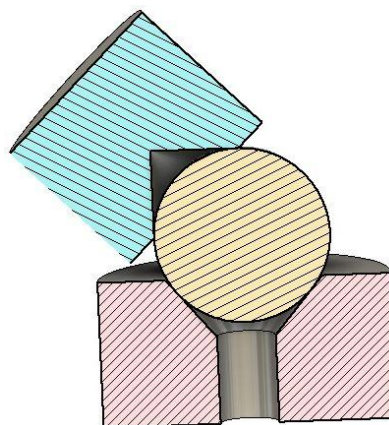


Dans ce document nous présentons les méthodes issues de notre pratique amateur.

1. UN PEU DE GÉOMÉTRIE NE NUIT PAS..

1.1. Centrage d'une bille

Si l'on pose une bille sur trou circulaire de taille inférieure à son diamètre équatorial, elle va s'y poser et se centrer. Dans la pratique on réalisera un évidement conique, la bille venant se loger et se centrer dans cet "entonnoir". Ainsi, un trou alésé dont on chanfreine la circonférence remplit les contraintes de centrage d'une bille.



On voit sur l'épure (*page suivante*) que les axes des deux cylindres sont concourants au centre de la sphère. C'est ce type de propriété que l'on va utiliser pour fabriquer l'outillage qui maintiendra et centrera la bille.

La précision de centrage de la bille va dépendre de la précision de la sphère, mais les billes utilisées en mécanique ont une précision très élevée. En fait, la précision de centrage de la sphère va surtout dépendre de la concentricité de l'axe du cylindre et de l'axe du cône de

Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLIO 1/10 - Fév. 2024

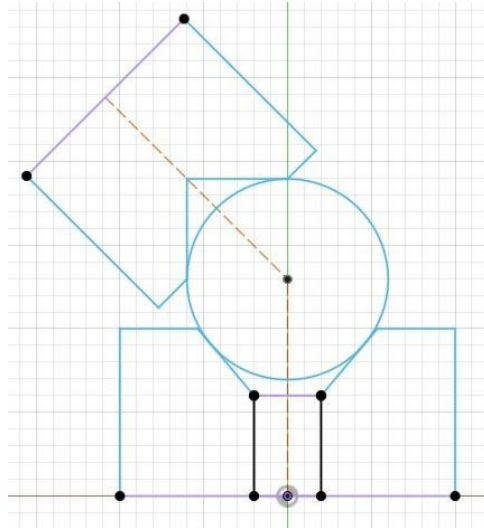

Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE PERÇAGE BILLES

FPe39

chanfreinage. Il faut aussi prendre en considération l'état de surface (usure) du perçage et du chanfrein.



Le matage des surfaces de contact lors du serrage sont à prendre en compte, et en ce sens en usage régulier il vaudra mieux utiliser de l'acier.

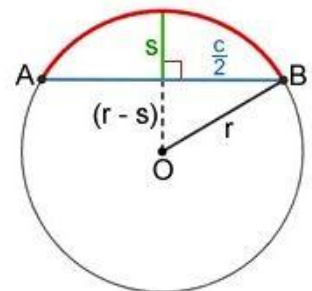
1.2. Relations dans le cercle

Supposons que le concepteur du modèle précise : dans une bille de diamètre 12mm fraisez la calotte supérieure pour obtenir une surface d'un diamètre de 9,5mm ± 0,10mm.

Bon, déjà ce n'est pas super facile de détecter précisément le sommet d'une sphère, mais la vraie question est : de combien je vais devoir descendre ma fraise ?

Il existe des relations mathématiques entre les différents composants d'un cercle : rayon r , corde c , flèche s . On retrouve facilement la formulation de ces relations sur Internet. Dans notre cas, connaissant le rayon de la bille $r = \text{Diamètre}/2 = 6 \text{ mm}$ et la corde $c = 9,5\text{mm}$ on applique la formule suivante :

$$s = r \pm \sqrt{r^2 - \frac{c^2}{4}}$$



La formule ci-dessus donne la petite flèche si on applique la soustraction et la grande flèche (celle sous AB) en appliquant l'addition d'où le signe \pm

Notons que connaissant s et r on saurait retrouver c par la formule répondant alors à la question : si je fraise la calotte supérieure d'une épaisseur s quel sera le diamètre c du méplat obtenu ?

$$c = 2 \cdot \sqrt{2rs - s^2}$$

La racine carrée se trouve sur toutes les calculettes en appuyant sur la touche



Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLIO 2/10 - Fév. 2024

Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE PERÇAGE BILLES

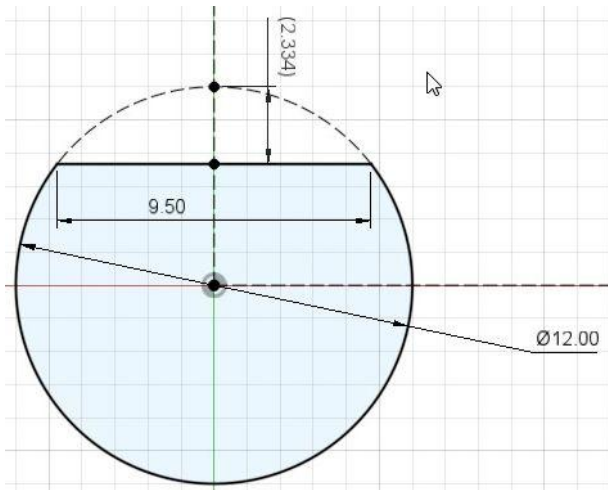
FPe39

Dans ce qui suit on note l'opérateur racine carrée par $(xxx)^{0,5}$.

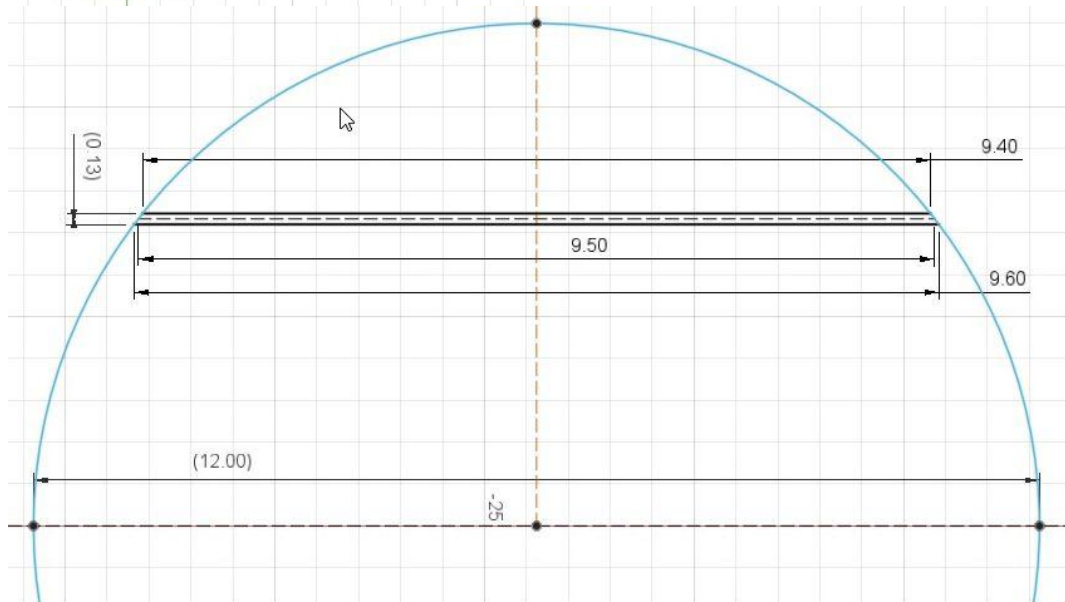
$$s = 6 - (6 * 6 - 9,5 * 9,5 / 4)^{0,5} = 6 - (36 - 22,56)^{0,5} = 6 - (13,44)^{0,5} = 6 - 3,67 = 2,33 \text{ mm.}$$

On descendra la fraise de 2,33mm.

Attention cependant car la tolérance est de $\pm 0,10\text{mm}$ et la formule qui donne la corde c en fonction de la flèche s (*descente de la fraise*) n'est pas linéaire. Plus on se rapproche du diamètre équatorial plus de faibles variations de s , induisent de fortes variations du diamètre.



L'épure ci-contre illustre la descente à prévoir
L'épure ci-après montre que pour rester dans la tolérance $\pm 0,10\text{mm}$, les erreurs cumulées de recherche de sommet et de descente devront être inférieures à 0,13mm.



Dans la formule donnant s en fonction de r et c , on retrouve le résultat par calcul en remplaçant, c par $c + \text{tolérance}$ et $c - \text{tolérance}$, soit dans notre exemple 9,6 et 9,4 mm. Pour 9,6 mm on aura $s_{\text{max}} = 2,40$ mm et pour 9,4mm on aura $s_{\text{min}} = 2,27$ mm. La descente s devra satisfaire $2,27 < s < 2,4$ mm.

Question : de combien s'enfonce une bille placée dans un cône ? Réponse en Annexe car il y a quelques calculs à faire.

Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLI0 3/10 - Fév. 2024



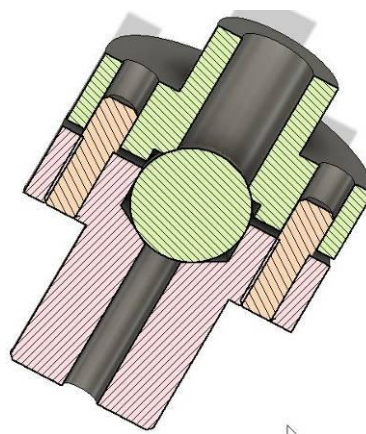
Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

2. MANDRIN POUR LE PERÇAGE CENTRÉ DE BILLES

Nota : le laiton et le bronze ont des coefficients de frottement très faibles. Il convient d'avoir un serrage énergique pour contrecarrer le couple d'entraînement de l'outil. Pour le laiton c'est pire car nous utilisons en général des forets pour l'acier dont les goujures sont très inclinées. Ainsi le foret a une fâcheuse tendance à se visser dans la pièce et à l'entraîner en rotation. Les forets spéciaux laiton ont une géométrie particulière avec des goujures presque verticales.

Le perçage s'effectue au tour, mais on peut l'envisager sans problème sur fraiseuse. Des plans servant d'exemple sont intégré plus loin dans le texte.

Ce type de mandrin est plutôt destiné aux billes de taille moyenne disons supérieures à 10 mm. Celui représenté est prévu pour une bille de taille nominale $D = 12\text{mm}$.



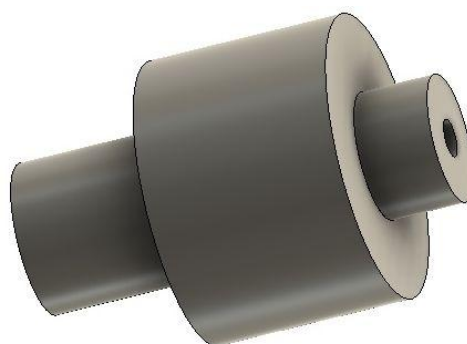
Comme figuré sur la coupe schématique ci-dessus, il suffit de quelques dixièmes de millimètre de jeu entre les deux plateaux pour obtenir un serrage efficace.

2.1. Notes d'atelier

Lorsqu'une précision modérée est nécessaire la méthode suivante donne satisfaction, sans comparateur ni plateau diviseur.

1. Usinage au tour d'une ébauche dont, par tronçonnage, on tirera la base et le plateau de serrage. Penser à être généreux sur la longueur du rond brut pour prendre en compte les pertes par tronçonnage et dressage des faces.

On commence par dégager le tenon cylindrique de la base. On reprend la pièce par ce tenon et on dégage le tenon du plateau presseur. On perce un trou $D = 4.0$ mm qui servira à centrer l'ébauche en fraiseuse dans la phase suivante en s'aidant d'un rond de 4.0 mm pris dans la broche de la fraiseuse. L'ébauche ressemble à la figure suivante.



Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLIO 4/10 - Fév. 2024

 Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>



2. Reprise en fraiseuse avec un porte-pince carré. Centrage puis décalage en Y de 11mm. Pointage et perçage traversant à $D = 3,2$ mm. Après perçage le porte-pince est tourné de 90° et repositionné grâce à une butée d'étau.

Attention au piège : percer traversant $D = 3,3$ mm (et non à $D = 4,0$) pour pouvoir ensuite, après le tronçonnage, tarauder les trous des pions et des vis dans la base.

On laissera le dispositif en place, car après le tronçonnage sur le tour on aura de nouveau une reprise en fraiseuse.

3. On reprend au tour par le tenon côté base. Tronçonner, dresser la face de la base, mettre à la cote d'épaisseur finie. Percer traversant $D = 4,0$ mm, percer $D = 8$, percer $D = 12$ à la profondeur prévue. La pièce est suffisamment dimensionnée pour enlever de l'épaisseur si jamais le perçage est un peu trop profond. Sortir du tour.

Prendre le plateau de serrage par le tenon cylindrique. Percer $D = 8,0$ traversant, puis $D = 12$ mm.

Mettre la bille dans son logement de la base, appliquer sur le plateau de serrage afin de s'assurer que la bille porte bien et qu'il reste 0,5 à 1,0 mm d'écart entre le plateau de serrage et la base. Démontez le plateau de serrage du tour.

4. Remonter le plateau de serrage sur le porte-pince en fraiseuse. Percer les quatre trous des guides à $D = 4,0$ mm. Lors du montage et de l'ajustage final ceux-ci pourront être élargis à $d = 4,1$ mm si besoin est. Démontez du porte-pince.

Remonter la base. Tarauder les quatre perçages M4.

A l'aide d'une fraise $D = 4,0$ supprimer 4,0 mm de filetage. Faire un montage à blanc complet. Si tout s'assemble sans forcer on peut passer à l'assemblage définitif. Pour l'assemblage



Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45**



- VAPEUR 45 -

FOLIO 5/10 - Fév. 2024

 Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE PERÇAGE BILLES

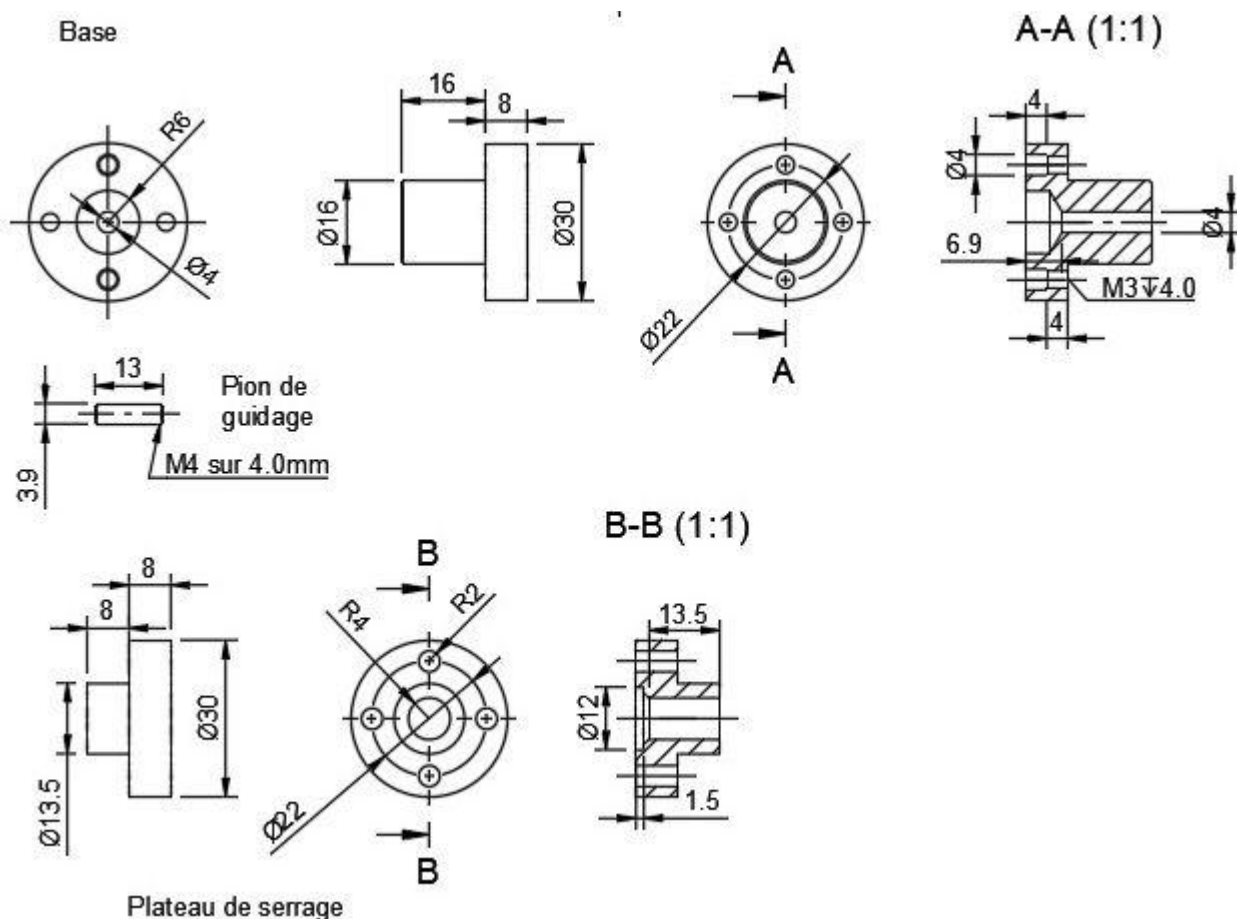
FPe39

définitif mettre en place les pions de guidage avec une goutte de frein filet faible sur le filetage.

Pour des diamètres différents de bille il faudrait recalculer des profondeurs de perçage et des largeurs de chanfrein. Cela peut se faire par approximation avec des usinages successifs. Il va sans dire que l'on devra alors prévoir des sur-longueurs.

L'affûtage standard d'une pointe de foret est de 118° , ce qui donnera un angle de chanfrein de 59° . On trouve des fraises à chanfreiner avec un angle de chanfrein de 45° ou 30° .

En plus d'immobiliser la bille par serrage, le plateau supérieur sert de canon de perçage. Pour des perçages occasionnels ou en diamètre peu courants, on fabriquera des bagues à insérer dans un plateau déjà existant. Le trou à l'arrière du tenon cylindrique de la base sert à passer un jet en laiton pour extraire la bille de son logement.



Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLI0 6/10 - Fév. 2024

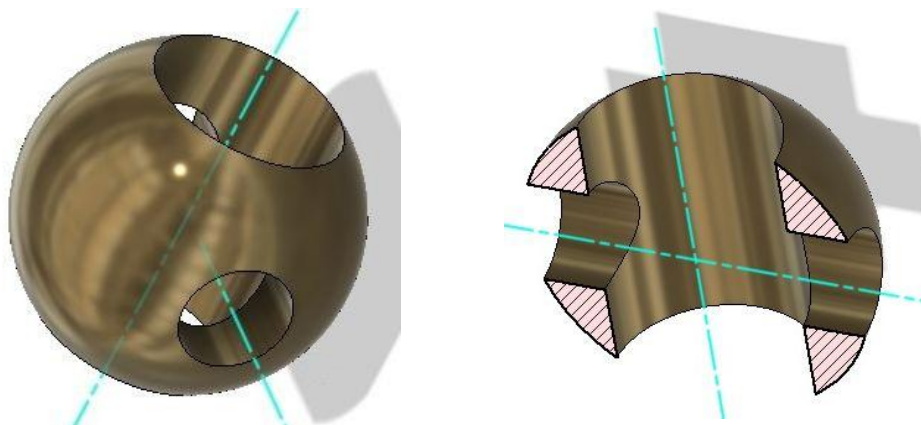
 Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

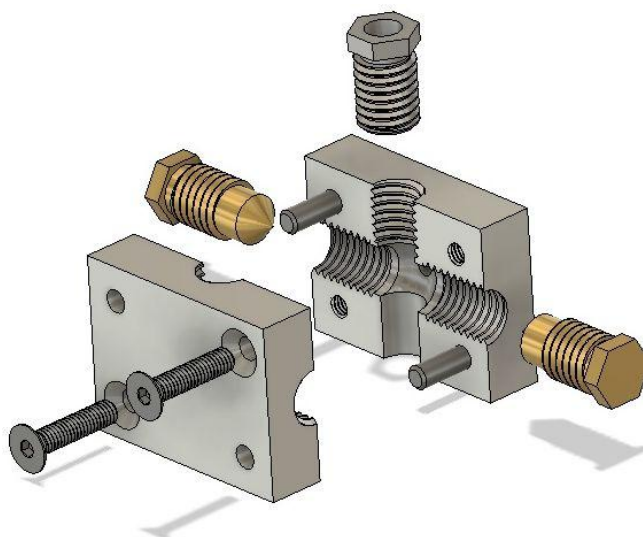
3. PERÇAGE CROISÉ

Le problème à résoudre est le classique perçage croisé en mécanique, perçage dont la précision sera celle de l'outillage de positionnement et de guidage.

L'objectif est d'effectuer deux perçages dont les axes ont un point d'intersection et font un angle prédéterminé, le plus souvent 90°.



On effectue le premier perçage en utilisant l'outillage précédemment présenté. Pour réaliser le second perçage on s'aide d'un gabarit. Celui-ci est adapté pour de petites séries, en effet, le temps passé par bille est assez élevé car il y a démontage et dévissage.



Ce gabarit demande du soin et de la précision, sinon il n'y a pas de difficulté particulière à le fabriquer. On y a d'autant plus intérêt que cet outillage est assez versatile et mérite d'être conservé. Il suffit d'un outillage par diamètre de bille car le reste, canon de perçage et taquet d'immobilisation, sont rapides à fabriquer et à adapter.

3.1. Notes d'atelier

Un plan est fourni à titre d'exemple en fin de chapitre.

Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLIO 7/10 - Fév. 2024

 Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE

PERÇAGE BILLES

FPe39

1. On part de deux ébauches rectangulaires d'épaisseur 10mm avec une surcote de +1,0 mm sur la longueur et sur la largeur. Coller ensemble les deux ébauches (*Superglue*) en s'efforçant de les superposer le plus exactement possible.

Percer les deux trous des vis $D = 3,3$ mm. Les tarauder M4. Fraiser les logements des têtes de vis. Attention, les logements fraisés doivent être parfaitement concentriques aux trous car ils forcent le positionnement de la vis. Personnellement je perce le trou et aussitôt après je fraise le logement de tête de vis. Insérer les vis en provisoire. Percer $D=3,8$ mm et aléser les logements des broches rectifiées $D = 4$ mm. Vérifier avec un rond rectifié que celui-ci coulisse parfaitement.

Mettre aux cotes pour obtenir un parallélépipède parfait. Repérer les positions et le sens de montage en mettant une marque de pointe sur chacune des deux pièces.

2. Exécuter le reste des usinages : logement du canon de perçage (perçage traversant-taraudage), logement des taquets anti-rotation (*mêmes opérations*). Enlever les vis. Chauffer le bloc pour décomposer la Superglue. Percer ou aléser pour supprimer le pas de vis sur le bloc avant.

3. Pour usiner le logement de la bille j'utilise une fraise à bout rond. Comme je fabrique ces gabarits dans des chutes d'aluminium j'utilise des fraises carbure rondes pour défonceuses à bois. Il y a un grand choix de diamètres, elles sont faciles à se procurer et sont assez économiques. Prendre des fraises à queue $D=8$ mm minimum ou $D=12,7$ mm pour les diamètres au-dessus de 15 mm. Elles fonctionnent parfaitement dans le laiton ou l'aluminium. Les fraises rondes ne coupent pas au centre car dans cette zone la vitesse périphérique est nulle à très faible, d'où le trou $D = 3$ mm. La descente doit être contrôlée et égale sur chaque joue sinon le perçage ne sera pas centré. C'est la seule difficulté de ce gabarit.



Si vous avez été un peu trop « généreux » dans la profondeur de perçage du logement de bille, il suffira d'araser d'une épaisseur égale sur chaque joue. Lorsque le serrage est convenablement obtenu serrer à fond les deux joues (sans la bille bien sûr). Repasser un alésoir dans les trous des deux broches de guidage.

4. Préparer les broches dans du rond rectifié. Les coller à la Loctite sur le bloc arrière (*demi-outillage n'ayant pas les logements des vis fraisées*). Les autres composants ne présentent pas de difficulté particulière.

Le plan qui sert d'exemple correspond à un outillage pour une bille de 12 mm de diamètre.

Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

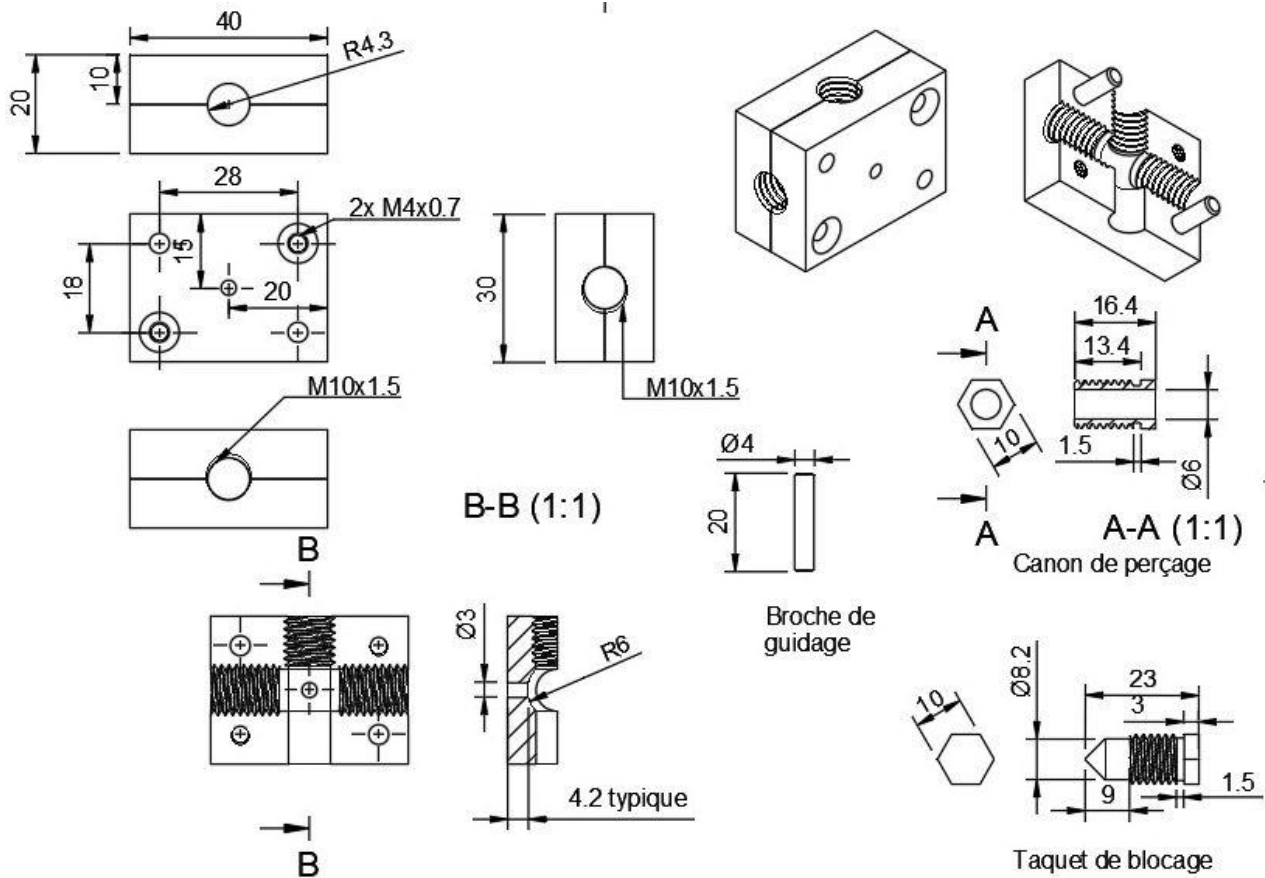
FOLIO 8/10 - Fév. 2024

Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE PERÇAGE BILLES

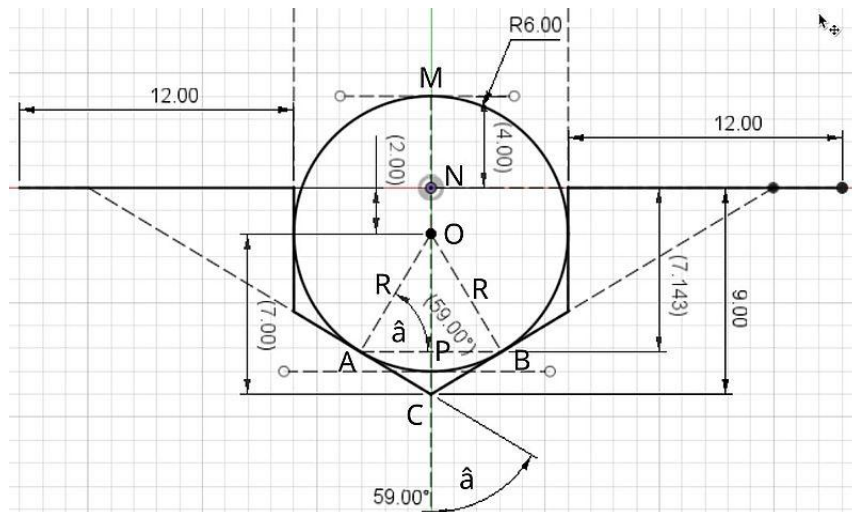
FPe39



4. ANNEXE

On se pose la question : de combien dépasse une bille placée dans un trou dont le fond est conique ?

Dans le cas du mandrin de perçage sur le tour cela permet de savoir de combien il faut percer le plateau de serrage pour avoir un jeu donné, par exemple 0,5mm.



Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLI0 9/10 - Fév. 2024



Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE PERÇAGE BILLES

FPe39

Le rayon de la bille, la profondeur du cône et l'angle de cône sont supposés connus.

Exemple : $R = 6,0 \text{ mm}$; $NC = 9,0 \text{ mm}$; $\hat{\alpha} = 59^\circ$

Les rayons OA et OB sont perpendiculaires aux génératrices du cône.

L'angle **OAB** est égal au demi-angle du cône, soit 59° dans notre exemple. De même l'angle **ACP** vaut 59° . La bille dépasse de **MN**.

MN = OM-NO = R-NO

NO = NC-OP-PC ; $OP = R \cdot \sin(\hat{\alpha})$;

AP/PC = $\tan(\hat{\alpha})$ d'où **PC** = $AP/\tan(\hat{\alpha})$ et comme **AP** = $R \cdot \cos(\hat{\alpha})$ alors **PC** = $R \cdot \cos(\hat{\alpha})^2/\sin(\hat{\alpha})$

donc **NO** = $NC - R \cdot (\sin(\hat{\alpha}) + \cos(\hat{\alpha})^2/\sin(\hat{\alpha}))$

MN = $R - [NC - R \cdot (\sin(\hat{\alpha}) + \cos(\hat{\alpha})^2/\sin(\hat{\alpha}))]$

Exemple numérique

$\hat{\alpha} = 59^\circ$ (demi-angle au sommet d'un foret en affûtage standard) ; $\sin(\hat{\alpha}) = 0,857$; $\cos(\hat{\alpha}) = 0,515$; ces valeurs s'obtiennent sur une calculette en mode scientifique.

NO = $9 - 6 \cdot (0,857 + 0,515 \cdot 0,515 / 0,857) = 9 - 6 \cdot 1,167 = 2,0$

MN = $6 - 2,0 = 4,0 \text{ mm}$

Pour un demi-angle de cône de 45° , avec les autres valeurs inchangées, on trouverait **MN** = 5,485 mm.

Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45**



- **VAPEUR 45** -

FOLIO 10/10 - Fév. 2024

 **Villeneuve d'Ascq**
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>