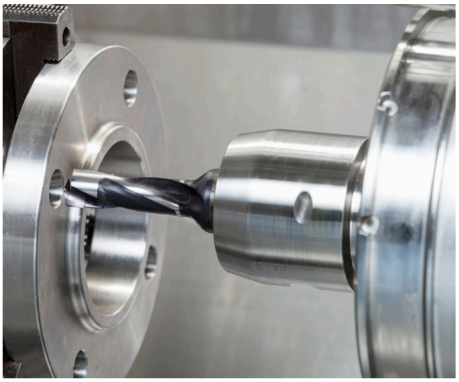
Document extrait du manuel de formation SANDVIK

Perçage

Le perçage concerne des méthodes d'usinage de trous cylindriques dans des pièces à l'aide d'outils de coupe

- Théorie E 4
- Procédure de sélection E 15
- Vue d'ensemble du système E 20
- Mise en œuvre E 26
- Tolérances et qualité de trou E 38
- Résolution des problèmes E 43

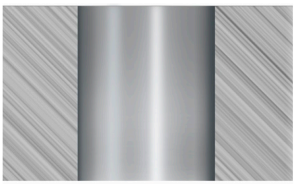
Process de perçage



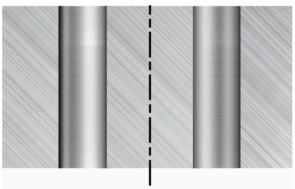
- Le foret est à l'intérieur de la pièce, il n'est pas visible pendant l'opération.
- Les copeaux doivent être contrôlés.
- L'évacuation des copeaux et critique. Elle influe sur la qualité du trou, la durée de vie de l'outil et la fiabilité.

Quatre méthodes de perçage courantes

Perçage



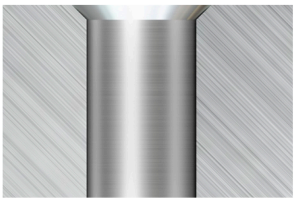
Trépanage



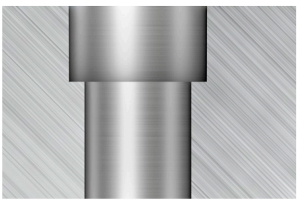
Le perçage comporte quatre méthodes courantes :

- Perçage
- Trépanage
- Perçage avec chanfrein
- Perçage avec lamage

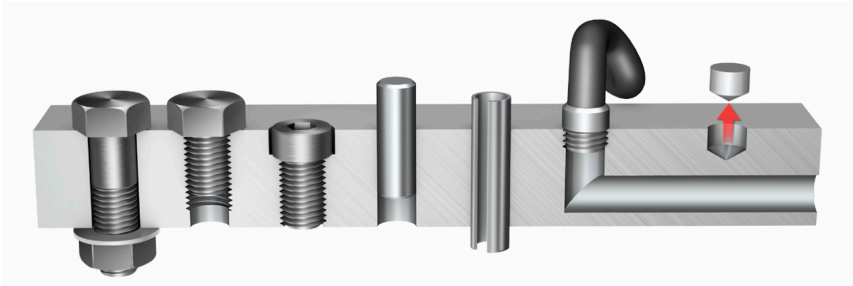
Perçage avec chanfrein



Perçage avec lamage



Trous les plus courants



1 2 3 4 5 6 7

Les trous les plus courants sont les suivants :

1 Trous avec dégagement pour boulons

2 Trous filetés

3 Trous avec lamage

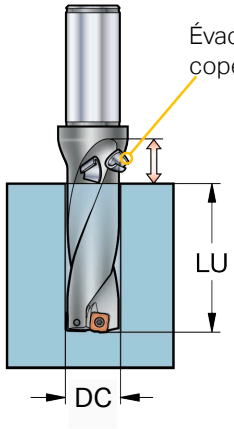
4 Trous avec ajustement serré

5 Trous avec jeu

6 Trous formant des conduites

7 Trous d'allègement ou d'équilibrage.

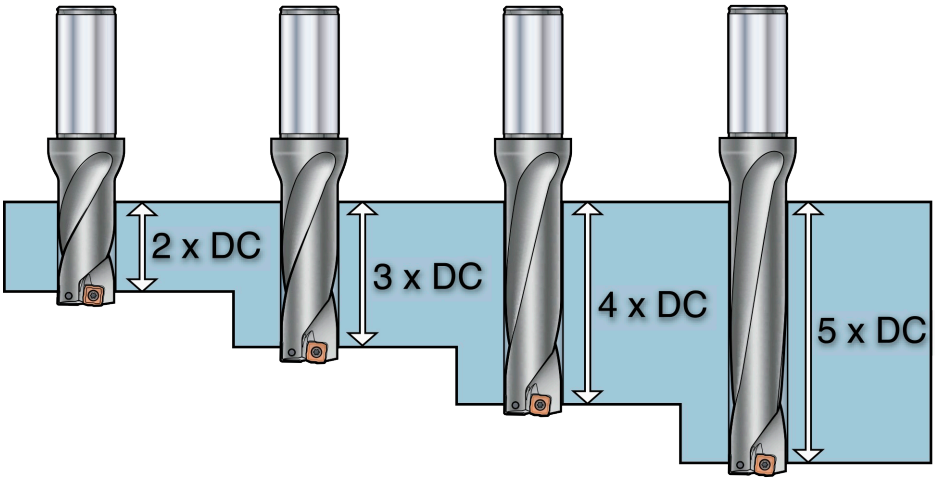
Profondeur de trou maximum



La profondeur du trou (LU) détermine le choix de l'outil.

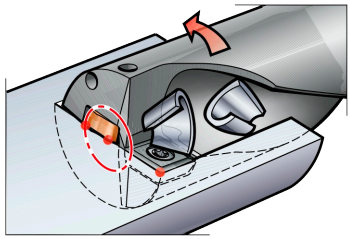
La profondeur maximum de trou dépend du diamètre du trou DC et de sa profondeur(LU).

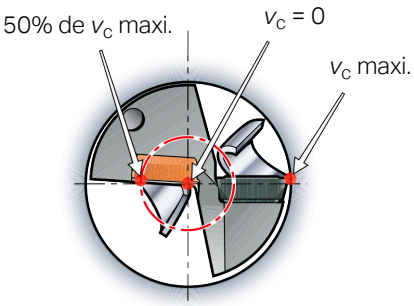
Exemple : Profondeur de trou maxi. LU = 3 x DC.



Théorie du perçage

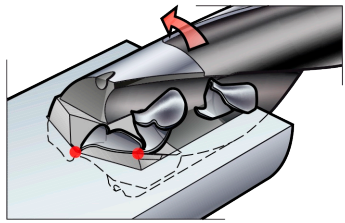
Vitesses de coupe pour les forets à plaquettes indexables

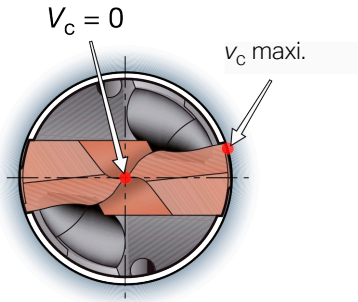




- La vitesse de coupe (v_C) des forets à plaquettes indexables décroit de 100% à la périphérie à zéro au centre.
- La plaquette centrale fonctionne avec une vitesse de coupe de zéro à environ 50% de v_C maxi. La plaquette périphérique fonctionne avec une vitesse de coupe de 50% de v_C maxi. jusqu'à 100% de v_C maxi.
- Une arête de coupe effective par tour : = z_C.

Vitesses de coupe pour les forets carbure monobloc et les forets à embout amovible



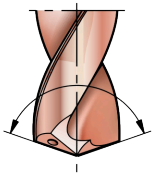


- Deux arêtes effectives allant du centre à la périphérie.
- Deux arêtes/tr : = z_C.

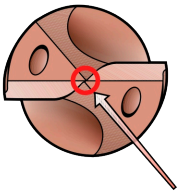
Foret carbure monobloc / foret acier rapide

Angle de pointe et arête transversale

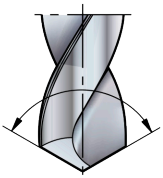
Foret carbure monobloc



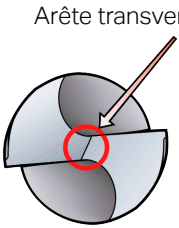
Angle de pointe de 140°



Foret acier rapide

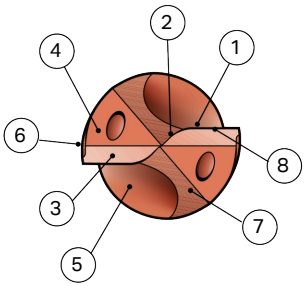


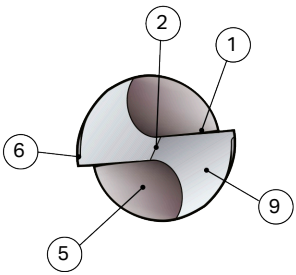
Angle de pointe de 118°



- L'arête transversale est pratiquement éliminée sur les forets carbure monobloc.
- La force de coupe axiale est considérablement réduite car l'arête transversale est éliminée sur les forets carbure monobloc.
- En conséquence, le centrage est meilleur et les copeaux se forment à proximité de la pointe du foret. Il n'est donc pas nécessaire de percer un avant trou.

1 Arête de coupe principale
2 Arête transversale
3 Dépouille primaire
4 Dépouille secondaire
5 Goujure
6 Listel
7 Première séparation
8 Chanfrein négatif
9 Dépouille



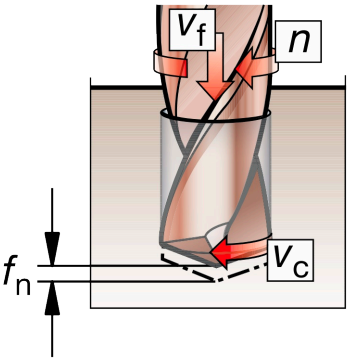


Foret carbure monobloc - Avantages

- L'arête transversale est pratiquement éliminée
- L'arête de coupe principale atteint le point central
- Durée de vie d'outil plus longue et meilleure productivité
- Réduction de la poussée et du couple
- Tolérances plus serrées

Définition des termes

Vitesse de coupe



La productivité en perçage est fortement liée à la vitesse de pénétration, v_f.

n = vitesse de broche (tr/min)

v_c = Vitesse de coupe m/min (pieds/min)

f_n = avance par tour mm/tr (pouces/tr)

v_f = vitesse de pénétration mm/min (pouces/min)

DC = diamètre du foret mm (pouce)

Métrique

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{1000} \text{ m/min}$$

Pouces

$$v_c = \frac{\pi \times DC \times n}{12} \text{ pieds/min}$$

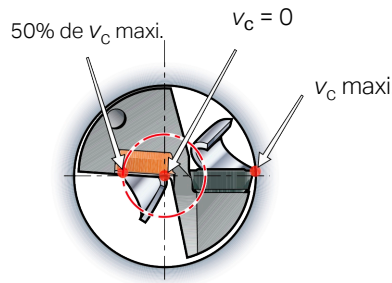
$$v_f = f_n \times n \text{ mm/min (pouces/min)}$$

Vitesses de coupe pour les forets à plaquettes indexables

La vitesse de coupe (v_c) des forets à plaquettes indexables décroit de 100% à la périphérie à zéro au centre.

La plaquette centrale fonctionne avec une vitesse de coupe de zéro à environ 50% de v_c maxi.
La plaquette périphérique fonctionne avec une vitesse de coupe de 50% de v_c maxi. jusqu'à 100% de v_c maxi.

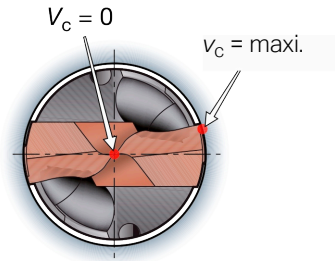
Une arête de coupe effective par tour : = z_c.



Vitesses de coupe pour les forets carbure monobloc et les forets à embout amovible

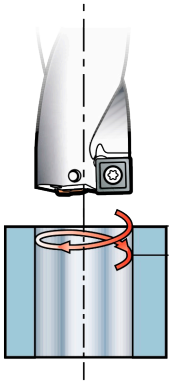
Deux arêtes, du centre à la périphérie.

Deux arêtes/tr : = z_c.

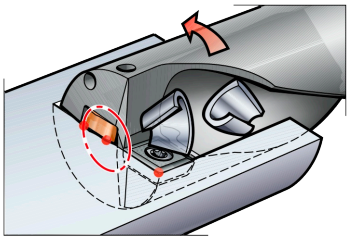


Perçage

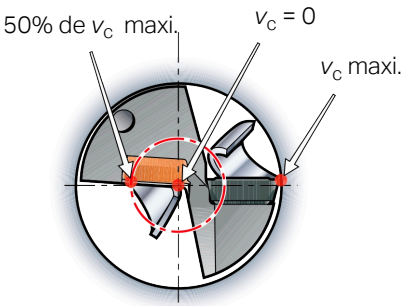
Effets de la vitesse de coupe – v_c m/min (pieds/min)



- Effet sur la puissance P_c kW (Hp) et le couple M_c Nm (lbf-ft).
- Facteur le plus important pour la durée de vie de l'outil.
- Une vitesse plus élevée génère des températures élevées et une usure en dépouille plus importante, surtout au niveau de l'angle périphérique.
- Les vitesses élevées favorisent la formation des copeaux dans les matières collantes à copeaux longs comme les aciers bas carbone.
- Effet sur le bruit.

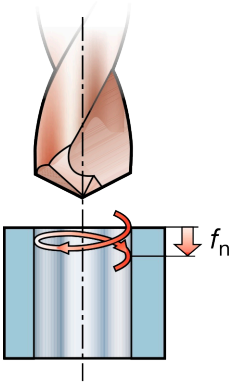


Une vitesse de coupe trop élevée provoque :
- une usure en dépouille rapide
- déformation plastique
- une mauvaise qualité de trou
- de mauvaises tolérances de trou.



Une vitesse de coupe trop faible provoque :
- arête rapportée
- une mauvaise évacuation des copeaux
- temps de coupe prolongé
- augmentation des risques de rupture du foret
- qualité de trou réduite.

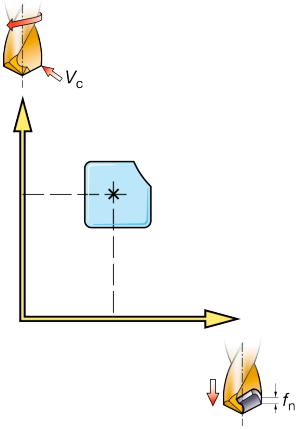
Avance



Effet de l'avance – f_n mm/tr (pouces/tr)

- Effet sur la force d'avance F_f (N), la puissance P_c kW (Hp) et le couple M_c Nm (lbf-ft).
- Contrôle de la formation des copeaux.
- Contribution à la qualité du trou.
- Influence principalement sur l'état de surface.
- Contribution aux contraintes mécaniques et thermiques.

$$f_n = f_z \times 2 \quad \text{mm/tr (pouces/tr)}$$



Avance élevée :
- fragmentation des copeaux plus difficile
- réduction du temps de coupe.

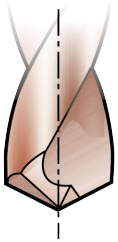
Avance faible :
- copeaux plus longs et minces
- meilleure qualité
- usure de l'outil accélérée
- temps de coupe prolongé.

*Note : L'avance doit être corrélée à la vitesse de coupe.

Calcul approximatif de la puissance absorbée

CoroDrill® 880

CoroDrill® Delta-C



n = vitesse de broche (tr/min)

v_c = vitesse de coupe m/min (pieds/min)

f_n = avance par tour mm/tr (pouces/tr)

v_f = vitesse de pénétration mm/min (pouces/min)

DC = diamètre du foret mm (pouce)

f_z = avance par arête (mm) (pouces)

k_{c1} = force de coupe spécifique N/mm^2 (lbf ft/pouce^2)

P_c = puissance consommée kW (Hp)

F_f = force d'avance (N)

M_c = couple Nm (lbf ft)

Métrique

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{240 \times 10^3} \text{ kW}$$

Pouces

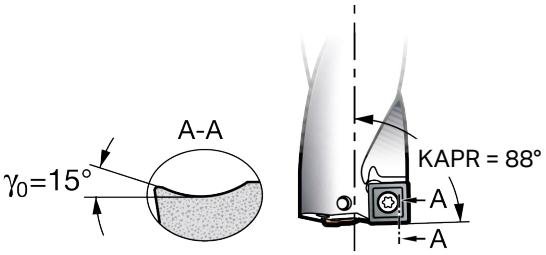
$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{132 \times 10^3} \text{ Hp}$$

ISO P MC No.	CMC No.	Matière	Force de coupe spécifique $k_{c1\ 1.0}$ N/mm^2	Force de coupe spécifique $k_{c1\ .0394}$ lbs/in^2	Dureté Brinell HB	mc
		Acier non allié				
P1.1.Z.AN	01.1	C = 0.1-0.25%	1500	216.500	125	0.25
P1.2.Z.AN	01.2	C= 0.25-0.55%	1600	233.000	150	0.25
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.55-0.80%	1700	247.000	170	0.25
P1.3.Z.AN	01.4	Acier à haute teneur en carbone, recuit	1800	260.500	210	0.25
P1.3.Z.HT	01.5	Trempé et revenu	2000	291.500	300	0.25
		Faiblement allié (éléments d'alliage ≤5%)				
P2.1.Z.AN	02.1	Non trempé	1700	246.500	175	0.25
P2.5.Z.HT	02.2	Trempé et revenu	1900	278.500	300	0.25

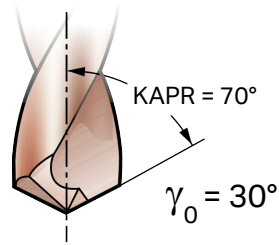
Pour plus d'informations sur la valeur k_{c1}, voir page H16.

Calcul approximatif de la puissance absorbée

CoroDrill® 880



CoroDrill® Delta-C



Métrique

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{240 \times 10^3} \text{ kW}$$

Pouces

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times DC \times k_c}{132 \times 10^3} \text{ Hp}$$

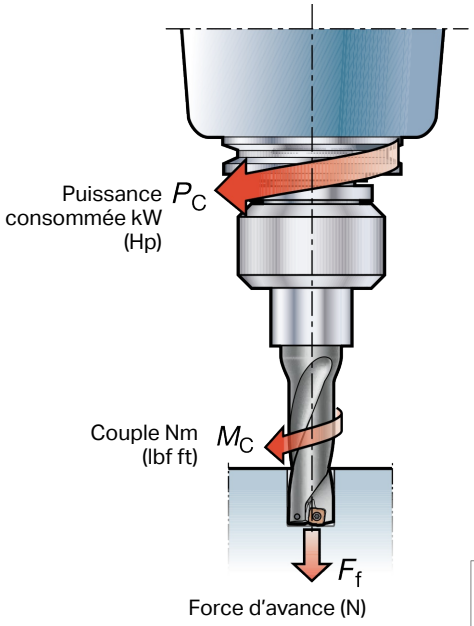
$$k_c = k_{c1} \times (f_z \times \sin KAPR)^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

ISO P MC No.	CMC No.	Matière	Force de coupe spécifique k_{c1} 1.0 N/mm^2	Force de coupe spécifique k_{c1} .0394 lbs/in^2	Dureté Brinell HB	mc
		Acier non allié				
P1.1.Z.AN	01.1	C = 0.1-0.25%	1500	216.500	125	0.25
P1.2.Z.AN	01.2	C= 0.25-0.55%	1600	233.000	150	0.25
P1.3.Z.AN	01.3	C = 0.55-0.80%	1700	247.000	170	0.25
P1.3.Z.AN	01.4	Acier à haute teneur en carbone, recuit	1800	260.500	210	0.25
P1.3.Z.HT	01.5	Trempé et revenu	2000	291.500	300	0.25
		Faiblement allié (éléments d'alliage ≤5%)				
P2.1.Z.AN	02.1	Non trempé	1700	246.500	175	0.25
P2.5.Z.HT	02.2	Trempé et revenu	1900	278.500	300	0.25

Pour plus d'informations sur la valeur k_{c1}, voir page H16.

Perçage

Calcul du couple et de la force d'avance



n = vitesse de broche (tr/min)

f_n = avance par tour mm/tr (pouces/tr)

DC = diamètre du foret mm (pouce)

k_{c1} = Force de coupe spécifique N/mm² (lbf ft/pouce²)

F_f = Force d'avance (N)

M_c = Couple Nm (lbf ft)

$$F_f \approx 0.5 \times k_c \times \frac{DC}{2} f_n \times \sin KAPR \text{ (N)}$$

Métrique

$$M_C = \frac{P_C \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \text{ (Nm)}$$

Pouces

$$M_C = \frac{P_C \times 16501}{\pi \times n} \text{ (lbf ft)}$$

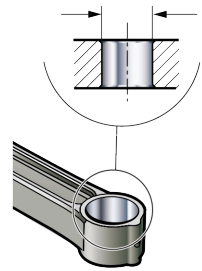
Procédure de sélection des outils

Process de planification de la production

1 Pièce

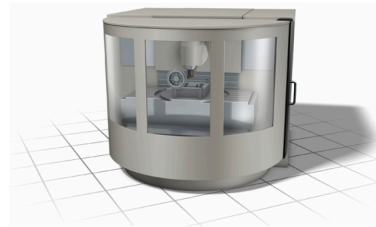
Taille et qualité des trous

Matière, forme et quantité à usiner



2 Machine

Paramètres machine

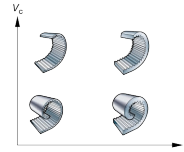


3 Outils recommandés

Type d'outil et méthode d'usinage

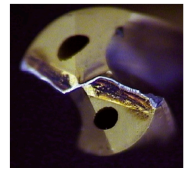
4 Mise en œuvre

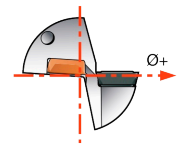
Conditions de coupe, arrosage, etc.



5 Résolution des problèmes

Solutions

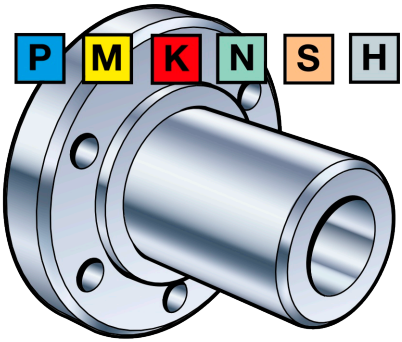




1. Pièce et matière à usiner

Matière :

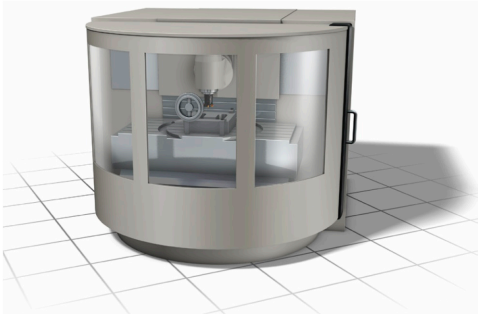
- Usinabilité
- Fragmentation des copeaux
- Dureté
- Éléments d'alliage.



Pièce :

- La rotation de la pièce est-elle symétrique ? Utiliser un foret statique ou rotatif ?
- Bridage, taille et profondeur du trou. La pièce est-elle sensible à la force d'avance et/ou aux vibrations ?
- Faut-il utiliser une allonge pour atteindre la surface où le trou doit être percé (grand porte-à-faux) ?
- Caractéristiques de la pièce, qu'est-ce qui peut compliquer le process ? Y a-t-il des surfaces inclinées, concaves ou convexes ? Trous sécants ?

2. Considérations importantes sur les machines



État de la machine :

- Stabilité machine
- Vitesse de broche
- Adduction de liquide de coupe
- Débit et pression du liquide de coupe
- Bridage de la pièce
- Broche horizontale ou verticale
- Puissance et couple
- Magasin d'outils.

3. Programme d'outils de perçage

Différentes manières d'usiner un trou

Les paramètres de base sont :

- Diamètre
- Profondeur
- Qualité (tolérances, état de surface, rectitude).

Le type du trou et la précision requise influencent le choix de l'outil.

Il convient aussi de tenir compte des conditions particulières telles que les surfaces irrégulières, les entrées ou sorties avec un angle ou les trous sécants.

Perçage

Avantages

- Outils standard simples
- Relativement flexible.

Inconvénients

- Deux outils, adaptateurs, cônes de base
- Un outil supplémentaire et une opération supplémentaire sont nécessaires s'il s'agit d'un trou avec lamage/chanfrein
- Conséquences du choix
  - Productivité
  - Qualité des trous.

Trous avec lamage/ chanfrein

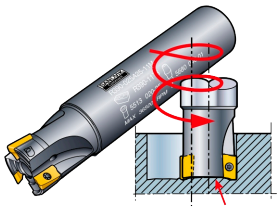
Avantages

- Réduit le nombre d'opérations
- Usinage plus rapides des trous avec lamage/ chanfrein

Inconvénients

- Puissance et stabilité requises plus importantes
- Méthode moins flexible.

Interpolation hélicoïdale



Avantages

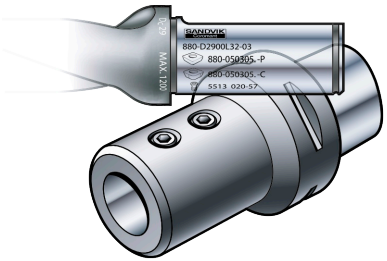
- Outils standard simples
- Grande flexibilité
- Forces de coupe faibles.

Inconvénients

- Temps de cycle plus long.

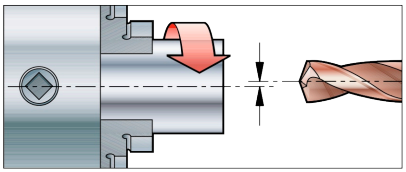
4. Mise en œuvre

Considérations importantes sur les applications



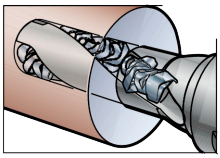
Attachements

- Toujours utiliser le foret le plus court possible et éviter les longs porte-à-faux pour réduire la déflexion et les vibrations, mais attention aussi à l'évacuation des copeaux.
- Pour une meilleure stabilité et une bonne qualité de trou, utiliser des outils modulaires et des attachements hydromécaniques ou hydrauliques.



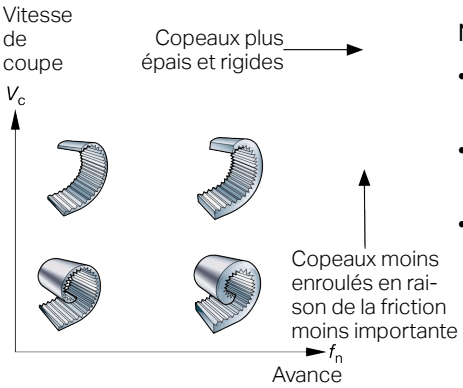
Faux-rond outil

- Le faux-rond doit être le plus petit possible pour réussir le perçage.



Évacuation des copeaux et arrosage

- La formation et l'évacuation des copeaux sont les principaux facteurs qui influencent la qualité des trous en perçage.



Nuance et géométrie

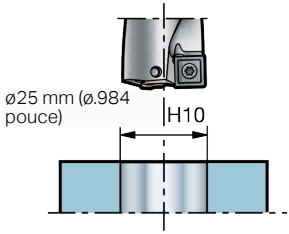
- Utiliser les nuances et géométries recommandées.
- Utiliser les conditions de coupe recommandées.
- Pour que les process soient stables, régler les conditions de coupe de manière à avoir une bonne formation des copeaux.

5. Résolution des problèmes

Observations à prendre en compte

Usure des plaquettes et durée de vie d'outil

- Vérifier le schéma d'usure et, si nécessaire, adapter les conditions de coupe ou changer de nuance.



Évacuation des copeaux

- Vérifier la fragmentation des copeaux et l'adduction de liquide de coupe. Si nécessaire changer de brise-copeaux et/ou de conditions de coupe.

Qualité et tolérances de trou

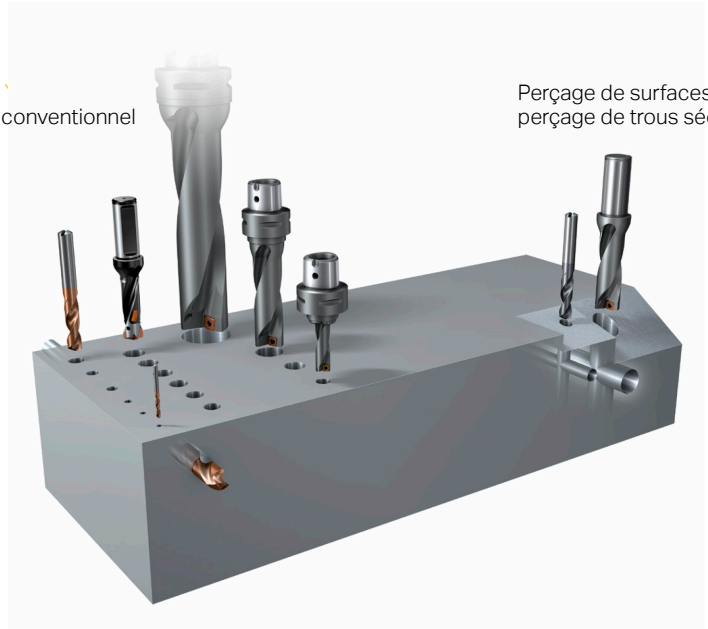
- Vérifier le serrage de l'outil et le bridage de la pièce, ainsi que l'avance, l'état de la machine et l'évacuation des copeaux.

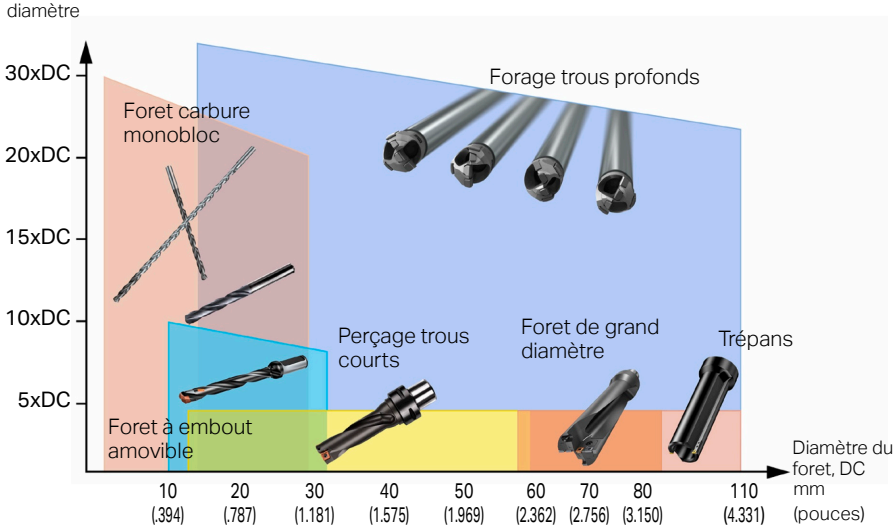
Conditions de coupe

- Une vitesse de coupe et une avance correctes sont essentielles pour une productivité élevée et une durée de vie d'outil satisfaisante.

Outils de perçage

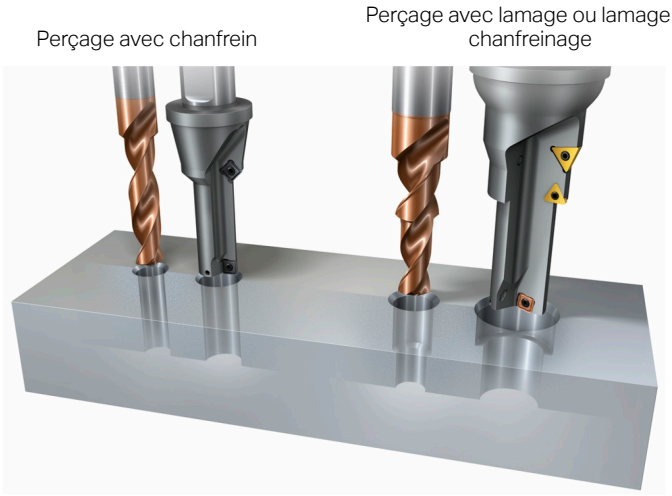
Outils pour l'usinage de trous en diamètres de 0.30 mm à 110 mm (.0118 pouce à 4.331 pouces). Des diamètres plus importants sont aussi disponibles en outils spéciaux.



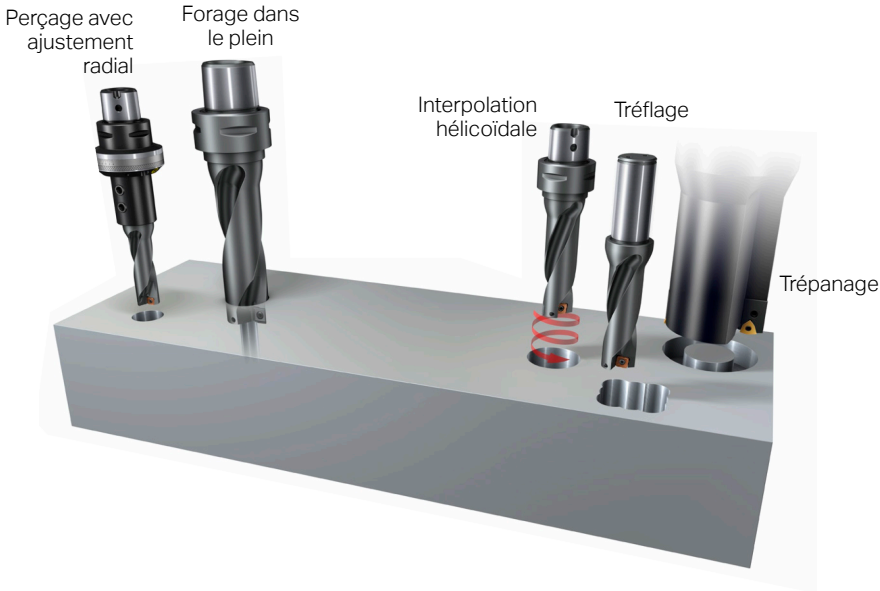


Programme d'outils

Trous avec lamage et chanfrein



Autres méthodes



Diamètre et profondeur de trou

Positionnement des forets pour trous courts

Forets à plaquettes indexables

A considérer comme le premier choix en toutes circonstances en raison du moindre coût au trou. Ce sont aussi des outils polyvalents.

Champs d'applications

- Trous de diamètre moyen à grand.
- Tolérances moyennes.
- Trous borgnes nécessitant un fond plat.
- Tréflage ou alésage.

Forets carbure monobloc

Premier choix pour les petits diamètres ou lorsque des tolérances serrées sont nécessaires.

- Petit diamètre.
- Précision, tolérances serrées.
- Profondeur de trou faible à assez importante.

Forets à embout amovible

Premier choix pour les trous de diamètre moyen pour lesquels les forets à embout amovible sont une solution économique.

- Diamètres moyens.
- Tolérances de trou serrées.
- Le corps de foret offre de la ténacité.
- Profondeur de trou faible à assez importante.

Forets à plaquettes indexables

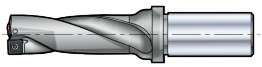
Foret de base

- Manière la plus économique de produire un trou.
- Pour toutes les matières.
- Forets disponibles en standard, Tailor Made et spécial.
- Outil polyvalent qui peut faire plus que percer des trous.

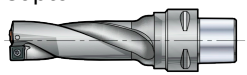
Options d'attachements

Différentes options de montage sont disponibles afin d'autoriser le montage du foret dans presque toutes les configurations de machines. Les fabricants de machines-outils actuels offrent des options de montage intégrées à la broche.

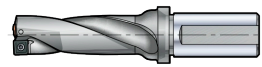
Queue cylindrique



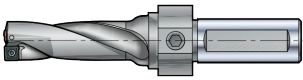
Attachement Coromant Capto®



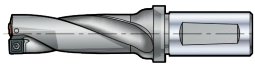
Cylindrique avec méplat



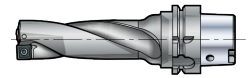
Queue P



Whistle Notch



Autres systèmes modulaires



Forets carbure monobloc

Le choix de base

P M K
N S H

Forets optimisés pour certaines matières

P M K N S

Forets optimisés pour certaines applications

Foret avec chanfrein

P M K
N S H

Foret de précision pour les aciers trempés

P
H

Forets pour trous courts - groupes de matières ISO

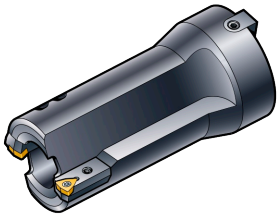
Groupe de matières ISO		P	M	K	N	S	H
	Forets carbure monobloc	+++	+++	+++	+++	+++	+++
	Forets à embout amovible	+++	+++	+++	++	++	+
	Forets à plaquettes indexables	+++	+++	+++	+++	+++	+++

Trous de gros diamètres

Foret de grand diamètre

Les forets à plaquettes indexables sont disponibles en diamètres jusqu'à 84 mm (3.307 pouces).

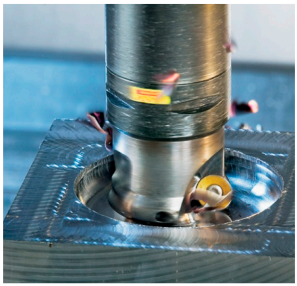
Trépans



Le trépanage sert pour usiner des trous de grand diamètre avec les machines de puissance limité. La puissance nécessaire est inférieure au perçage dans le plein. Les trépans sont disponibles en diamètres jusqu'à 110 mm (4.331 pouces) .

Note : Ces forets ne conviennent qu'aux trous débouchants.

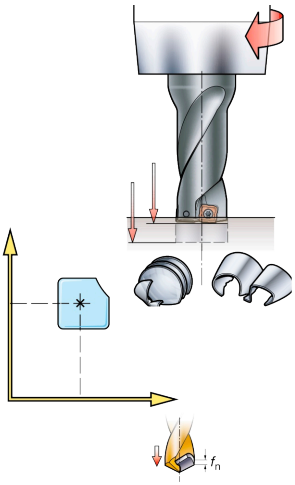
Fraisage, interpolation hélicoïdale



En lieu et place d'outils de perçage ou d'alésage, il est possible d'usiner des trous avec des fraises par interpolation hélicoïdale ou circulaire. Cette méthode est moins productive, mais elle peut être une alternative lorsque la fragmentation des copeaux pose des problèmes.

Mise en œuvre

Forets à plaquettes indexables

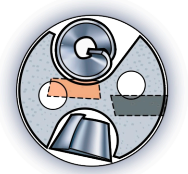


Procédure de montage

- Choisir le foret le plus court possible.
- Vérifier la longueur programmée.
- Commencer le perçage avec les vitesses et avances moyennes recommandées jusqu'à une profondeur de 3.2 mm (.125 pouce).
- Vérifier la formation des copeaux et mesurer la taille du trou.
- Inspecter le foret pour vérifier s'il ne frotte pas sur les parois du trou.
- Augmenter ou réduire l'avance et/ou la vitesse de coupe en fonction de la formation des copeaux, des vibrations, de la qualité de l'état de surface, etc.

Formation des copeaux - Plaquettes indexables

- Pour obtenir une bonne évacuation des copeaux, il faut travailler sur leur formation.
- Les copeaux longs peuvent provoquer des bourrages dans les goujures du foret.
- L'état de surface peut aussi être dégradé et l'outil ou les plaquettes peuvent subir des dommages.
- Le remède consiste à sélectionner une géométrie de plaquette correcte et à adapter les conditions de coupe.
- Utiliser des géométries adaptées aux différentes matières et conditions de coupe.



Excellent

Acceptable

Inacceptable

Foret à plaquettes indexables rotatif

Alignement

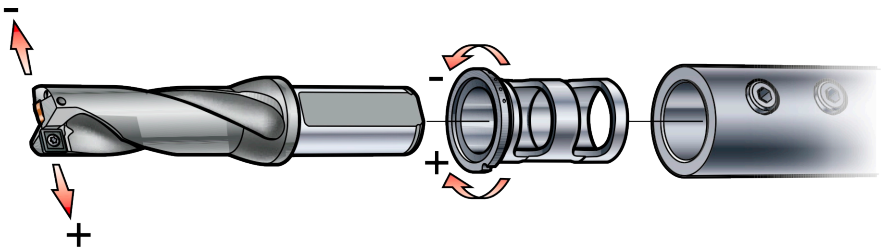
- Si les trous sont sousdimensionnés ou surdimensionnés ou si la plaquette centrale subit un écaillage, c'est généralement parce que le foret est décentré.
- Ce problème peut parfois être résolu en faisant tourner le foret de 180° dans le mandrin.
- Mais il est important de vérifier que l'axe central du foret et l'axe de rotation sont parallèles afin d'obtenir des trous précis.
- La broche machine et le mandrin doivent être en bon état.

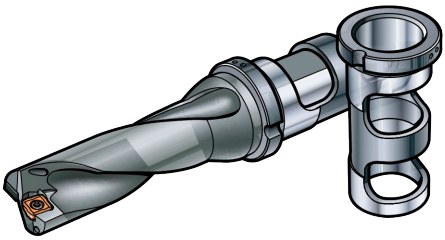
Réglage radial

Porte-forets réglables

- Le réglage se fait en tournant la bague graduée en incréments de 0.05 mm (.002 pouce) qui entoure le porte-foret en indiquant un mouvement diamétral de l'outil.
- Réglage radial -0.2 /+0.7 mm (-.008 /+.028 pouce). Note : ne pas dépasser la limite de la plage de réglage du foret. (le réglage maximum est indiqué dans les pages de commande du catalogue).
- Il peut être nécessaire de réduire l'avance par tour (f_n) si le porte-à-faux de l'outil est grand car le décalage radial crée un déséquilibre des forces de coupe.
- On utilise des manchons pour adapter les différentes tailles de queues ISO à un porte-outil donné.

Manchons réglables pour forets à queue ISO 9766





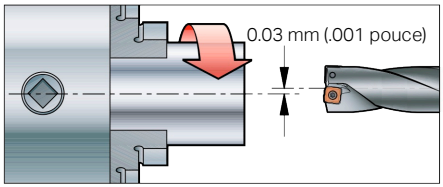
Foret rotatif – manchon excentrique.

Le diamètre du foret peut être réglé pour obtenir des tolérances de trou plus serrées. La plage de réglage est d'environ ±0.3 mm (±.012), mais le réglage dans la direction négative ne doit être fait que si le foret produit des trous surdimensionnés (il ne permet pas de produire des trous sousdimensionnés).

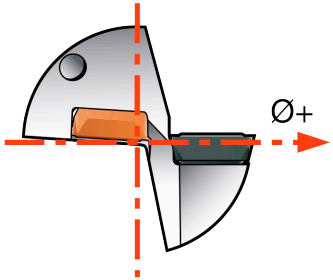
- Un point augmente/réduit le diamètre de 0.10 mm (.004 pouce).
- Le diamètre augmente en tournant le manchon vers la droite (sens horaire).
- Le diamètre diminue en tournant le manchon vers la gauche (sens antihoraire).
- Utiliser les deux vis pour serrer le foret dans le porte-foret. Veiller à ce que les vis soient assez longues.

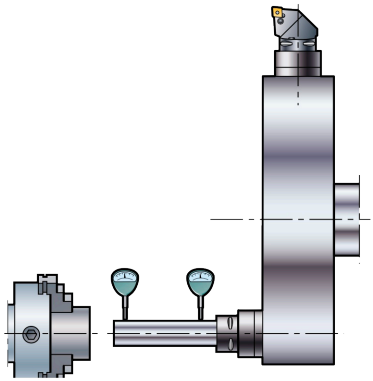
Foret statique

Alignement



- Le faux-rond total entre l'axe de la machine et la pièce ne doit pas excéder 0.03 mm (.001 pouce).
- Le foret doit être monté de manière à ce que la face de la plaquette périphérique soit parallèle à l'axe de déplacement transversal de la machine (en général, l'axe X).





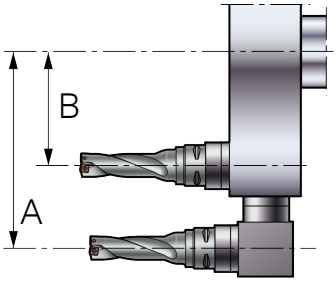
Comparateur et barre étalon

- Un défaut d'alignement provoque un décalage radial et, par conséquent, des trous sur- ou sousdimensionnés.
- Les mesures peuvent être effectuées avec un comparateur et une barre étalon.

Foret avec quatre méplats

- Il est aussi possible d'utiliser un foret à quatre méplats positionnés de manière égale sur la queue.
- Percer des trous avec le foret monté dans chacune des quatre positions. La mesure des trous indiquera alors la qualité de l'alignement.

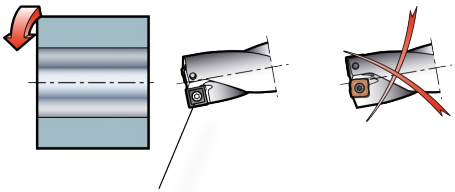
Déflexion de la tourelle

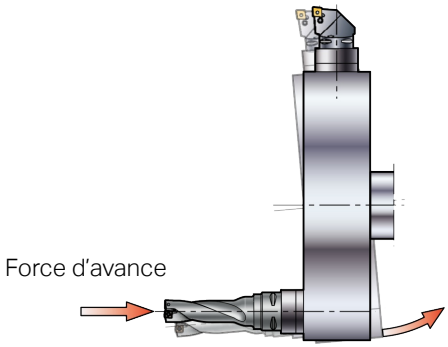


Résolution des problèmes

- La force d'avance peut provoquer une déflexion de la tourelle sur les tours CNC.

- En premier lieu, chercher si le couple peut être réduit en montant l'outil d'une manière différente.
  La position B est préférable à la position A.

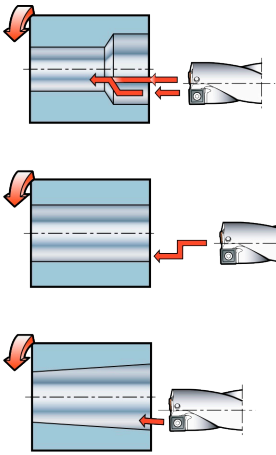




- Pour éviter l'usure du corps du foret ainsi que les marques de retrait de l'outil dans le trou, monter le foret avec la plaquette périphérique montée comme sur la figure.

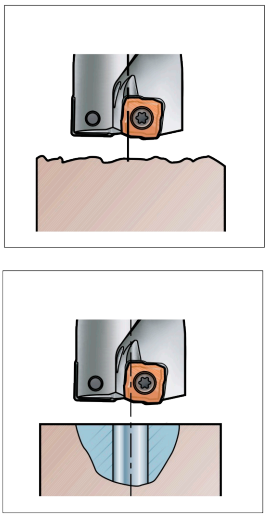
- Enfin, la réduction de l'avance/tour (f_n) peut contribuer à réduire la force d'avance.

Décalage radial



- Il est possible de percer des trous plus grands que le diamètre nominal du foret ou de les agrandir et d'en effectuer la finition avec une opération d'alésage supplémentaire.
- Les forets à plaquettes indexables statiques peuvent aussi servir à l'usinage de trous coniques.
- Il est aussi possible d'usiner des chanfreins et des dégagements avec ces forets.
- Les trous destinés à être filetés peuvent être préparés en une seule passe, chanfrein compris.

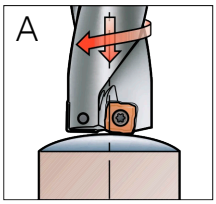
Surfaces irrégulières et trous pré-usinés



Lors de l'entrée dans la matière ou de la sortie, si la surface est irrégulière il existe un risque d'écaillage des plaquettes.

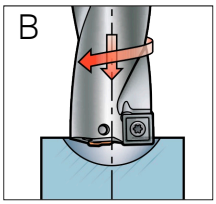
- L'avance doit donc être réduite.
- Les trous préusinés doivent être petits et ne pas dépasser 25 % du diamètre du foret afin d'éviter la déflexion.
- La réduction de l'avance ne permet pas un usinage large des trous préusinés.

Entrée dans des surfaces non planes



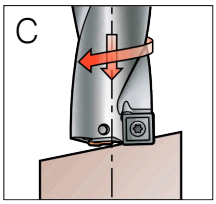
Surface convexe

- Normalement, il n'est pas nécessaire de réduire l'avance.



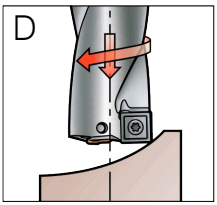
Surface concave

- Réduire l'avance à 1/3 de l'avance d'origine.



Surface inclinée

- Lorsque l'angle d'attaque est de 2º–89º, réduire l'avance à 1/3 de l'avance d'origine.



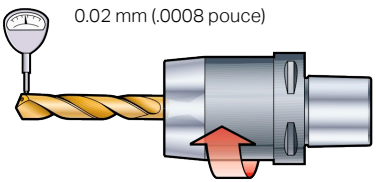
Surfaces irrégulières

- Réduire l'avance de 2/3.

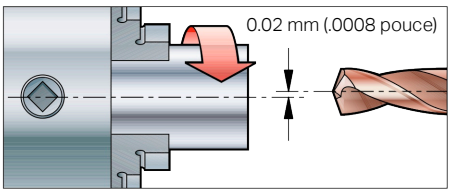
Forets carbure monobloc et forets à embout amovible

Alignement

Foret rotatif



Foret fixe

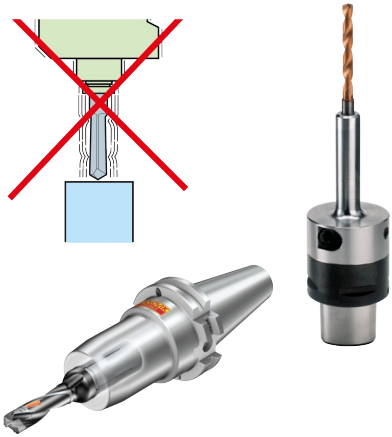


Un faux-rond aussi faible que possible est l'un des principaux critères de réussite avec les forets carbure monobloc

Le faux-rond doit être inférieur à 0.02 mm (.0008 pouce) pour obtenir

- des tolérances serrées
- de bons états de surface
- une durée de vie plus régulière et plus longue.

Attachements



- Si la pince et la queue de l'outil sont en mauvais état, les résultats seront mauvais même si le reste du montage est parfait.
- S'assurer que le TIR (faux-rond) est inférieur à 0.02 mm (.0008 pouce).
- Un faux-rond trop élevé peut être temporairement corrigé en tournant le foret ou la pince de 90° ou 180° jusqu'à ce qu'un faux-rond plus petit soit trouvé.

Pour obtenir les meilleures performances, utiliser un mandrin hydromécanique, hydraulique ou fretté.

Forets carbure monobloc et forets à embout amovible

Forets carbure monobloc

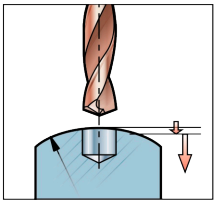
- Déconseillés en raison du risque d'écaillage de l'arête de coupe.

Forets à embout amovible

- Impossible d'élargir des trous existants par alésage en tirant en raison de l'absence de fragmentation des copeaux.

Entrée dans des surfaces non planes

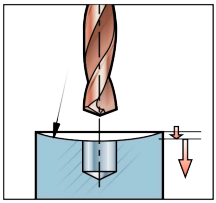
En cas d'entrée en coupe sur une surface non plane, il existe un risque de déflexion du foret. Pour éviter cela, réduire l'avance en entrée.



Surface convexe

Possible si le rayon est supérieur à 4 fois le diamètre du foret et si le trou est perpendiculaire au rayon.

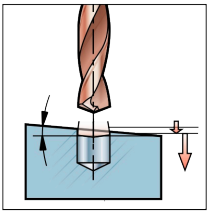
Réduire l'avance à 50% de l'avance normale à l'entrée.



Surface concave

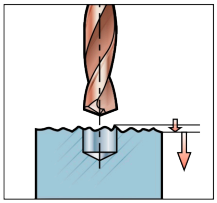
Possible si le rayon est supérieur à 15 fois le diamètre du foret et si le trou est perpendiculaire au rayon.

Réduire l'avance à 25% de l'avance normale à l'entrée.



Surface inclinée

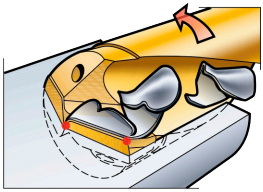
Pour les surfaces inclinées 10 degrés ou moins, réduire l'avance à 1/3 de l'avance normale à l'entrée. Il est déconseillé de percer des surfaces inclinées de plus de 10°. Il faut usiner une petite surface plane avec une fraise à l'endroit où le trou doit être percé.



Surfaces irrégulières

Réduire l'avance à ¼ de l'avance normale pour réduire les risques d'écaillage des arêtes de coupe.

Formation des copeaux – Forets carbure monobloc et forets à embout amovible



Copeau de départ

Note : Le copeau qui se forme à l'entrée dans la matière est toujours long ; cela ne pose pas de problèmes.

- Pour obtenir une bonne évacuation des copeaux, il faut travailler sur leur formation.
- Les copeaux longs peuvent provoquer des bourrages dans les goujures du foret.
- L'état de surface peut aussi être dégradé et l'outil ou les plaquettes peuvent subir des dommages.
- Vérifier si les conditions de coupe et la géométrie de foret ou d'embout sont correctes pour la matière usinée et les conditions d'usinage.

Excellent

Acceptable

Bourrages copeaux

Adduction de liquide de coupe

Adduction interne de liquide de coupe

- Toujours à privilégier, surtout dans les matières à copeaux longs ou dans les trous profonds (4-5 x DC).

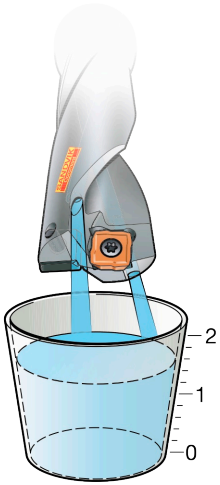
Adduction externe de liquide de coupe

- Peut s'utiliser si la formation des copeaux est bonne et si le trou est peu profond.

Air comprimé, micro lubrification ou perçage à sec

- Possible si les conditions sont favorables, mais non recommandé de manière générale.

Liquide de coupe



Huile soluble (émulsion)

- 5 à 12% d'huile (10-25% pour les aciers inoxydables).
- Additifs EP (grande pression).

Huile entière

- toujours avec additifs EP.
- meilleure productivité et durée de vie de l'outil prolongée dans les matières ISO M et ISO S
- l'huile entière convient bien aux forets carbure monobloc et aux forets à plaquettes indexables

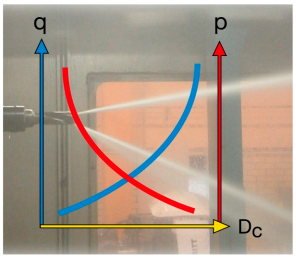
Brouillard d'huile ou micro lubrification

- peut donner de bonnes performances dans les matières avec une bonne formation des copeaux.

Perçage à sec, sans arrosage

- possible dans les matières à copeaux courts.
- profondeurs de trous jusqu'à 3 x diamètre.
- applications horizontales de préférence.
- effet négatif sur la durée de vie d'outil.

Arrosage – Important pour de bonnes performances

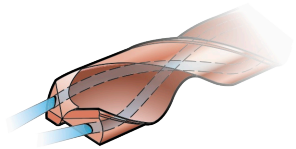


L'adduction de liquide de coupe est essentielle en perçage. Elle influence
- l'évacuation des copeaux
- la qualité des trous
- durée de vie.

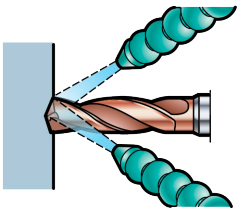
- La contenance du réservoir de liquide de coupe doit être 5 à 10 fois supérieure au débit par minute de la pompe.
- Le débit peut être vérifié à l'aide d'un chronomètre et d'un seau de taille adaptée.

Arrosage

Intérieur ou extérieur



Adduction interne de liquide de coupe
- A préférer en toutes circonstances pour éviter les bourrages copeaux.
- A utiliser obligatoirement si la profondeur du trou est supérieure à 3 x diamètre.
- Les forets horizontaux doivent produire un jet de liquide de coupe sans gouttes sur une longueur d'au moins 30 cm (12 pouces).

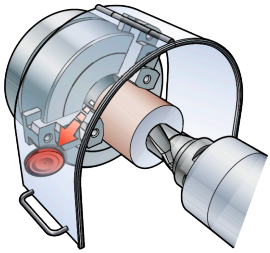


Adduction externe de liquide de coupe
- Possible dans les matières à copeaux courts.
- Pour améliorer l'évacuation des copeaux, une buse d'arrosage au moins (deux si le foret est statique) doit être orientée vers l'axe de l'outil.
- Peut parfois aider à éviter la formation d'arêtes rapportées en raison de la température élevée des arêtes.

Air comprimé, micro lubrification ou perçage à sec
- Peut être utilisée avec les forets à embout amovible dans les matières à copeaux courts si les conditions d'usinage sont favorables.
- Les forets carbure monobloc fonctionnent bien dans ce type d'application.

Sécurité

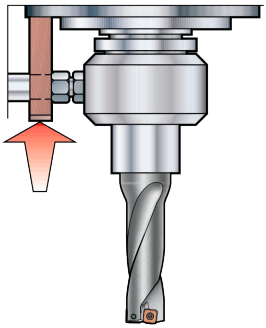
Adduction interne de liquide de coupe



Protection contre l'éjection de disques dangereux

- La protection contre les disques produits au débouché des trous est importante pour éviter les accidents, surtout en cas de perçage avec un foret statique.

Adduction externe de liquide de coupe

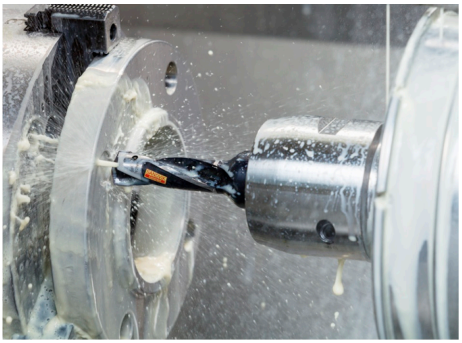


La butée est importante pour la sécurité

- Pour les forets en rotation, une butée peut s'avérer nécessaire.
- Si le liquide de coupe contient des débris de copeaux, la bague peut se bloquer et le boitier se mettra en rotation.
- Si le raccord rotatif n'a pas été utilisé depuis longtemps, vérifier si le porte-outil tourne facilement dans le boîtier avant de mettre la broche en rotation.

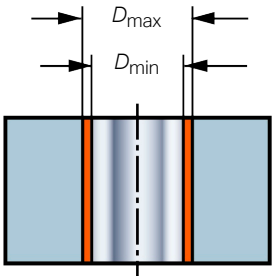
Qualité et tolérances des trous

Mesures pour obtenir une bonne qualité de trou en perçage



- La machine-outil doit être en bon état.
- L'attachement des outils influence la qualité de trou et la durée de vie d'outil.
- Choisir le foret le plus court possible pour une stabilité maximum.
- La fragmentation et l'évacuation des copeaux doivent être satisfaisantes.
- Le débit et la pression d'arrosage sont importants.

Trou et tolérances du trou



Les dimensions d'un trou se caractérisent par trois paramètres :

- la valeur nominale (valeur théorique exacte)
- la largeur de tolérance (un chiffre), par ex. IT 7 selon ISO
- la position de la tolérance (indiquée par des lettres capitales selon ISO).

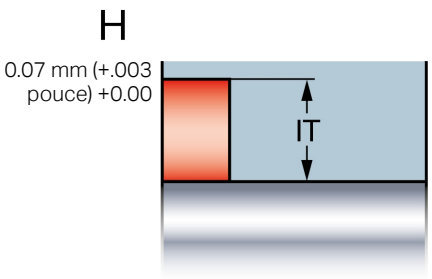
D_{max} moins D_{min} donne la largeur de tolérance, par ex. IT 7.

Tolérances de trous selon ISO

Tolérances	Plage de diamètres, mm/*pouces*							Exemples
	3–6	6–10	10–18	18–30	30–50	50–80	80–120	
	.118–.236	*.236–.394*	*.394–.709*	*.709–1.181*	*1.181–1.969*	*1.969–3.150*	*3.150–4.724*	
IT6	0.008 *.0003*	0.009 *.0004*	0.011 *.0004*	0.013 *.0005*	0.016 *.0006*	0.019 *.0007*	0.022 *.0009*	Roulements
IT7	0.012 *.0005*	0.015 *.0006*	0.018 *.0007*	0.021 *.0008*	0.025 *.0010*	0.030 *.0012*	0.035 *.0014*	
IT8	0.018 *.0007*	0.022 *.0009*	0.027 *.0011*	0.033 *.0013*	0.039 *.0015*	0.046 *.0018*	0.054 *.0021*	1) Trous à fileter
IT9	0.030 *.0012*	0.036 *.0014*	0.043 *.0017*	0.052 *.0020*	0.062 *.0002*	0.074 *.0029*	0.087 *.0034*	
IT10	0.048 *.0019*	0.058 *.0022*	0.070 *.0028*	0.084 *.0033*	0.100 *.0039*	0.120 *.0047*	0.140 *.0055*	Trous pour taraudage normal
IT11	0.075 *.0030*	0.090 *.0035*	0.110 *.0043*	0.130 *.0051*	0.160 *.0062*	0.190 *.0074*	0.220 *.0089*	
IT12	0.120 *.0047*	0.150 *.0059*	0.180 *.0071*	0.210 *.0083*	0.250 *.0098*	0.300 *.0118*	0.350 *.0138*	
IT13	0.180 *.0071*	0.220 *.0087*	0.270 *.0106*	0.330 *.0130*	0.390 *.0154*	0.460 *.0181*	0.540 *.0213*	

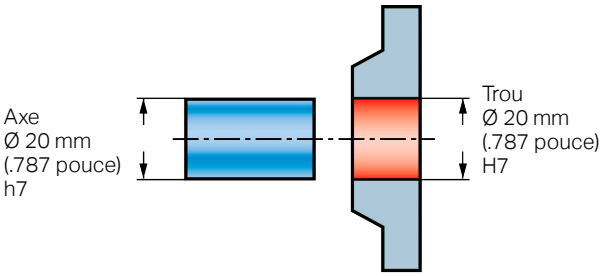
1) Trous pour filetage avec tarauds sans goujures (roulage de filet)

- Plus l'indice IT est bas, plus les tolérances sont serrées.
- Les tolérances pour une classe IT augmentent avec le diamètre.



Exemple :	Ø 15.00 mm (.591 pouce) H10
Valeur nominale :	15.00 mm (.591 pouce)
Largeur de tolérance :	0.07 mm (.003 pouce) (IT 10 selon ISO)
Positionnement :	0 à plus (H selon ISO)

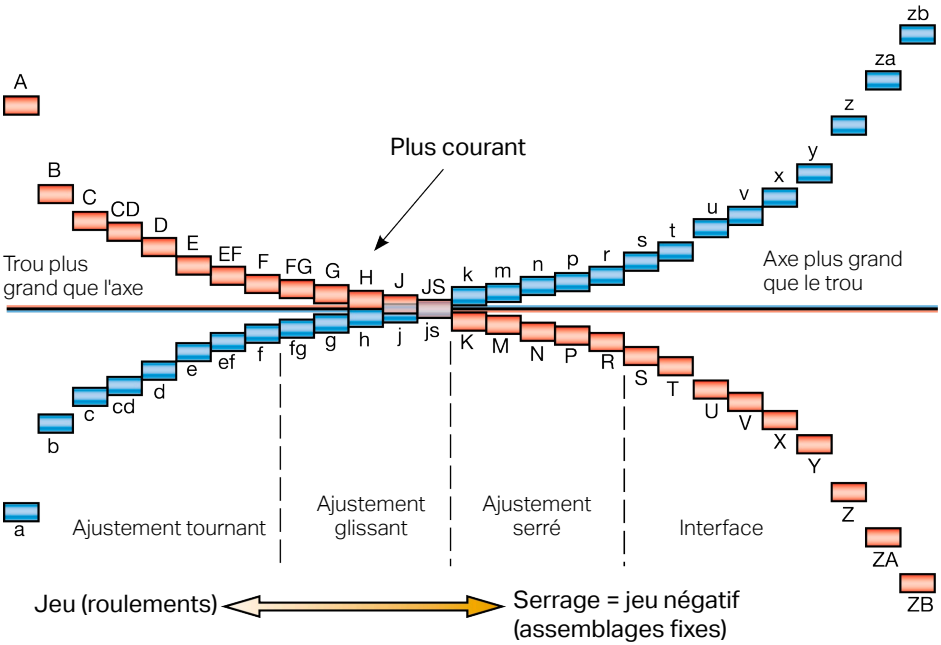
Tolérances de trous selon ISO



La tolérance de trou est souvent reliée à la tolérance de l'axe qui doit y prendre place.

Tolérances de trous et axes selon ISO

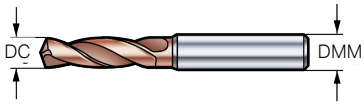
La position de la tolérance de l'axe est indiquée par des lettres minuscules correspondant à la tolérance du trou qui est indiquée en lettres majuscules. Le diagramme ci-dessous donne une vision globale.



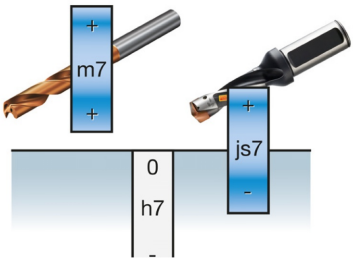
Trou et tolérances d'outil

Tolérances pouvant être obtenues avec différents outils

Tolérance du diamètre du foret DC



Tolérance DC d'un foret carbure monobloc et d'un foret à embout amovible

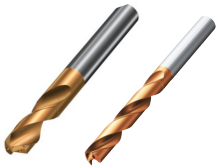


Tolérance du foret

- Le foret est rectifié pour une certaine tolérance diamétrale indiquée par le code ISO en lettres minuscules.

Tolérance du trou

- Avec les forets carbure monobloc et les forets à embout amovible modernes, la tolérance de trou est très proche de la tolérance de foret.

Tolérances	Forets carbure monobloc 	Forets à embout amovible	Forets à plaquettes indexables
IT6			
IT7			
IT8			
IT9			Avec préréglage
IT10			
IT11			
IT12			
IT13			

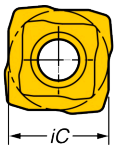
Forets à plaquettes indexables

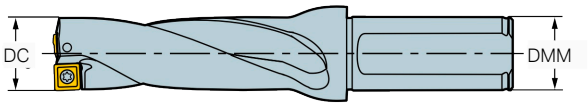
Tolérances du foret

- Les tolérances de diamètre d'un foret à plaquettes indexables dépendent à la fois de la tolérance des logements de plaquettes du corps de l'outil et des tolérances des plaquettes.

Tolérances des trous

- Les forets à plaquettes indexables donne un équilibre optimal des forces de coupe et une tolérance positive (surdimensionnement) parce que la plupart des trous ont une tolérance H.



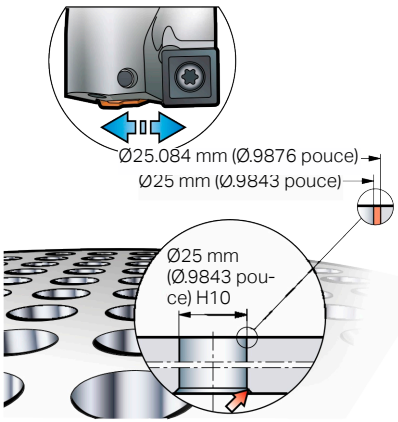


Profondeur de perçage 2-3 x DC

Diamètre de foret, mm (pouces)	12 – 43.99 (.472 – 1.732)	44 – 52.99 (1.732 – 2.086)	53 – 63.5 (2.087 – 2.5)
Tolérances de trou, mm (pouces)	0/+0.25 (0/+.0098)	0/+0.28 (0/+.011)	0/+0.3 (0/+.0118)
Tolérance DC, mm (pouces)	0/+0.2 (0/+.0079)	0/+0.25 (0/+.0098)	0/+0.28 (0/+.011)

Profondeur de perçage 4-5 x DC

Diamètre de foret, mm (pouces)	12 – 43.99 (.472 – 1.732)	44 – 52.99 (1.732 – 2.086)	53 – 63.5 (2.087 – 2.5)
Tolérance de trou, mm (pouces)	0/+0.4 (0/+.0157)	0/+0.43 (0/+.0169)	0/+0.45 (0/+.0177)
Tolérance DC, mm (pouces)	+0.04/+0.24 (+.0016/+.0094)	+0.04/+0.29 (+.0016/+.0114)	+0.04/+0.32 (+.0016/+.0126)



Comment améliorer les tolérances de trou

Une des façons d'éliminer les tolérances de fabrication du corps de foret et des plaquettes est de prérégler le foret.

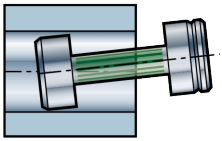
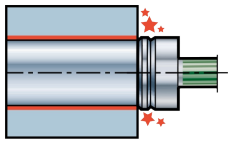
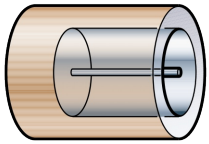
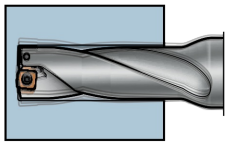
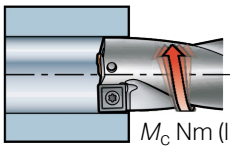
Ceci peut être fait dans un tour ou à l'aide d'un manchon ou mandrin réglable, voir page E28.

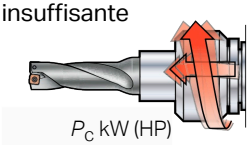
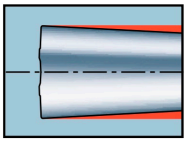
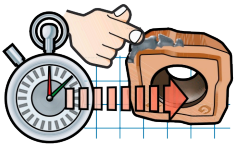
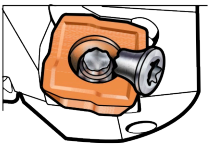
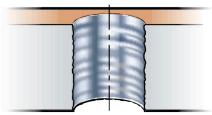
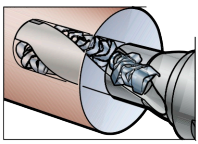
Une largeur de tolérance (IT) inférieure à 0.10 mm (.004 pouce) peut ainsi être obtenue.

La taille du trou peut être modifiée en fonction de la géométrie d'une des plaquettes.

Résolution des problèmes

Foret à plaquettes indexables

Problème	Solution	
Trous surdimensionnés 	Foret rotatif 1. Augmenter le débit d'arrosage, nettoyer le filtre, nettoyer les orifices d'arrosage du foret. 2. Essayer une géométrie plus tenace pour la plaquette périphérique (ne pas changer de plaquette centrale).	Foret statique 1. Vérifier l'alignement sur le tour. 2. Faire tourner le foret de 180°. 3. Essayer une géométrie plus tenace pour la plaquette périphérique (ne pas changer de plaquette centrale).
Trous sousdimensionnés 	Foret rotatif 1. Augmenter le débit d'arrosage, nettoyer le filtre, nettoyer les orifices d'arrosage du foret. 2. Essayer une géométrie plus tenace pour la plaquette centrale et une géométrie plus légère pour la plaquette périphérique.	Foret statique 1. Statique : Vérifier l'alignement sur le tour. 2. Statique : Faire tourner le foret de 180°. 3. Essayer une géométrie plus tenace pour la plaquette centrale (conserver la géométrie périphérique).
Téton dans le trou 	Foret rotatif 1. Augmenter le débit d'arrosage, nettoyer le filtre, nettoyer les orifices d'arrosage du foret. 2. Essayer une autre géométrie pour la plaquette périphérique et ajuster l'avance en fonction des conditions de coupe recommandées. 3. Utiliser un porte-à-faux plus court. 4. Réduire l'avance en entrée de trou sur 3 mm.	Foret statique 1. Vérifier l'alignement sur le tour. 2. Augmenter le débit d'arrosage, nettoyer le filtre, nettoyer les orifices d'arrosage du foret. 3. Utiliser un porte-à-faux plus court. 4. Essayer une autre géométrie pour la plaquette périphérique et ajuster l'avance en fonction des conditions de coupe recommandées.
Vibrations 	1. Raccourcir le porte-à-faux, augmenter la stabilité de la pièce. 2. Réduire la vitesse de coupe. 3. Essayer une autre géométrie pour la plaquette périphérique et ajuster l'avance en fonction des conditions de coupe recommandées.	
Couple machine insuffisant  M_c Nm (lbf-ft)	1. Réduire l'avance. 2. Sélectionner une géométrie de coupe légère pour réduire les forces de coupe.	

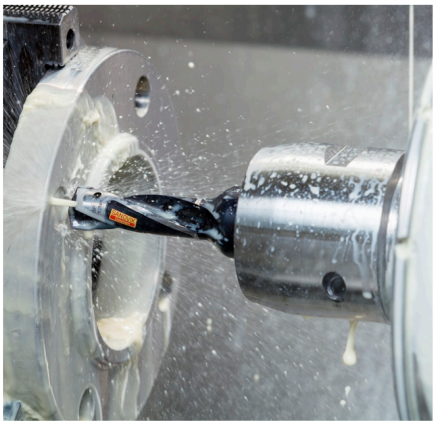
Problème	Solution
Puissance machine insuffisante  P_C kW (HP)	1. Réduire la vitesse de coupe. 2. Réduire l'avance. 3. Sélectionner une géométrie de coupe légère pour réduire les forces de coupe.
Trou non symétrique 	Le trou s'élargit au fond (à cause d'un bourrage de copeaux au niveau de la plaquette centrale) 1. Augmenter le débit d'arrosage, nettoyer le filtre, nettoyer les orifices d'arrosage du foret. 2. Essayer une autre géométrie pour la plaquette périphérique et ajuster l'avance en fonction des conditions de coupe recommandées. 3. Utiliser un porte-à-faux plus court.
Durée de vie trop courte 	1. Augmenter ou réduire l'avance en fonction du type d'usure. 2. Sélectionner une géométrie de coupe légère pour réduire les forces de coupe. 3. Augmenter l'avance
Vis de plaquettes cassées 	1. Utiliser une clé dynamométrique pour serrer les vis, utiliser un dégrippant. 2. Vérifier et changer les vis de plaquette régulièrement.
Mauvais états de surface 	1. Important pour avoir un bon contrôle des copeaux. 2. Réduire l'avance (s'il est important de conserver v_f, augmenter la vitesse aussi). 3. Augmenter le débit d'arrosage, nettoyer le filtre, nettoyer les orifices d'arrosage du foret. 4. Raccourcir le porte-à-faux, augmenter la stabilité de la pièce.
Bourrage de copeaux dans les goujures du foret 	Provoqué par les copeaux longs 1. Vérifier la géométrie et les conditions de coupe. 2. Augmenter le débit d'arrosage, nettoyer le filtre, nettoyer les orifices d'arrosage du foret. 3. Réduire l'avance si elle est en dehors des conditions de coupe recommandées. 4. Augmenter la vitesse si elle est inférieure aux conditions de coupe recommandées.

Usure de l'outil – forets à plaquettes indexables

Problème	Cause	Solution
Usure en dépouille		
	a) Vitesse de coupe trop élevée. b) Nuance insuffisamment résistante à l'usure.	a) Réduire la vitesse de coupe. b) Sélectionner une nuance plus résistante à l'usure.
Usure en cratère		
	Plaquette périphérique • Usure par diffusion provoquée par une température trop élevée sur la face de coupe. Plaquette centrale : • Usure par abrasion provoquée par une arête rapportée avec arrachement du revêtement.	Plaquette périphérique • Sélectionner une nuance plus résistante à l'usure. • Réduire la vitesse. Plaquette centrale : • Réduire l'avance. Cas général : • Utiliser une géométrie plus positive, par ex. -LM.
Déformation plastique (plaquette périphérique)		
	a) Température de coupe (vitesse de coupe) trop élevée et forte pression (avance, dureté de la matière). b) Résultat final d'une usure en dépouille ou d'une usure en cratère excessives.	a–b) Choisir une nuance plus résistante à l'usure et à la déformation plastique. a – b) Réduire la vitesse de coupe. a) Réduire l'avance.
Écaillage		
	a) Nuance pas assez tenace. b) Géométrie de plaquette trop fragile. c) Arête rapportée. d) Surface irrégulière. e) Stabilité insuffisante. f) Inclusions de sable (fontes).	a) Choisir une nuance plus tenace. b) Choisir une géométrie plus résistante. c) Augmenter la vitesse de coupe ou sélectionner une géométrie plus positive. d) Réduire l'avance en entrée. e) Stabilité insuffisante. f) Choisir une géométrie plus résistante. Réduire l'avance.

Problème	Cause	Solution
Arête rapportée		
	a) Faible vitesse de coupe (température trop basse au niveau de l'arête de coupe). b) Géométrie trop négative. c) Matière très collante comme certains aciers inoxydables et l'aluminium. d) Teneur en huile du liquide de coupe trop faible.	a) Augmenter la vitesse de coupe ou utiliser une nuance revêtue. b) Sélectionner une géométrie plus positive, par exemple -LM. c-d) Augmenter la concentration d'huile soluble et la pression/le débit d'arrosage.

Évacuation des copeaux - recommandations générales

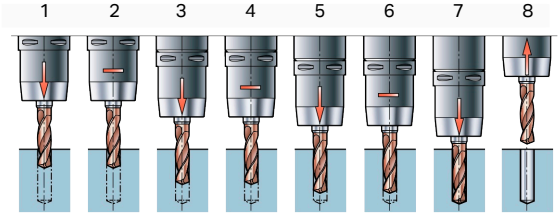


Points à vérifier et solutions

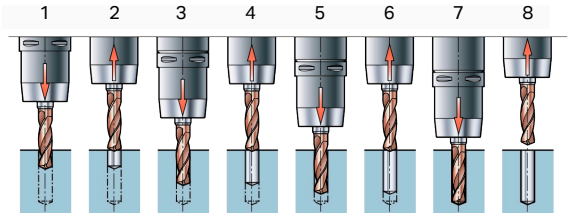
1. Vérifier si les bonnes conditions de coupe et la bonne géométrie sont utilisées.
2. Examiner la forme des copeaux (comparer avec l'image page E 26).
3. Vérifier s'il est possible d'augmenter le débit et la pression du liquide de coupe.
4. Contrôler les arêtes de coupe. L'écaillage d'une arête peut être à l'origine de copeaux longs et divisés. Une grosse arête rapportée peut dégrader la formation des copeaux.
5. Vérifier si l'usinabilité a changé, par exemple à cause d'un changement de coulée. Il peut être nécessaire d'ajuster les conditions de coupe.
6. Ajuster l'avance et la vitesse. Voir le diagramme page E 18.

Perçage incrémental – Forets carbure monobloc et forets à embout amovible

Appliquer le perçage incrémental avec un cycle de débourrage si aucune autre solution n'est possible.
Il existe deux façons différentes d'effectuer un cycle de débourrage :

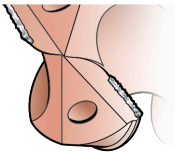
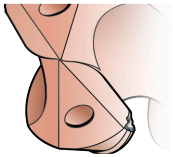
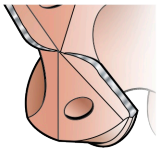
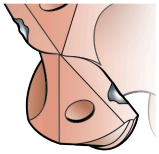
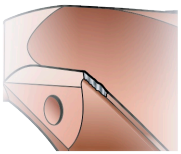


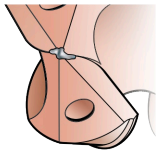
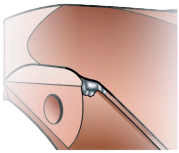
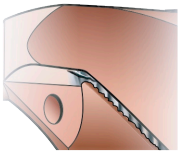
- Méthode 1 - meilleure productivité
Ne pas sortir le foret de plus de 0.3 mm (.012 pouce) environ par rapport au fond du trou. Il est aussi possible d'effectuer des arrêts périodiques en gardant le foret en rotation avant de poursuivre le perçage.



- Méthode 2 - meilleure évacuation des copeaux
Après chaque cycle de perçage, sortir le foret du trou pour garantir l'absence de copeaux collés sur le foret.

Usure des outils – Forets carbure monobloc et forets à embout amovible

	Cause	Solution
Arête rapportée		
	1. Vitesse de coupe trop faible et température trop élevée 2. Biseau négatif trop grand 3. Pas de revêtement 4. Concentration du liquide de coupe en huile trop faible	1. Augmenter la vitesse de coupe ou utiliser l'arrosage extérieur 2. Arête de coupe plus vive 3. Revêtement de l'arête 4. Augmenter la concentration du liquide de coupe en huile
Ecaillage de la pointe		
	1. Bridage instable 2. Faux-rond trop important 3. Coupe intermittente 4. Arrosage insuffisant (fissures thermiques) 5. Serrage de l'outil insuffisant.	1. Vérifier l'attachement 2. Vérifier le faux-rond radial 3. Réduire l'avance 4. Vérifier l'adduction de liquide de coupe 5. Vérifier le porte-outil
Usure en dépouille des arêtes de coupe		
	1. Vitesse de coupe trop élevée 2. Avance trop faible 3. Nuance trop tenace 4. Adduction de liquide de coupe insuffisante	1. Réduire la vitesse de coupe 2. Augmenter l'avance 3. Utiliser une nuance plus résistante 4. Vérifier l'adduction de liquide de coupe
Ecaillage de l'arête		
	1. Conditions instables 2. Dépassement de l'usure maximale autorisée 3. Nuance trop résistante	1. Vérifier le montage 2. Remplacer le foret plus tôt 3. Utiliser une nuance plus tenace
Usure des listels		
	1. Faux-rond trop important 2. Arrosage insuffisant 3. Vitesse de coupe trop élevée 4. Matière abrasive	1. Vérifier le faux-rond radial 2. Utiliser de l'huile entière ou une émulsion plus forte 3. Réduire la vitesse de coupe 4. Utiliser une nuance plus résistante

	Cause	Solution
Usure de l'arête transversale		
	1. Vitesse de coupe trop basse 2. Avance trop rapide 3. Arête transversale trop petite	1. Augmenter la vitesse de coupe 2. Réduire l'avance 3. Vérifier les dimensions
Usure due à la déformation plastique		
	1. Vitesse de coupe et/ou avance trop élevées 2. Arrosage insuffisant 3. Nuance ou foret non adapté	1. Réduire la vitesse de coupe et/ou l'avance 2. Augmenter la pression du liquide de coupe 3. Sélectionner une nuance plus résistante
Usure en peigne (fissures thermiques)		
	1. Liquide de coupe irrégulier	1. Vérifier l'adduction de liquide de coupe 2. Remplir le réservoir de liquide de coupe