

Vous pensez **productivité**, Pensez **HSS**

BROCHAGE

OUTILS DE BROCHAGE

- 2 Les bases du brochage
- 3 Avantages du brochage
- 4 Zoom sur une broche
- 5 Quel acier rapide pour un rendement maximum ?
- 6 Revêtements pour les meilleures performances
- 7 Lexique
- 8 Deux conceptions classiques de broches
- 9 Brochage intérieur : trous ronds et carrés
- 10 Brochage intérieur : cannelures
- 11 Brochage extérieur
- 12 Brochage par traction et par poussée

13 Pas de denture

14 Copeaux de brochage

15 Dimensions

16 Broches intérieures : types d'embouts

PROCEDE DE BROCHAGE

17 Vitesses de coupe typiques

18 Fluides de coupe

19 Problèmes courants en brochage

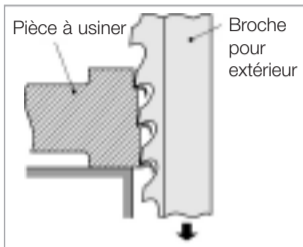
20 Usure

21 Calcul de l'effort de brochage

22 Le brochage dans l'aéronautique

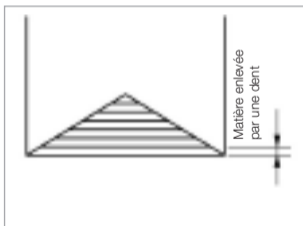
23 Le brochage dans l'automobile

24 Le brochage au quotidien

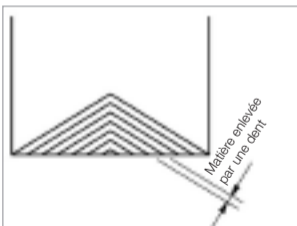


Procédé de brochage extérieur

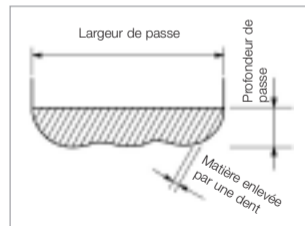
- Le brochage est une opération d'usinage dans laquelle l'outil a un déplacement linéaire.
- La forme de l'outil est la même que celle de la pièce et le procédé est bien adaptée à la production de sections complexes.
- En brochage, chaque dent enlève progressivement de la matière pour produire progressivement la forme finale.
- Toutes les opérations (ébauche, demi-finition, finition) sont réalisées en une seule passe.
- Recommandé pour les grandes séries, le brochage est une technologie alternative au perçage, alésage, tournage, rectification et à l'électroérosion.
- Pré requis : la surface à brocher doit être parallèle à la direction du déplacement de la dent.



Usinage conventionnel



Usinage de forme



Coupe par génération

Le procédé de brochage est extrêmement précis. Le rendement obtenu pour des productions de grande série n'est égalé par aucun autre procédé. Le brochage est particulièrement adapté à l'industrie automobile, où de hauts niveaux de rendement et de précision sont exigés.

- **Temps de cycle réduit**

Les pièces sont produites en une seule passe (demandant habituellement moins d'une minute). Avec les autres procédés d'usinage, de multiples opérations sont nécessaires à la réalisation de formes complexes et/ou irrégulières.

- **Procédé ayant une précision et une répétitivité excellentes**

Les déplacements linéaires impliquent une variabilité du procédé réduite.

- **De très bons états de surface**

Une très bonne qualité est obtenue en une seule passe. La dernière dent de la broche polit ou rode la pièce.

- **Durée de vie d'outil importante**

Chaque dent de la broche ne rentre en contact avec la surface à usiner qu'une seule fois par cycle. Par conséquent, une broche peut produire une grande quantité de pièces avant d'être réaffûtée.

- **Maintenance et apprentissage aisés**

Les machines de brochage ne sont pas de conception complexe. De plus, le chargement et le déchargement des pièces peuvent être aisément automatisés.

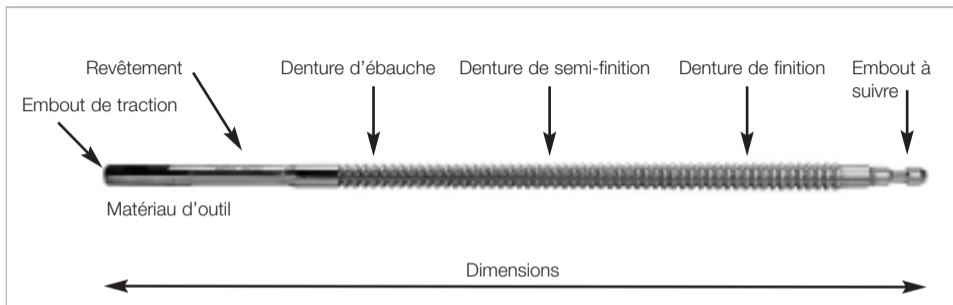
- **Coûts de fabrication extrêmement compétitifs**

Pour une productivité accrue, d'importants lots de pièce peuvent être brochés en une passe.

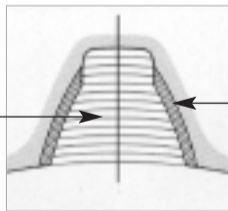


LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Souvenez-vous que, sur une broche, la section de finition est plus grande que la section d'ébauche.



Métal enlevé par la denture d'ébauche



Métal enlevé par la denture de finition

**LE CONSEIL DE
L'OUTILLEUR**

*Pour des séries
importantes,
augmentez
votre productivité
avec des broches
en acier rapide fritté*

HSS

- Pour les matériaux faciles à usiner comme l'aluminium, le magnésium, les aciers de décolletage (Rm < 800 Mpa)
- Utilisation en diminution

HSS-E

- Choix de base
- Pour les matériaux tels que les aciers, les inoxydables et les fontes (Rm < 1000 Mpa)

HSS-PM
(métallurgie
des poudres)

- Pour une productivité accrue et des durées de vie d'outil plus longues
- Pour les alliages de nickel et les alliages de titane
- Permet l'usinage à sec



LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Pour des performances encore meilleures, combinez un revêtement avec un acier rapide fritté

TiN
Or

- Choix de base
- Augmentation de la résistance à l'abrasion
- Pour une durée de vie d'outil plus longue

TiAIN ou TiAlCN
Noir-violet

- Pour de grandes vitesses et une haute productivité, spécialement dans les aciers
- Adaptable également à la micropulvérisation ou à l'usinage à sec

Acier
C45

HISTOIRE D'UN SUCCÈS

Opération

- Grande vitesse de brochage avec une broche HSS-PM revêtue TiAIN et micro-pulvérisation

Longueur de coupe

- 30 mm

Avantages par rapport à l'usinage avec une broche HSS Co lubrifiée à l'huile

- **Vitesse de coupe x10** (v_c 50 m/min contre 5 m/min)
- **25 % de durée de vie en plus**
- Meilleur état de surface
- 15 % de réduction du coût par pièce et baisse de la consommation d'énergie

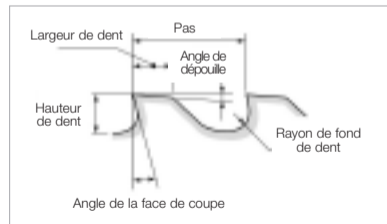
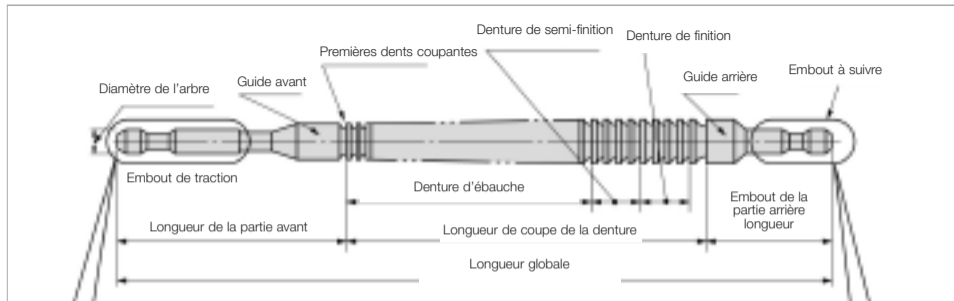
UNE BROCHE DANS LE MONDE

Anglais :
a broach

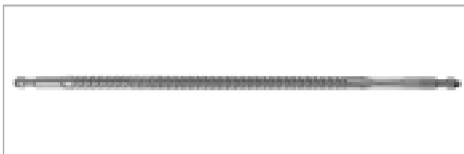
Allemand :
ein Raumwerkzeug

Italien :
una broccia

Espagnol :
una brocha



Forme de la dent



Broche monobloc

Le choix de base



Broche assemblée

Les broches assemblées sont composées de plusieurs segments de broches

- + Précision accrue de la pièce à usiner
- + Longueur d'outil plus importante qu'avec les broches monoblocs
- + Broches aux formes complexes non réalisables en une seule partie

LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Le brochage est la seule solution pour réaliser des trous carrés avec des angles vifs



Brochage de trous circulaires

Les broches rondes sont utilisées pour des trous de grande précision. Il existe plusieurs types de broches rondes : broche à coupe rotative utilisées pdans les fontes sans pré-usinage, broches à double coupe et broches à polir pour améliorer l'état de surface.



Brochage de trous carrés

Les broches plates et carrées sont utilisées pour produire des trous de forme similaire.



Brochage de trous de serrure

Les broches de trous de serrure sont couramment utilisées, souvent avec un guide qui permet de renforcer la broche lors de la passe.

Lorsque la broche n'est pas assez longue pour usiner une pièce en trou de serrure en une seule passe, un " suiveur " est placé entre la broche et le guide. Ceci permet d'avoir une longueur utile de broche deux à trois fois supérieure.



Brochage de cannelures

Les broches à canneler sont utilisées pour la finition des cannelures droites ou spirales.



Les broches à cannelures spirales sont utilisées dans la production automobile. Elles sont disponibles avec des dents rondes sur le devant ou sur l'arrière, ou avec des dents cannelées et rondes alternées pour diminuer l'excentricité sur les diamètres intérieurs ou extérieurs d'une cannelure



Brochage de cannelures latérales parallèles

Les broches à cannelures latérales parallèles sont habituellement employées dans des pièces de guidage ou la production de pièces de machine.



Brochage de dentures

Une broche combinée, avec cannelures et dents rondes, peut diminuer l'excentricité sur le diamètre mineur et principal d'une cannelure.



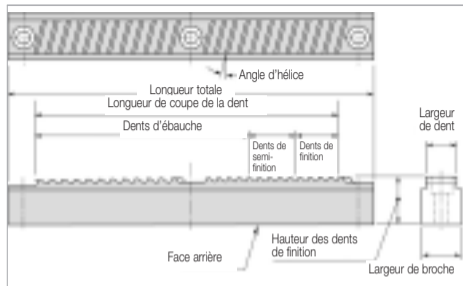
Brochage de formes spéciales

Des cannelures hélicoïdales peuvent également être brochées avec des broches à dents en spirale. Les dents sont rectifiées suivant une trajectoire hélicoïdale autour de l'axe d'outil. L'angle de l'hélice correspond à ce qui est exigé pour l'opération.

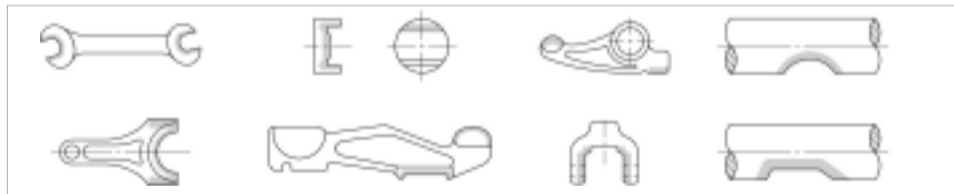
LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Pour les grandes séries, le brochage est une bonne alternative au perçage.

La précision s'améliore également !



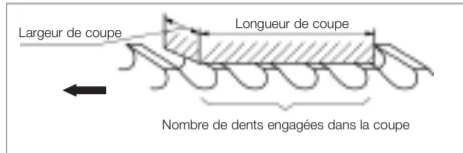
Broche pour extérieur



Exemples de pièces brochées

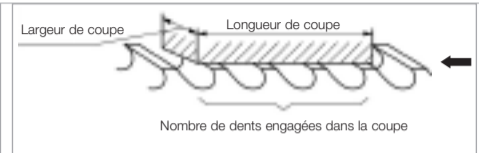
Broche pour extérieur

- Les broches à surfacer sont utilisées pour enlever de la matière sur les surfaces extérieures.
- Le brochage extérieur est souvent réalisé sur des machines verticales, dont la broche peut être aussi bien tirée que poussée.
- La broche est habituellement fixée à la machine sur toute sa longueur.



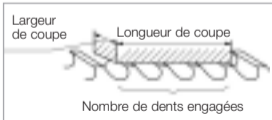
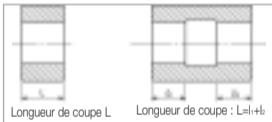
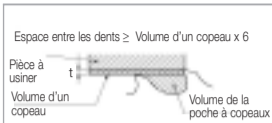
Le brochage par traction

- Le brochage est généralement effectué par traction



Le brochage par poussée

- Lorsque la quantité de pièces à usiner est relativement faible, le brochage par poussée est utilisé
- Les broches à pousser ont des durées de vie courtes, en raison des frottements qui surviennent lors du retour
- Le brochage par poussée peut aussi être réalisé sur des centres d'usinage ou sur des tours



Pas et poche à copeaux

- Le pas est déterminé en fonction de la quantité de métal enlevé par une dent (t = épaisseur du copeau). Pour prévenir les bourrages de copeaux, le volume de la poche à copeaux doit être 6 fois plus grand que le volume du copeau (longueur de coupe x largeur du copeau).

Pas variable

- Pour prévenir les marques sur la surface finie, on utilise 2 ou 3 pas différents de longueurs inégales.

Pas et longueur de coupe

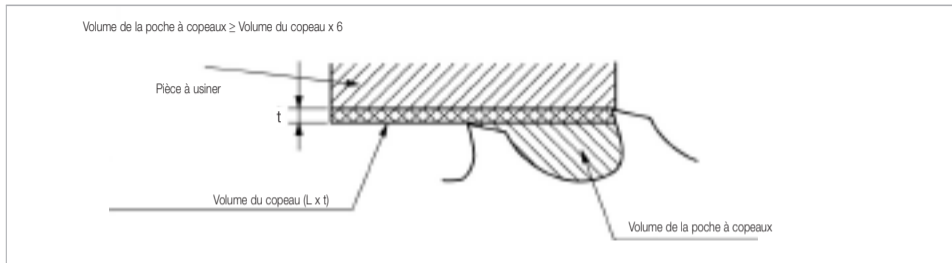
- Pas $P = 1,2$ à $2 \sqrt{L}$

Nombre de dents engagées

- En règle générale, plusieurs dents coupent simultanément.
Nombre de dents engagées = Longueur de coupe / pas (ce nombre ne doit pas être entier).

LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Le volume de la poche à copeaux doit être six fois plus grand que le volume d'un copeau

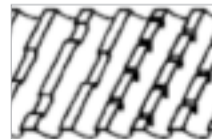


Brise-copeaux

Les brise-copeaux sont utilisés sur les broches pour prévenir les bourrages et pour faciliter l'évacuation des copeaux. Sans eux, la broche produirait des copeaux en forme d'anneaux, qui s'enrouleraient dans la goujure pouvant provoquer une casse de l'outil.

Les brise-copeaux sont rectifiés parallèlement à l'axe de l'outil.

Les brise-copeaux sont placés en quinconce une dent sur deux de manière à ce que chaque brise-copeaux soit suivi par une arête de coupe.

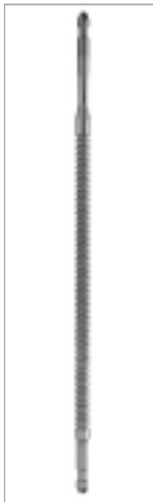


Brise-copeaux sur une broche plate

LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Les broches sont souvent des outils très longs, de 5 à 100 fois le diamètre, voire plus.

Pour éviter tout dommage pendant le stockage, les broches doivent être suspendues verticalement.



Petites broches

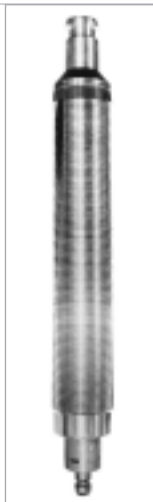
Exemples :

Broches rondes à rainurer

- Largeur : 0,4181 mm
- Diamètre : 3,175 mm
- Longueur : 332 mm

Broche carrée

- Largeur du carré : 2,3 mm
- Longueur : 220 mm



Grandes broches

Exemple :

Brochage de dentures intérieures

- Diamètre : 290 mm
- Longueur : 2150 mm

Les broches sont habituellement des outils très longs, de 5xD jusqu'à 100xD, voire plus.

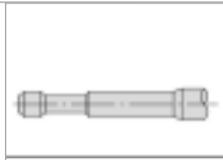
**LE CONSEIL DE
L'OUTILLEUR**

*Le choix des embouts
de traction
et à suivre dépend
du type de
machine utilisé.
Ne pas oublier que
les diamètres des
deux embouts
doivent être plus
petits que le trou
de pré-brochage*

EMBOUITS DE TRACTION



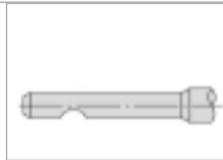
Claveté



Mors/pinces

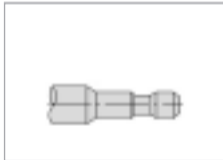


Fileté

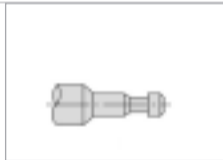


Goupillé

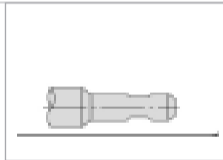
EMBOUITS A SUIVRE



Mors/pinces



Gorge ronde



Trapézoïdal

LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

De très grandes vitesses peuvent être atteintes grâce aux nouveaux matériaux HSS-PM et aux nouveaux revêtements

- La vitesse de coupe influence directement la précision du brochage, l'état de surface de la pièce finie, et la durée de vie de l'outil.

Matériau à usiner	Broche HSS	Broche HSS Co	Broche HSS-PM revêtue
Acier	3-8	3-10	3-60*
Acier inoxydable - dur	2-5	2,5-4	2,5-5
Acier inoxydable pour décolletage	4-6	4-8	4-10
Fonte	8-10	8-12	8-60*
Cuivre	8-10	8-12	8-60*
Bronze	8-10	8-12	8-60*
Aluminium	8-10	8-12	8-80*
Magnésium	8-10	8-12	8-80*

** Une machine spéciale est nécessaire*

Les fluides de coupe en brochage

- Le refroidissement est essentiel en brochage. Abaisser la température de 50° C peut augmenter la durée de vie de l'outil de 50 %. Une lubrification insuffisante peut aussi bloquer l'opération de brochage.
- Le type de réfrigérant utilisé en brochage aura des effets sensibles sur le nombre de pièces brochées, la précision, et le rendement.
- Les réfrigérants à faible pouvoir lubrifiant ou faiblement dopé peuvent causer une usure rapide des dents, et ainsi produire des états de surface moins bons sur pièces finies. Si la viscosité est trop élevée, les copeaux s'évacuent mal, provoquant une baisse de rendement. Généralement, les grandes viscosités sont recommandées pour les machines horizontales plutôt que pour les machines verticales.
- L'huile entière est recommandée pour le brochage avec des additifs pour bas coefficient de friction. Le choix du fluide de coupe dépend aussi du type de machine de brochage.

- Les fluides solubles sont de plus en plus utilisés pour améliorer le refroidissement aux grandes vitesses de coupe ou pour les matériaux résistants à la chaleur. L'utilisation d'huiles solubles est recommandée pour éviter d'avoir à nettoyer les pièces, et pour réduire les risques d'incendie.

Lubrification minimum (MQL)

- La micro-pulvérisation se développe aussi pour ce procédé d'usinage.
- La micro-pulvérisation rend le nettoyage des pièces inutile et est peu polluante.
- Des résultats spectaculaires peuvent être atteints avec des revêtements TiAlN et des aciers HSS-PM (voir tableau page 6).



Problème	Solutions
Précision dimensionnelle (pièces trop fortes, trop faibles)	Réaffûter plus tôt. Améliorer l'orientation du fluide de coupe. Vérifier qu'il n'y a pas de bavures sur une dent. Vérifier la précision dimensionnelle de la broche. Vérifier la pièce à usiner.
Défaut de forme et position (ovalisation, voile)	Vérifier l'embout de traction. Vérifier l'angle d'attaque. Vérifier le bridage de la pièce et l'alignement, spécialement si elle comporte des parois minces. Vérifier la longueur de coupe.
Mauvais état de surface	Réaffûter plus tôt. Améliorer l'orientation du fluide de coupe. Augmenter la vitesse Vérifier qu'il n'y a pas de bavures sur une dent. S'assurer qu'il n'y a pas de vibrations.
Durée de vie d'outil trop courte	Réaffûter plus tôt. Améliorer l'orientation du fluide de coupe. Utiliser une broche HSS-PM et des revêtements. S'assurer qu'il n'y a pas de vibrations. Augmenter la longueur de guidage.



Usure en dépouille

- Mode d'usure normal
- Réduire la vitesse de coupe (v_c)
- Utiliser une broche en acier rapide fritté revêtue
- Augmenter le débit du fluide de coupe

Usure en cratère

- Doit être limitée
- Réduire la vitesse de coupe (v_c)
- Utiliser une broche revêtue pour supprimer l'usure chimique
- Vérifier le débit et l'orientation du fluide de coupe

Déformation

- Doit être évitée
- Réduire la vitesse de coupe (v_c)
- Augmenter le débit du fluide de coupe
- Utiliser une broche revêtue



- Force de coupe estimée = largeur de coupe (mm)
 x profondeur de coupe / dent (mm)
 x nombre de dents engagées
 x résistance spécifique de coupe (kN/mm²)
- Charge de sécurité (kN) = 1,8 x chargement estimé

Matériau à usiner	Profondeur de coupe/dent (mm)			Résistance spécifique de coupe (N/mm ²)
	Broche ronde	Broche à canneler	Broche à surfacer	
Aciers au carbone	0,010-0,020	0,025-0,030	0,030-0,070	3000 - 4000
Aciers alliés	0,010-0,020	0,025-0,030	0,030-0,070	3000
Fontes	0,025-0,040	0,025-0,040	0,050-0,075	2000
Fontes malléables	0,025-0,035	0,025-0,035	0,050-0,075	1300-3000
Aciers inoxydables	0,020-0,030	0,020-0,030	0,030-0,060	4000
Alliages non-ferreux	0,035-0,050	0,030-0,040	0,060-0,100	1000-2000

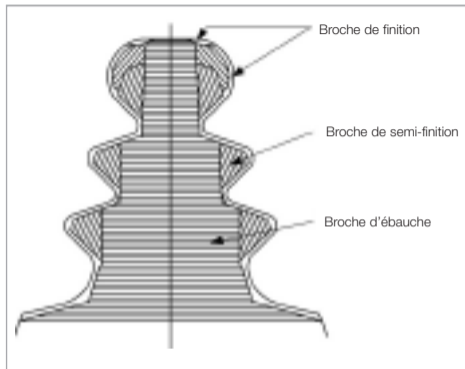
Exemple de calcul

Brochage de cannelures parallèles 20 x 16 x 4 x 6SP dans un acier allié

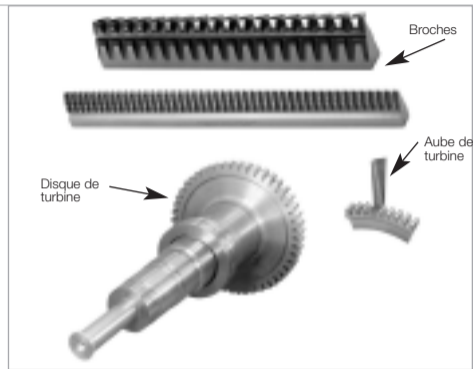
- Longueur de coupe = 25 mm
 - Pas : $1,5 \times \sqrt{25} = 7,5$ mm
 - Nombre de dents engagées : $25/7,5 = 3,4 \rightarrow 4$
 - Profondeur de coupe par dent : 0,025 mm
 - Résistance de coupe : 3 kN/mm²
- } → {
- Chargement estimé : $(4 \times 6) \times 0,025 \times 3 \times 4 = 7,2$ kN
 - Charge de sécurité : $1,8 \times 7,2 = 13$ kN

LE CONSEIL DE L'OUTILLEUR

Les broches en pied de sapin sont utilisées pour produire les ancrages de pieds d'aubes sur les disques de turbine pour l'aéronautique ou pour l'industrie de l'énergie

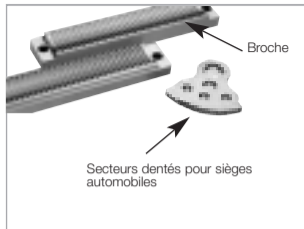


Profil d'une broche en pied de sapin

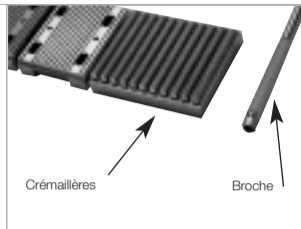


**LE CONSEIL DE
L'OUTILLEUR**

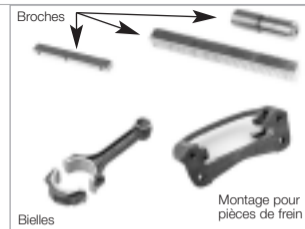
*Les broches sont
très rentables pour
la production
de masse
de composants
destinés
à l'automobile*



Brochage de secteurs dentés



Brochage de crémaillères



**Brochage de bielles et de
disques de frein**



Le brochage des trous de serrure