

■ Cet ouvrage s'adresse à tous ceux, élèves de lycées professionnels, auditeurs de la formation continue, apprentis, qui doivent comprendre et résoudre les problèmes concrets liés à la production de produits industriels.

■ Ce guide pratique expose simplement, et avec rigueur :

- la démarche productique ;
- l'étude des porte-pièces (dédiés, modulaires) ;
- l'outillage et les outils avec les conditions de coupe ;
- l'usinage C.N. et conventionnel ;
- la programmation ISO, P.G.P., paramétrée ;
- la métrologie (vérificateurs, M.M.T.) ;
- les coûts de production ;
- la qualité (S.P.C.) ;
- la gestion de production.

Collection Guides pratiques industriels :

- Guide pratique du dessin technique  
A. CHEVALIER
- Guide pratique de l'usinage - 1. Fraisage  
L. RIMBAUD, G. LAYES, J. MOULIN
- Guide pratique de l'usinage - 2. Tournage  
J. JACOB, Y. MALESSON, D. RICQUE
- Guide pratique de l'usinage - 3. Ajustage-Montage  
P. PLASSARD, G. DEFOUR, G. POBLE
- Guide pratique de l'électronique  
R. BOURGERON
- Guide pratique de l'électrotechnique  
A. DOMENACH, J.-C. MAUCLERC, M. UFFREDI

16/7037/1



782011 670373

**H** HACHETTE  
Technique

M 015/4

INDUSTRIELS

A. CHEVALIER, J. BOHAN  
A. MOLINA

HACHETTE  
Technique  
GUIDE  
PRATIQUE DE  
LA PRODUCTIQUE

GUIDE PRATIQUE DE LA PRODUCTIQUE

design graphique GRAPHIR / Photo MISLER



**H** HACHETTE  
Technique

**« La Productique est au cœur du monde en mouvement. »**

Cet ouvrage est destiné à tous ceux qui dans leurs activités devront :

- préparer des processus opératoires,
- préparer des portes-pièces,
- prérégler des outils et des outillages,
- mettre en œuvre des procédures de fabrication,
- contrôler des productions,
- participer à la mise en œuvre de procédures de diagnostics,
- contribuer à la maintenance de moyens de production,
- intégrer la sécurité et la protection tant individuelle que collective,
- assurer la qualité des produits fabriqués.

Nous avons pensé tout particulièrement aux élèves des lycées professionnels et des centres de formation pour qu'ils aient des bases solides leur permettant d'évoluer dans leur vie scolaire et professionnelle.

Afin de poursuivre le contact avec les utilisateurs, nous remercions vivement ceux qui voudront bien nous faire part de leurs observations et de leur suggestions.

Nous espérons que ce **Guide pratique de la productique**, compagnon du **Guide pratique du dessin technique**, sera un outil de travail efficace et agréable.

**NOTE GÉNÉRALE :**

Notre souci est de donner à l'utilisateur l'essentiel des éléments pratiques pour une autonomie suffisante. Il va de soi, toutefois, que les extraits de normes officielles ou les extraits de documentations de fabricants ne sauraient, dans la vie professionnelle, remplacer les documents originaux et qu'il convient de s'y reporter.

Composition et schémas : SG Production  
Photographie de couverture : P.S.A.

© HACHETTE LIVRE 2000, 43, quai de Grenelle 75905 Paris Cedex 15

I.S.B.N. 2.01.16.7037.3

[www.hachette-education.com](http://www.hachette-education.com)

Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des articles L. 122-4 et L. 122-5, d'une part que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et, d'autre part, que « les analyses et les courtes citations » dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite ». Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, sans autorisation de l'éditeur ou du Centre Français de l'exploitation du droit de Copie (20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris) constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

**ÉTUDE DU PRODUIT**

1	Démarche productique	6
2	Prise de pièce	7
3	Symbolisation géométrique	9
4	Symbolisation technologique	14
5	Symbolisation d'un palpage	17
6	Transferts de cotes	18
7	Contraintes d'usinage	20
8	Processus particuliers	24
9	Contrat de phase	28

**ÉTUDE DU PORTE-PIÈCE - OUTILLAGE**

10	Éléments de mise en position	30
11	Montages entre-poinées	32
12	Mandrins de tour	33
13	Pinces de serrage	34
14	Étaux	35
15	Brides	36
16	Crampons plaqueurs	38
17	Guides de perçage et d'alésage	39
18	Cônes - Rainures à T	40
19	Attachements	42
20	Système de montages modulaires	44
21	Schéma d'assemblage	50
22	Qualification géométrique	52

**TECHNIQUES DE PRODUCTION**

23	Coupe des matériaux	53
24	Éléments de coupe	57
25	Durée de vie d'un outil	59
26	Lubrification	61
27	Temps de fabrication	62
28	Incidents d'usinage	64
29	Tournage - Génération des surfaces	65
30	Tournage - Outils en acier rapide	69
31	Tournage - Outils en carbure	73
32	Tournage - Conditions de coupe	82
33	Tournage - Calcul de puissance	84
34	Tournage - Application	85
35	Perçage - Génération des surfaces	86
36	Perçage - Outils	87
37	Perçage - Conditions de coupe	90
38	Perçage - Calcul de puissance	91
39	Perçage - Application	92
40	Alésage - Génération des surfaces	93
41	Alésage - Outils	94
42	Alésage - Application	97
43	Fraisage - Génération des surfaces	99
44	Fraisage - Fraises en acier rapide	103
45	Fraisage - Fraises en carbure	108
46	Fraisage - Conditions de coupe	110
47	Fraisage - Calcul de puissance	112

48	Fraisage - Application	113
49	Filetage	114
50	Filetage - Application	118
51	Taraudage	119
52	Taraudage - Application	121

**COMMANDÉ NUMÉRIQUE**

53	Programmation ISO	122
54	Position des origines - PREF et DEC	126
55	Trajectoires	127
56	Iauges-outils	129
57	Préréglage des outils	130
58	Structure d'un programme	132
59	Cycles de perçage - taraudage	134
60	Décalage angulaire ED	135
61	Cycle de poche G45	136
62	Cycle d'ébauche paraxial G64	137
63	Cycle de gorge G65	138
64	Cycle de filetage G33	139
65	Fonction miroir G51	140
66	Fonction compteur	141
67	Programmation structurée	142
68	Programmation géométrique de profil - P.G.P.	144
69	Programmation paramétrée	146
70	Programmation à choix multiples	148
71	Programmation par familles de pièces	149

**MÉTROLOGIE - MESURE**

72	Tolérances dimensionnelles	152
73	Vérifications dimensionnelles	154
74	Vérifications géométriques	157
75	Machines à mesurer	161
76	Procédés d'élaboration et états de surface	164
77	Vérification des états de surface	165
78	Dureté	166

**QUALITÉ - GESTION - MAINTENANCE**

79	Poste de travail	168
80	Prévention - Sécurité	170
81	Vocabulaire de la maintenance	171
82	Types de maintenance	172
83	Maintenance des outils	174
84	Charge des machines	175
85	Flux de production	176
86	SPC - Cartes de contrôle	178
87	Technologie de groupe	184
88	Codification des pièces	185
89	Classement - Diagramme de Pareto	186
90	Planification - Diagramme de Gantt	187
91	Qualité	188
92	Stocks - Réapprovisionnement	191
93	Coûts	192

# INDEX ALPHABÉTIQUE

**A**

Abaque (éléments de coupe)	58
ABC - Pareto	186
Acier rapide (désignation)	69
Ajustements (tolérances)	152
Alésage	93
Alésoirs cylindriques	94
Angles des outils	54
Appuis	30
Arête d'outil	53
Arrosage	61
Assurance qualité	190
Attachements	42
Audit qualité	190
Axes normalisés	124

**B**

Battement (contrôle - mesure)	160
Bec d'un outil	77
Brides	36
Brinell (dureté)	166
Buissée	30

**C**

Cote de réglage	23
Canons de perçage	39
Capabilité (machine - procédé)	183
Carbure (nuances)	81
Carte de contrôle	178
Cémentation	25-26
Centres d'usinage	88
Cercle de qualité	173
Chaîne de cotes	18
Charge des machines	175
Chevauchement (Gant)	187
Cinq zéros	188
Circularité	158
Coaxialité	159
Codification CETIM-PMG	185
Commande numérique	122
Compteur en C.N.	141
Concentricité (coaxialité)	159
Conditions de coupe :	
- Alésage (alésoirs)	96
- Filetage	117
- Fraisage	110
- Perçage	90
- Taraudage	119
- Tournage	82
Cônes d'emboîtement	40
Contraintes économiques	22
Contraintes géométriques	20
Contraintes technologiques	21
Contraintes d'usage	20
Contrôle de phase	28
Contrôle dimensionnel	154
Conversion (dureté - R <sub>t</sub> )	167
Copeau minimum	53
Côte-condition	18
Côtes de réglage	23
Côte directe	18
Côte fabriquée (Cf)	18
Coupe des matériaux	53
Courbe ABC - Pareto	186
Courbe de Gauss	179
Cotés	192
Crampons plaqueurs	38
Cycles en C.N.	134-139
DEC	126
Décalage angulaire (C.N.)	135
Degrés de liberté	9
Démarche productique	6
Désignation des outils à plaqueuse	80
Diamètre nominal (filetage)	114
Droite de Taylor	59
Durée de vie d'un outil	59
Dureté	166
Écarts normalisés	152
Écart type ( $\sigma$ )	179
Eléments de mise en position	30
Eléments modulaires d'usinage	44
Entraîneurs	32
États de surface (contrôle)	165
États de surface (procédés)	164
Étaux	35
Étendue (W)	180
Éléments de coupe	57

**E**

Kanban	176
--------	-----

**F**

Filetage	114
Famille de pièces	184
Filetage C.N.	139
Flux de production	176
Fonctions G et M en C.N.	123
Forêts	87
Fraisage	99
Fréquence de rotation (n)	57
Fraises en acier rapide	103
Fraises en carbure	108

**G**

Gammes types	185
Gant	187
Géométrie de l'outil	54
Gestion de la qualité	189
Guides de perçage	39

**I**

Identification - Porte-plaqueuse	80
Ilôt de production	176
Incidents d'usinage	64

**J**

Jalonnement (Gant)	187
Jauge-outil	129

**K**

Lamage	89
Limites (carte de contrôle)	180
Longueur (mesure sur M.M.T.)	162
Longueur d'arête plaqueuse	78
Lubrification	61

**M**

Machines à mesurer (M.M.T.)	161
Maintenance	171-172
Maintien en position	8
Maîtrise de la qualité	189
Maîtrise statistique de procédé	178
Mandrins de tours	33
Manuel de la qualité	190
Matériaux	GPDT 48
Mésure en coordonnées	161
Méthodes de fabrication	20
Métrie tridimensionnelle	161
Mise en position	10-30
Mise en position (éléments)	30
M.M.T.	161
Montages entre-pointes	32
Montages modulaires	44
M.S.P. - S.P.C.	178

**N**

Nituration	26
Normales de repérage	9
Nuances de carbure	81
Nombre d'opérations	23
Non qualité	188

**O**

O.P.T.	177
Orientation (arête d'outil)	56
Origines Om, Op, OP (C.N.)	126
Outils à aléser (choix)	95
Outils de filetage	116
Outils de forme (alésage)	94
Outils d'enveloppe (alésage)	96
Outils de fraisage (carbure)	108
Outils de fraisage (rapide)	103
Outils de perçage	87
Outils de tournage (carbure)	73
Outils de tournage (rapide)	69

**P**

Palpage (symbolisation)	17
Parallélisme	158
Pareto (courbe ABC)	186
Pas (filetage)	114

**R**

Rainures à T	41
Rayon de bec d'un outil	77
Rectitude	157
Références simulées	GPDT 68
Réglage (cotes)	23
Vérification dimensionnelle	154
Vérification géométrique	157
Vickers (dureté)	166
Vitesse d'avance ( $V_f$ )	58
Vitesse de coupe ( $V_c$ )	57

**S**

Schéma d'assemblage	50
Sécurité	170
Serrage	8
Sous-programme (C.N.)	150
S.P.C. - M.S.P.	178
Statistique	178
Stocks - Réapprovisionnement	191
Surfaces de départ	7-15
Symbolisation d'un palpage	17
Symbolisation géométrique	9
Symbolisation technologique	14
Système modulaire	44
Système qualité	189

**T**

Tarauds	120
Taylor (droite de)	59
Technologie de groupe	184
Temps de fabrication	62
Temps manuels	62
Temps série	62
Temps techno-manuels	62
Temps technologiques	62
Tolérances dimensionnelles	152
Tournage	69
Trajectoires CN	125
Transfert de cotes	18
Trempe	25

**V**

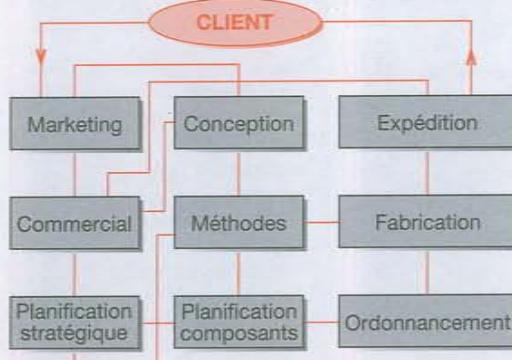
Vérification dimensionnelle	154
Vérification géométrique	157
Vickers (dureté)	166
Vitesse d'avance ( $V_f$ )	58
Vitesse de coupe ( $V_c$ )	57

L'abréviation GPDT suivie d'un numéro signale le chapitre du « Guide pratique du dessin technique » qui traite de cette question.

## Exemples de secteurs d'application



## Liaisons principales entre les services



## LES CINQ OBJECTIFS ULTIMES

Zéro défaut	Tous les produits doivent être conformes aux spécifications requises.
Zéro délai	Les produits sont livrés au bon moment : ni trop tôt, ni trop tard.
Zéro stock	On fabrique au bon moment, ce dont le client a besoin.
Zéro papier	On ne produit pas de papier inutile.
Zéro panne	Les machines sont disponibles chaque fois que l'on en a besoin et les produits fabriqués sont fiables.

Photos : Photothèque Lanoë, Photothèque Aérospatiale, Photothèque Pechiney.

La démarche productique s'applique à tout produit fabriqué industriellement et ceci quel que soit le secteur d'activité concerné (aéronautique, agroalimentaire, automobile, armement, électricité, électronique, informatique, construction navale, industrie pharmaceutique...).

Cette démarche permet notamment la maîtrise et l'optimisation :

- de la conception d'un produit,
- de la mise au point d'un procédé,
- de la gestion de la production,
- de la compétitivité de la productivité.

DÉMARCHE PRODUCTIQUE	Produit
	Procédé
	Production
	Productivité

$$\text{Productivité} = \frac{\text{Quantité de produits}}{\text{Coût de la fabrication}}$$

La démarche productique est globale, elle concerne tous les services et elle implique tous les acteurs concernés.

Il en résulte une utilisation généralisée de l'informatique à tous les niveaux :

- conception assistée par ordinateur (C.A.O.),
- dessin assisté par ordinateur (D.A.O.),
- gestion de production assistée par ordinateur (G.P.A.O.),
- fabrication assistée par ordinateur (F.A.O.),
- maintenance assistée par ordinateur (M.A.O.),
- gestion de la qualité assistée par ordinateur (G.Q.A.O.)

La mise en œuvre de la démarche productique nécessite une liaison entre tous les services concernés.

## EXEMPLE

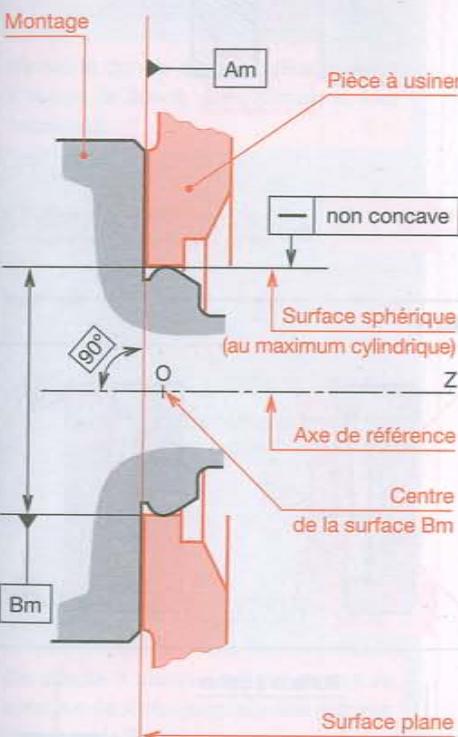
## REMARQUE

Les surfaces **Ap** et **Bp** constituent un système de références ordonnées :

- **Ap** est la référence primaire et donne l'orientation de l'axe (l'axe est perpendiculaire au plan **Ap**),
- **Bp** est la référence secondaire et définit la position de l'axe (l'axe passe par le centre du centrage court **Bp**).

\* Voir GPDT 16.3.

## Surfaces de mise en position



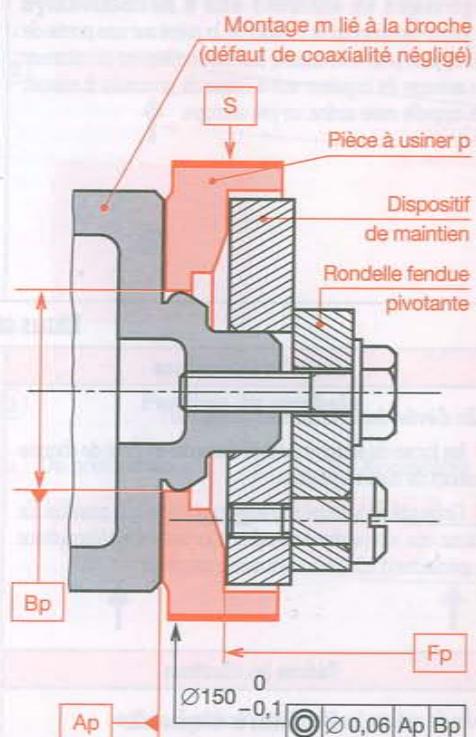
La pièce en contact avec les surfaces **Am** et **Bm** du montage, conserve un degré de liberté en rotation autour de l'axe **OZ**. La mise en position a donc éliminé 5 degrés de liberté :

- 3 sont éliminés par la portion de plan **Am**,
- 2 sont éliminés par la portion de sphère **Bm**.

## RÈGLE

La mise en position d'une pièce est caractérisée par les degrés de liberté qu'elle élimine.

## Montage de tournage



Les surfaces de la pièce, en contact avec le montage sont **Ap**, **Bp** et **Fp**.

- **Ap** et **Bp** assurent la **mise en position** de la pièce,
- **Fp** reçoit l'effort de **maintien en position**.

## RÈGLE

Une prise de pièce est définie si on connaît :

- les surfaces qui assurent la mise en position,
- les surfaces qui reçoivent les efforts de maintien en position.

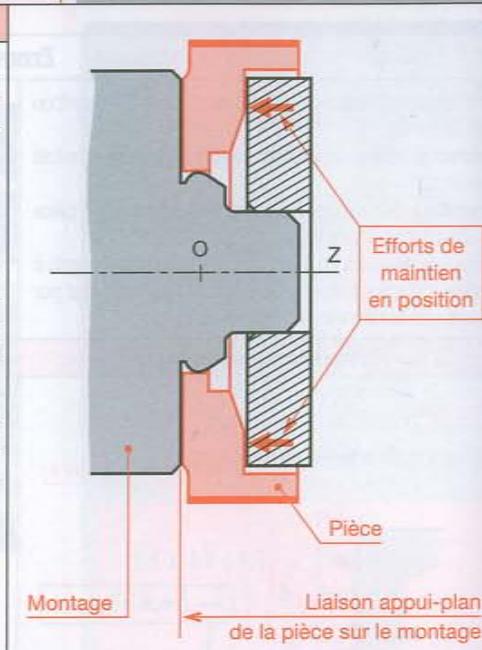
**Maintien en position**

Le dispositif de maintien en position doit assurer, en permanence, le contact de la pièce avec les surfaces du montage qui assurent la mise en position et ceci malgré les actions dues aux efforts de coupe.

**REMARQUES**

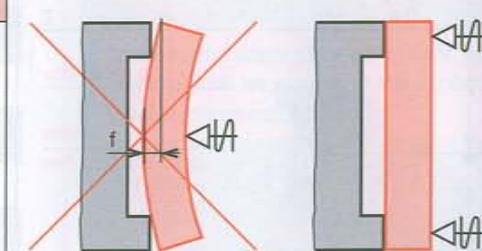
Dans l'exemple, le dispositif de maintien en position n'exerce son action que sur la liaison appui-plan de la pièce sur le montage. Une fois l'action de serrage effectuée, la pièce perd, par adhérence, le degré de liberté en rotation autour de l'axe OZ.

Dans certains cas, le contact de la pièce sur une partie de ses appuis peut être assuré, soit manuellement au moment du serrage de la pièce, soit à l'aide de poussoirs à ressort. On appelle cette action un pré-serrage.

**RÈGLES GÉNÉRALES****Réduire les déformations**

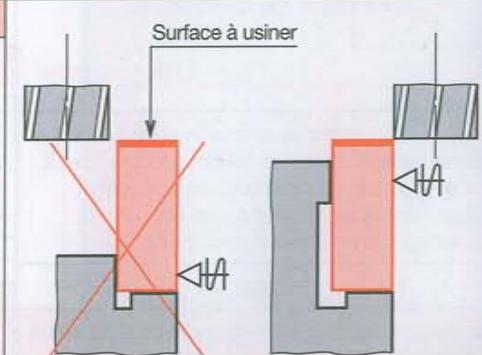
Afin d'éviter des déformations excessives :

- les forces de serrage doivent s'exercer au droit de chaque contact de mise en position,
- l'intensité du serrage doit être aussi faible que possible. En aucun cas, elle ne doit engendrer à la pièce des déformations supérieures à 0,5 fois la tolérance à respecter.

**Réduire les vibrations**

Afin de réduire les vibrations pendant l'usinage :

- les forces de serrage doivent s'exercer dans une zone aussi proche que possible de la surface à usiner,
- les efforts de coupe doivent appliquer la pièce sur ses appuis,
- les déformations du montage, sous les efforts de maintien et sous les efforts de coupe doivent être négligeables.



Cette symbolisation définit la mise en position géométrique d'une pièce à partir des degrés de liberté éliminés (GPDT 20.3).

Théoriquement, un degré de liberté est éliminé par un contact ponctuel (fig. 1 et chapitre 10).

**Degré de liberté**

À un degré de liberté correspond la possibilité d'un mouvement relatif de rotation ou de translation entre deux solides M et P.

Un solide qui n'a aucune liaison possède 6 degrés de liberté : 3 en rotation et 3 en translation.

**NORMALE DE REPÉRAGE 3.1**

On schématisise chaque contact ponctuel théorique par un vecteur normal à la surface considérée (fig. 2).

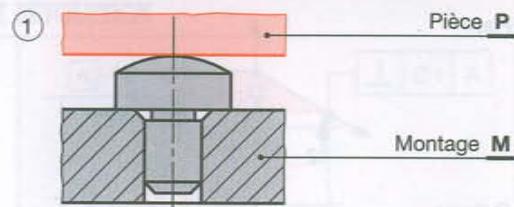
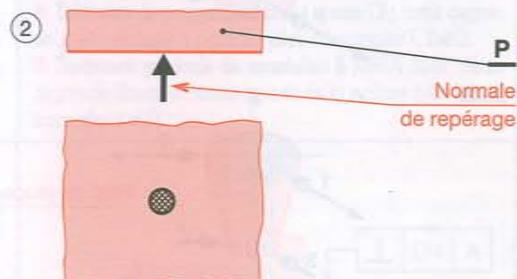
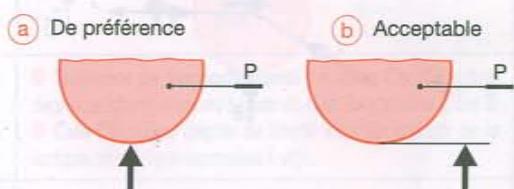
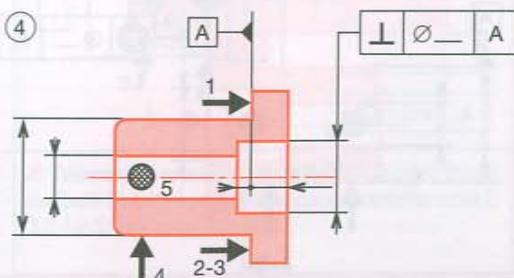
Ce vecteur est appelé normale de repérage.

Le symbole doit être placé du côté libre de matière à l'emplacement choisi (fig. 3a). Toutefois quand on manque de place, le symbole peut être placé sur une ligne d'attache (fig. 3b).

**PRINCIPE D'UTILISATION 3.2**

On affecte à chaque surface autant de normales de repérage qu'elle doit éliminer de degrés de liberté.

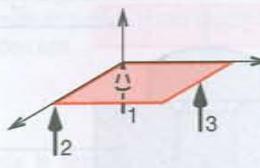
- Dessiner les symboles dans les vues où leurs positions sont les plus explicites.
- Repérer, dans chaque vue, les symboles par un chiffre de 1 à 6 au maximum.
- Limiter leur nombre en fonction des cotations de fabrication à réaliser dans la phase.
- Coter éventuellement leur position.

**Élimination d'un degré de liberté****Symbolisation d'une normale de repérage****Position du symbole****Exemple d'utilisation**

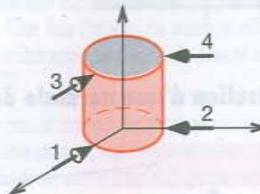
### Mise en position par une référence

Nombre maximal de degrés éliminés par chaque surface

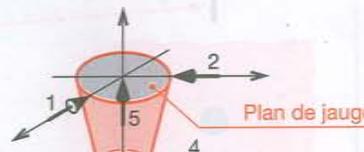
Plan



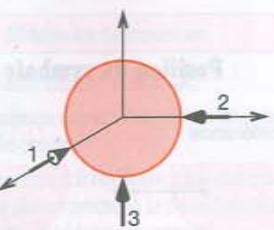
Cylindre



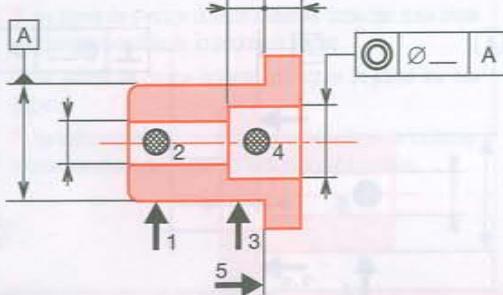
Cône



Sphère



### Mise en position par un système de référence



## 3.3 MISE EN POSITION ISOSTATIQUE

### 3.3.1 MISE EN POSITION PAR UNE RÉFÉRENCE

Si une mise en position est assurée par une seule surface de référence, le nombre des normales affectées à cette référence ne peut être supérieur aux degrés de liberté que la surface peut éliminer.

#### NOMBRE MAXIMAL DE DEGRÉS DE LIBERTÉ ÉLIMINÉS

Plan	Cylindre	Cône	Sphère
3	4	5	3

### 3.3.2 MISE EN POSITION PAR UN SYSTÈME DE RÉFÉRENCES

Un système de références est composé par plusieurs surfaces de référence.

Si sur chaque surface on place le nombre maximal de normales de repérage, on arrive fréquemment à un chiffre supérieur au nombre de degrés de liberté à éliminer. Une telle mise en position est hyperstatique et il est pratiquement impossible d'avoir, sans déformation, une portée sur tous les contacts spécifiés.

#### PRINCIPE FONDAMENTAL

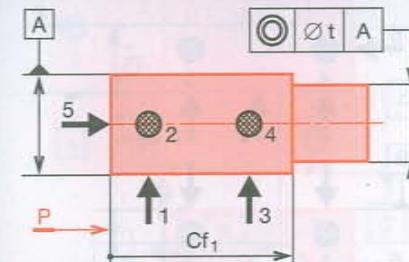
Une mise en position est isostatique :

- si le nombre de normales de repérage est égal au nombre de degrés de liberté à éliminer,
- si chacune des normales de repérage contribue à éliminer un degré de liberté.

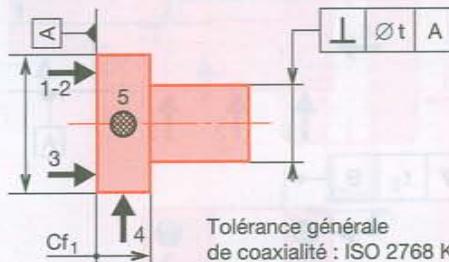
L'emplacement d'une normale de repérage est déterminé de telle manière que le degré de liberté qu'elle supprime ne soit pas déjà interdit par une autre normale.

## 3.4 EXEMPLES D'APPLICATION

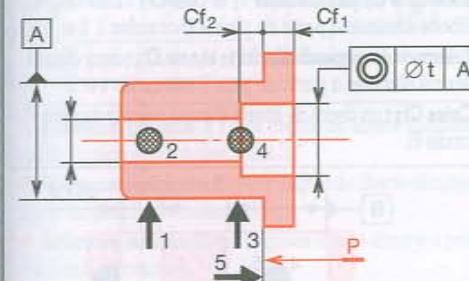
### 3.4.1 PIÈCES DE TOURNAGE OU PIÈCES DE RÉVOLUTION



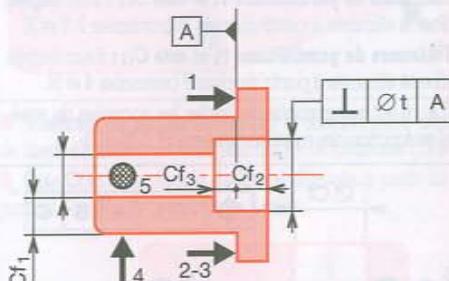
- Tolérance de coaxialité  $t$  : quatre degrés de liberté éliminés à partir de la surface cylindrique (normales 1, 2, 3 et 4).
- Cotes  $Cf_1$  : un degré de liberté éliminé à partir du plan P (normale 5).



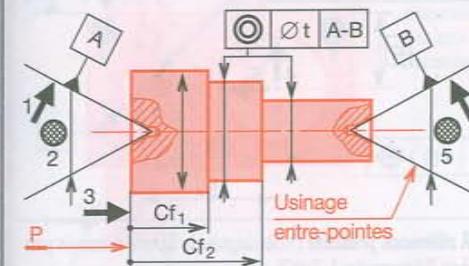
Tolérance générale de coaxialité : ISO 2768 K



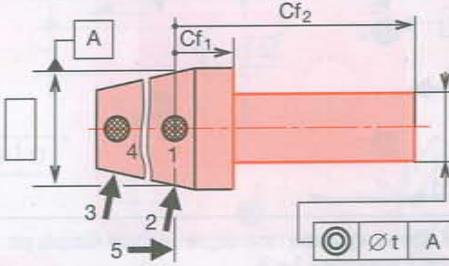
- Tolérance de coaxialité  $t$  : quatre degrés de liberté éliminés à partir de la surface cylindrique (normales 1, 2, 3 et 4).
- Cotes  $Cf_1$  et  $Cf_2$  : un degré de liberté éliminé à partir du plan P (normale 5).



- Tolérance de perpendicularité  $t$  et cotes  $Cf_1$ ,  $Cf_2$  : trois degrés de liberté éliminés à partir du plan A (normales 1, 2 et 3).
- Cote  $Cf_1$  : deux degrés de liberté éliminés à partir de la surface cylindrique (normales 4 et 5).

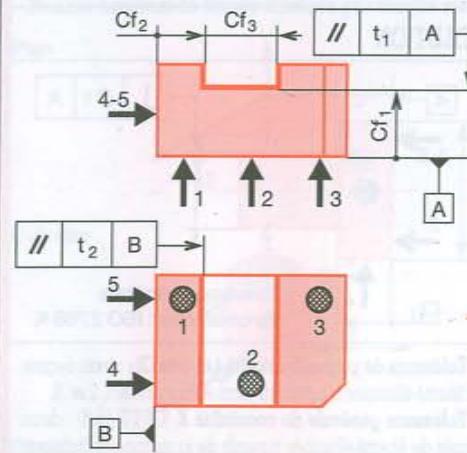


- Tolérance de coaxialité  $t$  : quatre degrés de liberté éliminés à partir des centres d'usinages (normales 1, 2, 4 et 5).
- Cotes  $Cf_1$  et  $Cf_2$  : un degré de liberté éliminé à partir du plan P (normale 3).



- Tolérance de coaxialité  $t$  et cotes  $Cf_1$ ,  $Cf_2$  : cinq degrés de liberté éliminés à partir de la surface conique (normales 1, 2, 3, 4 et 5). Voir aussi GPDT § 19.2.

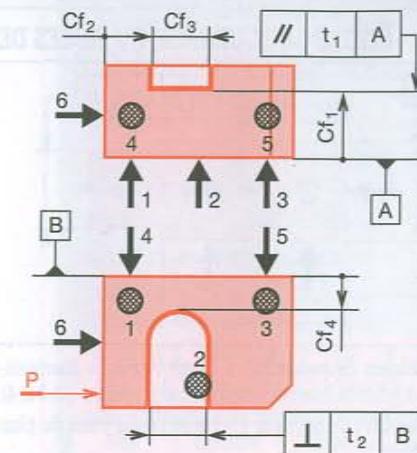
## 3.42 PIÈCES DE FRAISAGE OU PIÈCES PRISMATIQUES



■ Tolérance de parallélisme  $t_1$  et cote  $Cf_1$  : trois degrés de liberté éliminés à partir du plan A (normales 1, 2 et 3).

■ Tolérance de parallélisme  $t_2$  et cote  $Cf_2$  : deux degrés de liberté éliminés à partir du plan B (normales 4 et 5).

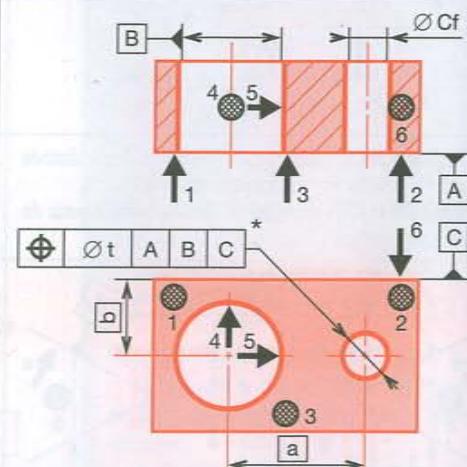
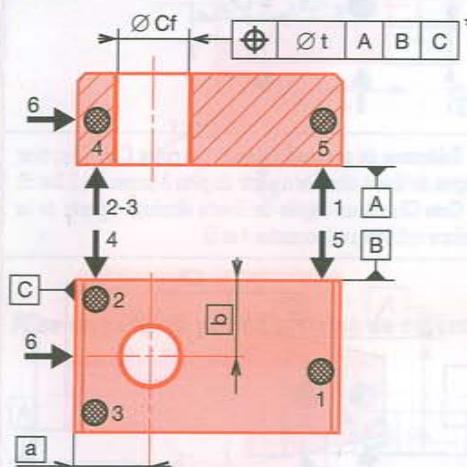
NOTA : il est recommandé de limiter les normales de repérage en fonction des cotes fabriquées (NF E 04-013).



■ Tolérance de parallélisme  $t_1$  et cote  $Cf_1$  : trois degrés de liberté éliminés à partir du plan A (normales 1, 2 et 3).

■ Tolérance de perpendicularité  $t_2$  et cote  $Cf_4$  : deux degrés de liberté éliminés à partir du plan B (normales 4 et 5).

■ Cotes  $Cf_2$  : un degré de liberté éliminé à partir du plan P (normale 6).



■ A référence primaire : trois degrés de liberté éliminés par le plan A (normales 1, 2 et 3).

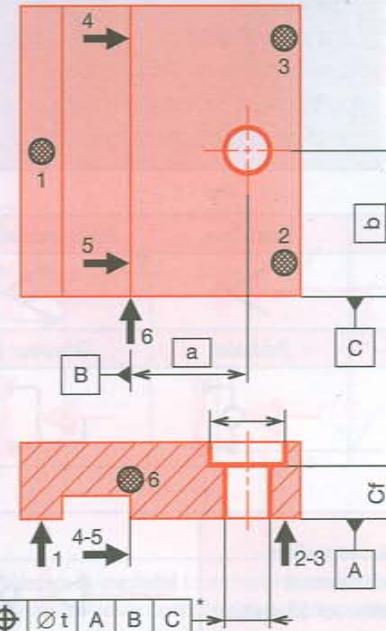
■ B référence secondaire : deux degrés de liberté éliminés par le plan B (normales 4 et 5).

■ C référence tertiaire : un degré de liberté éliminé par le plan C (normale 6).

■ A référence primaire : trois degrés de liberté éliminés par le plan A (normales 1, 2 et 3).

■ B référence secondaire : deux degrés de liberté éliminés par l'alésage B (normales 4 et 5).

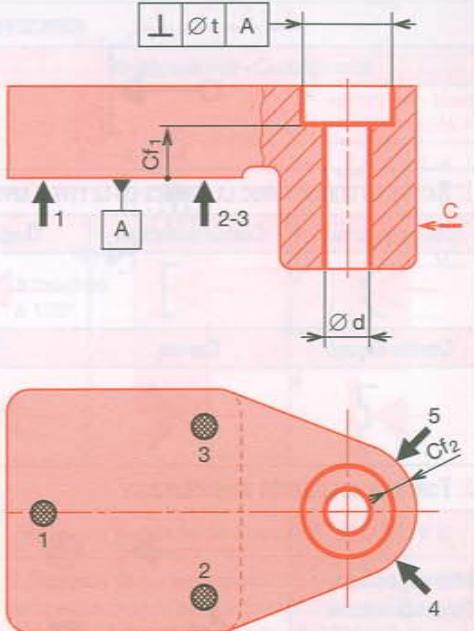
■ C référence tertiaire : un degré de liberté éliminé par le plan C (normale 6).



■ Référence primaire A : trois degrés de liberté éliminés à partir du plan A (normales 1, 2 et 3).

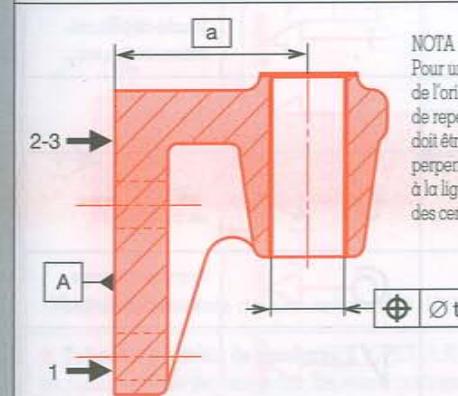
■ Référence secondaire B : deux degrés de liberté éliminés à partir du plan B (normales 4 et 5).

■ Référence tertiaire C : un degré de liberté éliminé à partir du plan C (normale 6).

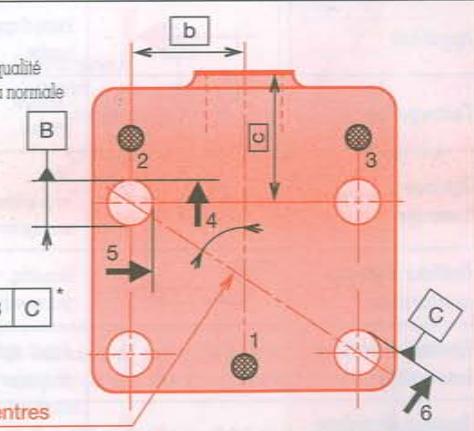


■ Tolérance de perpendicularité t et cote  $Cf_1$  : trois degrés de liberté éliminés à partir du plan d'appui A (normales 1, 2 et 3).

■ Cote  $Cf_2$  : deux degrés de liberté éliminés à partir de la portion de cylindre C (normales 4 et 5).



NOTA :  
Pour une bonne qualité de l'orientation, la normale de repérage 6 doit être perpendiculaire à la ligne des centres.

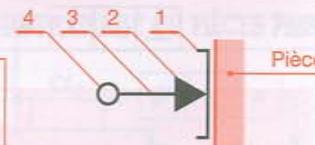


Ligne des centres

■ Référence primaire A : trois degrés de liberté éliminés à partir du plan d'appui A (normales 1, 2 et 3).

■ Référence secondaire B : deux degrés de liberté éliminés à partir de l'alésage B (normales 4 et 5).

■ Référence tertiaire C : un degré de liberté éliminé à partir de l'alésage C (normale 6).



Un symbole peut comporter 4 éléments

#### 1. NATURE DU CONTACT AVEC LA SURFACE OU LE TYPE D'APPUI

Contact ponctuel	Contact surfacique	Contact strié	Pointe fixe	Pointe tournante
Contact dégagé	Cuvette	Vé	Palonnier	Orienteur

#### 2. FONCTION DE L'ÉLÉMENT TECHNOLOGIQUE

Mise en position		Appui	Maintien en position	
Départ de cotation			Prépositionnement	
			Opposition aux déformations	
			ou aux vibrations	

#### 3. NATURE DE LA SURFACE DE LA PIÈCE

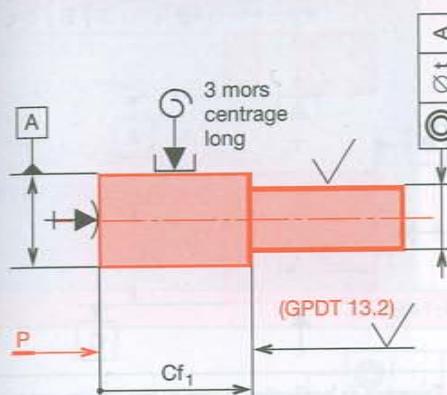
Surface usinée (un seul trait)		Surface brute (deux traits)	
-----------------------------------	--	--------------------------------	--

#### 4. TYPE DE TECHNOLOGIE

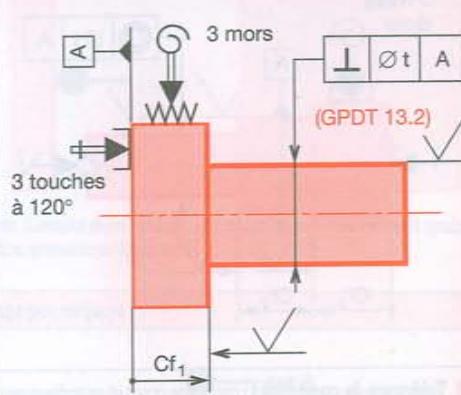
Appui fixe		Pièce d'appui, touche...		Touche de prélocalisation, détrompeur...
Centrage fixe		Centreur, broche...		Précentreur
Système à serrage		Mise en position et serrage symétrique...		Bride, vérin...
Système à serrage concentrique		Mandrin, pinces expansibles...		Entraineur (serrage concentrique flottant)...
Système de réglage irréversible		Appui réglable de mise en position...		Appui réglable de soutien...
Système de réglage réversible		Vis d'appui réglable...		Antivibrateur...
Centrage réversible		Pied conique, broche conique...		Pied conique, broche conique...

#### EXEMPLE D'APPLICATION

##### Montage en l'air - Centrage long



##### Montage en l'air - Centrage court



Tolérance générale de coaxialité : ISO 2768 K

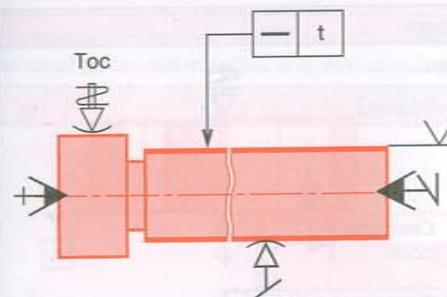
■ Tolérance de coaxialité  $t$  : centrage long et entraînement sur une surface usinée (contact surfacique) par un mandrin à serrage concentrique (chapitre 12).

■ Cote  $Cf_1$  : butée sur une surface usinée  $P$  par une touche à contact ponctuel.

■ Tolérance de perpendicularité  $t$  et cote  $Cf_1$  : appui plan sur une surface brute par trois touches planes à 120°.

■ Tolérance générale de coaxialité K (GPDT 15.8) : centrage court et entraînement sur une surface brute (contact strié) par un mandrin à serrage concentrique (chapitre 12). Faible longueur relative de la prise des mors.

##### Montage entre pointes - Entrainement par toc



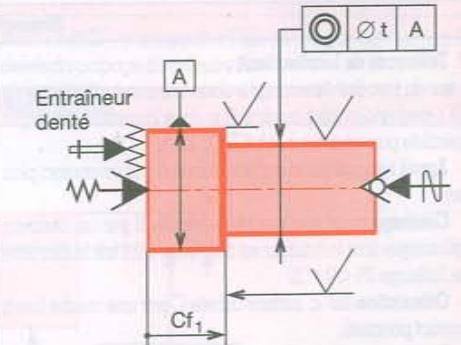
Tolérance générale de circularité : ISO 2768 K

■ Tolérance générale de circularité K (GPDT 15.8) : mise en position radiale par une pointe fixe et une contrepointe à réglage irréversible. Butée axiale sur la pointe fixe.

Entraînement sur une surface brute par un toc (contacts ponctuels) et plateau pousse-toc.

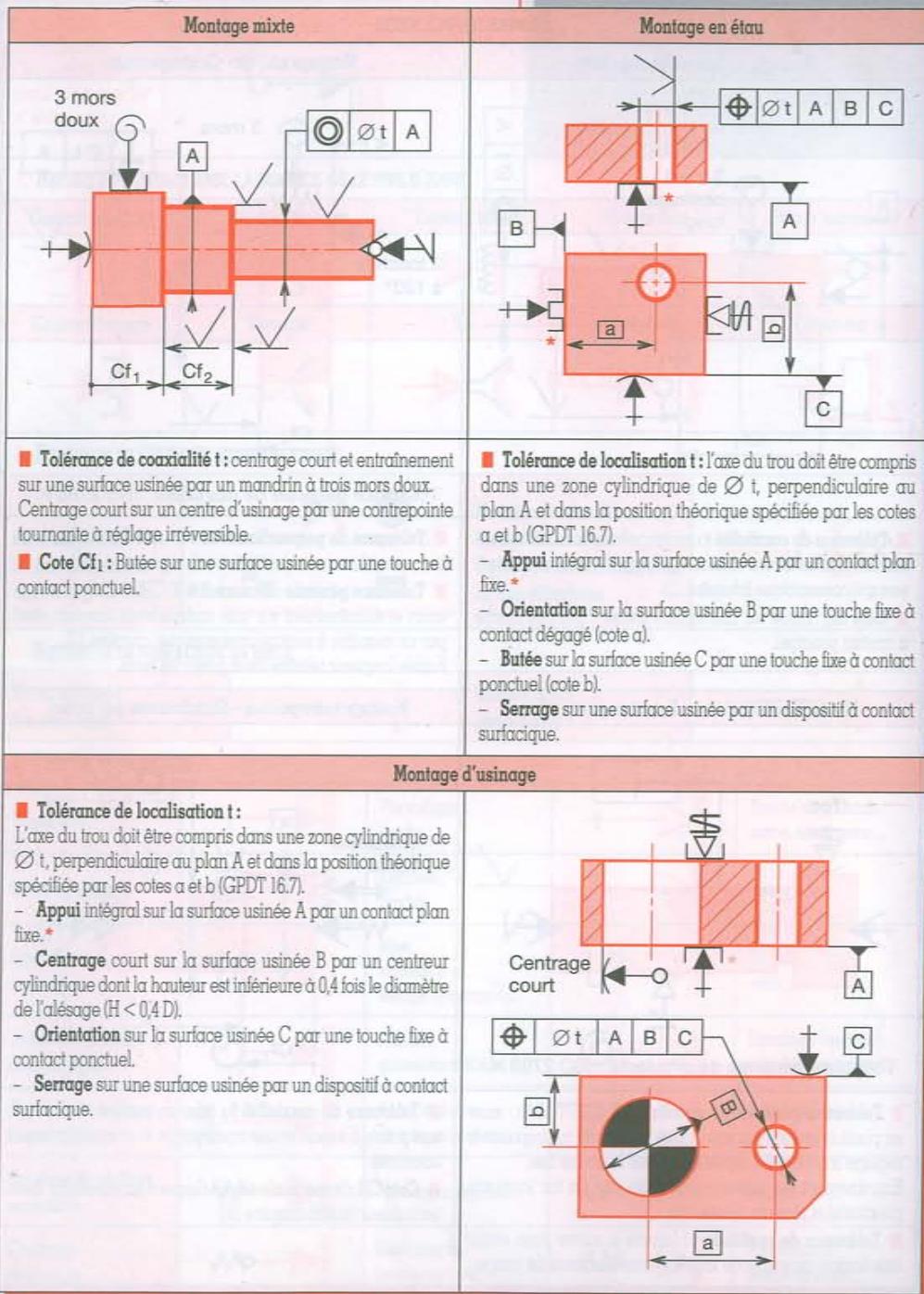
■ Tolérance de rectitude  $t$  : lunette à suivre pour éviter une flexion excessive de la pièce sous les efforts de coupe.

##### Montage entre pointes - Entrainement par griffes



■ Tolérance de coaxialité  $t$  : mise en position radiale par une pointe à ressort et une contrepointe tournante à poussée constante.

■ Cote  $Cf_1$  : butée axiale sur un disque d'entrainement denté (entraineur frontal chapitre 11).



\* Le symbole de la nature du contact a une dimension fixe conventionnelle, mais l'appui réel est sur toute la surface.

## SYMBOLISATION D'UN PALPAGE

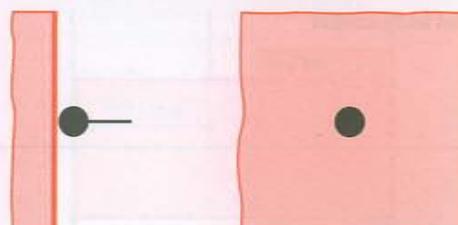
Cette symbolisation permet de définir un départ de cote résultant d'un palpage et ceci quelle que soit la technologie utilisée.

Si nécessaire, le symbole peut être projeté.

■ La **zone de palpage** est indiquée par la position de la sphère.

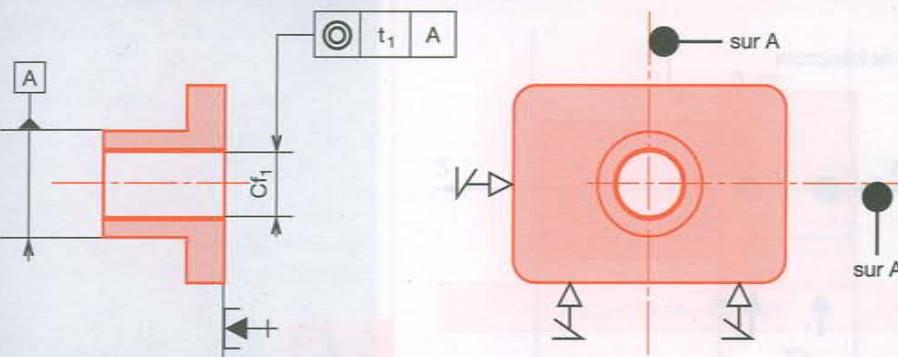
■ La **direction de la mesure** est donnée par la direction de la portion de droite.

### Symbolisation d'un palpage



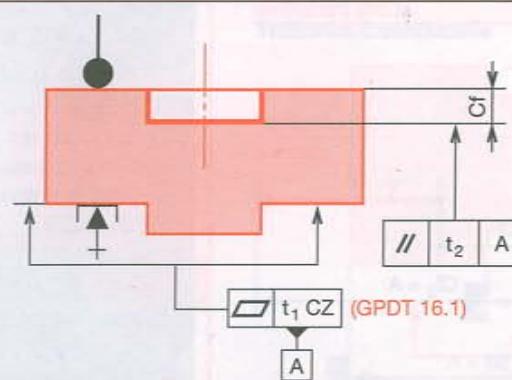
Nota : L'emploi de ce symbole est compatible avec l'usage de la symbolisation géométrique (chapitre 3).

#### Exemple 1 : Centrage par palpage



Le respect de la tolérance de coaxialité  $t_1$  de l'axe de l'alésage à usiner (cote  $Cf_1$ ) par rapport à l'axe du cylindre de référence A est assuré par une mise en position de la pièce dépendante des relevés du palpage du cylindre A.

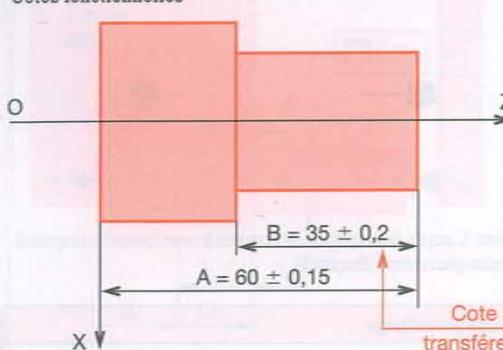
#### Exemple 2 : Butée liée à un outil



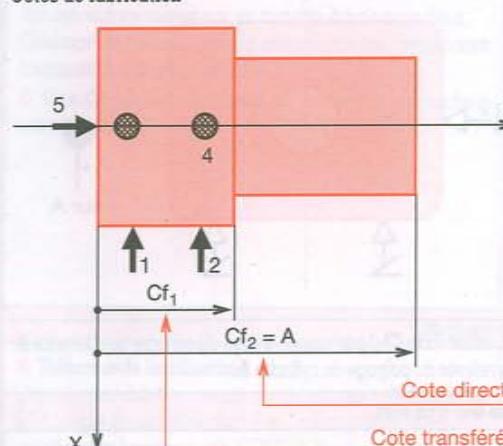
Le respect de la cote  $Cf$  est assuré par une butée mécanique liée à l'outil. L'appui plan permet de respecter la spécification de parallélisme  $t_2$ .

**Exemple**

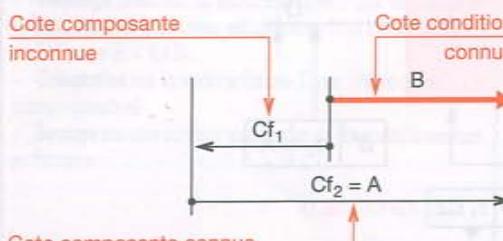
Cotes fonctionnelles



Cotes de fabrication



Chaîne de cotes n° 1



$$IT B = IT Cf_1 + IT Cf_2$$

(1)

Les moyens de fabrication prévus dans l'avant-projet d'étude de fabrication permettent parfois de réaliser directement certaines cotes fonctionnelles. Ces cotes sont appelées « **cotes directes** ». Les autres cotes réalisées indirectement nécessitent un calcul appelé « **transfert de cotes** ».

Le transfert de cotes est un moyen de calcul permettant la détermination des cotes utiles à la fabrication.

**EXEMPLE**

Soit à réaliser un axe épaulé.

Les cotes fonctionnelles du dessin de définition à respecter suivant l'axe OZ sont :

$$A = 60 \pm 0,15 \text{ et } B = 35 \pm 0,2.$$

La cote A est réalisée directement à l'aide de la cote fabriquée Cf<sub>2</sub>.

La cote B est réalisée indirectement à l'aide de la cote fabriquée Cf<sub>1</sub>; un transfert de cote est donc nécessaire.

**6.1 ÉTUDE DU TRANSFERT**

Reprendons l'exemple de l'axe épaulé : la cote à transférer est la cote B = 35 ± 0,2.

B devient la cote condition.

Cf<sub>1</sub> et Cf<sub>2</sub> sont les cotes composantes. On connaît Cf<sub>2</sub> = A et l'on doit calculer Cf<sub>1</sub>. Les trois relations (1), (2) et (3) sont à respecter.

La tolérance sur la cote condition B est égale à la somme des tolérances des cotes Cf<sub>1</sub> et Cf<sub>2</sub> composant la chaîne de cotes (GPDT 18.221).

**REMARQUE**

Pour une même chaîne de cotes, il ne doit y avoir :

- qu'une seule cote condition,
- qu'une seule cote composante dont la valeur est inconnue.

**CALCUL DE Cf<sub>1</sub>**

- La valeur de Cf<sub>1</sub> min peut être calculée à l'aide de la relation (2).
- La valeur de Cf<sub>1</sub> max peut être calculée à l'aide de la relation (3).
- La relation (1) peut être utilisée pour vérifier l'exactitude des calculs.

**Valeur de Cf<sub>1</sub> min**

En utilisant la relation (2)

$$B_{\max} = A_{\max} - Cf_{1\min}$$

$$35,2 = 60,15 - Cf_{1\min}$$

$$Cf_{1\min} = 60,15 - 35,2$$

$$Cf_{1\min} = 24,95.$$

**Valeur de Cf<sub>1</sub> max**

En utilisant la relation (3)

$$B_{\min} = A_{\min} - Cf_{1\max}$$

$$34,8 = 59,85 - Cf_{1\max}$$

$$Cf_{1\max} = 59,85 - 34,8$$

$$Cf_{1\max} = 25,05.$$

Soit

$$Cf_{1} = 25,05 - 0,1$$

**Vérification**

En utilisant la relation (1)

$$\text{Tolérance } B = \text{tolérance } A + \text{tolérance } Cf_1$$

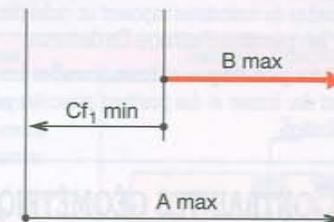
$$0,4 = 0,3 + 0,1$$

La relation (1) est vérifiée.

**6.2 VÉRIFICATION DIMENSIONNELLE**

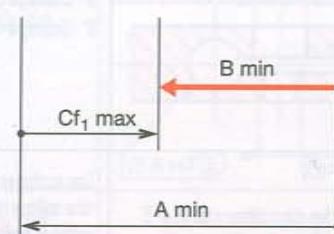
La vérification dimensionnelle définitive doit se faire à partir des cotes fonctionnelles données par le dessin de définition (GPDT 18.1).

Chaînes de cotes n° 2



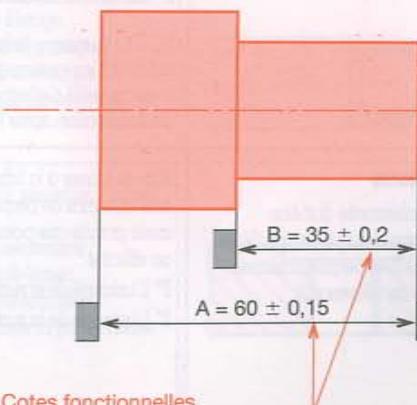
$$B_{\max} = A_{\max} - Cf_{1\min} \quad (2)$$

Chaînes de cotes n° 3



$$B_{\min} = A_{\min} - Cf_{1\max} \quad (3)$$

**Nota :** Par convention pratique, on oriente fréquemment les valeurs maximales des vecteurs vers la droite et les valeurs minimales des vecteurs vers la gauche.

**Vérification dimensionnelle**

Lors de l'établissement des contrats de phase d'une pièce, un certain nombre de contraintes imposent un ordre chronologique pour les opérations d'usinage. On distingue :

■ les contraintes géométriques et dimensionnelles données par le respect des formes et des positions prescrites par le dessin de définition.

- les contraintes technologiques imposées par les moyens de fabrication,
- les contraintes économiques liées à la réduction des coûts de fabrication.

## 7.1 CONTRAINTES GÉOMÉTRIQUES ET DIMENSIONNELLES

Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
<b>Dimensionnelle</b> Les surfaces A et B doivent être distantes de $20 - 0,05$ .	La surface B est la plus précise, c'est elle qui donnera l'appui plan de meilleure qualité. On en déduit : 1° Usinage de la surface B. 2° Usinage de la surface A.	
<b>Coaxialité</b> Les centres des circonférences A et B matérialisent l'axe de référence.	Les surfaces A et B constituent une même référence. Elles doivent être usinées sans démontage de la pièce. Il en résulte un montage entre pointes de la pièce, d'où : 1° Centrage. 2° Usinage des surfaces A et B.	
<b>Planiété</b> La surface A doit être comprise entre deux plans distants de 0,04.	Après l'usinage de la rainure la pièce aura tendance à s'ouvrir. Il faut prévoir : 1° Une ébauche générale. 2° Une finition des surfaces précises.  NOTA : L'usinage de la rainure modifiant les tensions internes, il est conseillé d'effectuer un traitement de stabilisation après l'ébauche.	
<b>Perpendicularité</b> La surface tolérancée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,05 et perpendiculaires à la surface de référence A.	Afin de laisser à la fabrication une tolérance de perpendicularité aussi grande que possible, on effectue : 1° L'usinage de la surface A. 2° L'usinage de la surface verticale.	

## 7.2 CONTRAINTES TECHNOLOGIQUES

Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
Affaiblissement dû à l'usinage	Afin d'éviter un affaiblissement prématûre de la pièce, on termine l'extrémité 1 avant de commencer l'usinage de la gorgée 2.	
Flexibilité par usinage	La fente de largeur 2 rend la pièce particulièrement flexible ; l'usinage de cette fente est effectué à la dernière opération.	
Déviation du foret	Afin d'éviter une déviation du foret lors de l'attaque du perçage inférieur, on termine le perçage avant d'effectuer le rainurage, ou on utilise un montage spécial guidant le foret lors du perçage inférieur.	
Détérioration des surfaces fragiles	Lors des manipulations successives, la partie filetée peut recevoir des chocs. Il est conseillé de terminer par l'opération de filetage. En cas d'impossibilité, protéger la partie filetée par une bague en matière plastique par exemple.	
Utilisation d'un type d'outillage	On prévoit d'utiliser une fraise à lamer avec pilote. Dans ce cas, il est nécessaire : - de percer avant de lamer, - de lamer avant de tarauder pour ne pas détériorer la partie filetée.	

Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
Supprimer les bavures dues au moletage	Effectuer les chanfreins après le moletage.	
Pas de bavure dans l'alésage de diamètre D	Afin de supprimer la bavure due au fraisage, on procède de la manière suivante : 1° Ébauche et demi-finition éventuelle de l'alésage. 2° Fraisage. 3° Finition de l'alésage.	
Finitions précises	Ne pas entreprendre d'opération de finition tant que la pièce risque de subir des déformations lors d'autres opérations de fabrication.	

### 7.3 CONTRAINTES ÉCONOMIQUES

Contraintes	Ordre des opérations	Dessin de définition
Réduire la durée de l'usinage a) Organiser les passes d'usinage.	La solution B présente un temps d'usinage plus faible que la solution A.	<p>Solution A</p> <p>Solution B</p>
	L'association de deux outils, outre le respect en « cote directe » de la cote du dessin de définition, permet de gagner un temps appréciable par rapport à l'utilisation d'un seul outil.	
Réduire l'usure des outils	L'outil de finition attaque sur une surface brute. Pour le protéger, on peut : - soit dresser l'extrémité de la pièce, - soit effectuer un chanfrein.	<p>Solution 1 surface dressée</p> <p>Solution 2 chanfrein</p> <p>Surface brute</p>

### 7.4 NOMBRE D'OPÉRATIONS POUR RÉALISER UNE SURFACE

En fonction de la valeur :

■ de la tolérance dimensionnelle  $t_1$ ,

■ de la tolérance géométrique  $t_2$ ,

■ de la tolérance d'état de surface  $t_3$ ,

une surface élémentaire\* est réalisée en une ou plusieurs opérations.

Le tableau ci-contre donne, à titre de première estimation, le nombre d'opérations généralement nécessaire.\*\*

Pour une surface donnée, le nombre d'opérations à effectuer est celui donné pour la tolérance la plus exigeante.

#### EXEMPLE

$t_1 = 0,3 \Rightarrow 1 \text{ à } 2 \text{ opérations},$

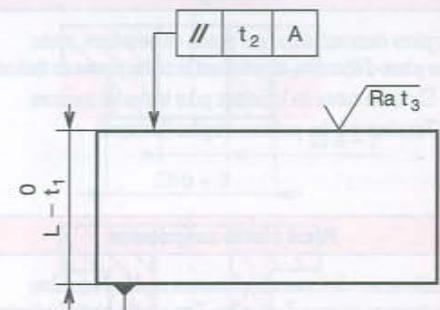
$t_2 = IT7 \Rightarrow 2 \text{ à } 3 \text{ opérations},$

$t_3 = Ra 3,2 \Rightarrow 1 \text{ à } 2 \text{ opérations}.$

Nombre d'opérations à effectuer : 2 à 3 (le nombre exact est fixé après essais).

\* Une surface élémentaire est une surface géométrique simple (plan, cylindre, cône, sphère, tore).

\*\* D'après CETIM.



Tolérance dimensionnelle $t_1$	Jusqu'à 0,05 inclus	0,05 à 0,15	0,15 à 0,4	> 0,4
Nombre d'opérations	3 à 4	2 à 3	1 à 2	1
Nombre d'opérations	IT en $\mu\text{m}$ (GPDT 15.4)			
	≤ 6	7-8	> 9	
Nombre d'opérations	3 à 4	2 à 3	1	
État de surface $t_3$				
	≤ 0,8	1,6	3,2	≥ 6,3
Nombre d'opérations	4	2 à 3	1 à 2	1

### 7.5 COTES DE RÉGLAGE

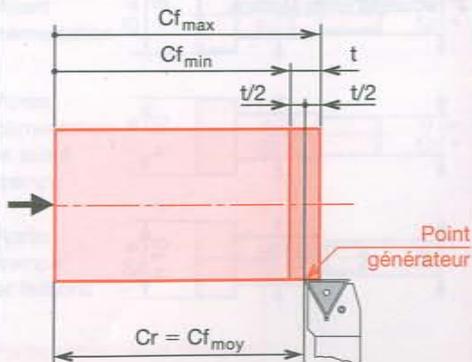
La position de l'outil est donné par la cote de réglage  $C_r$ .

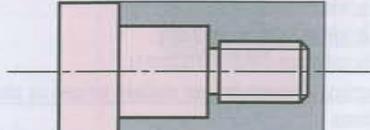
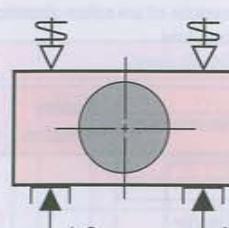
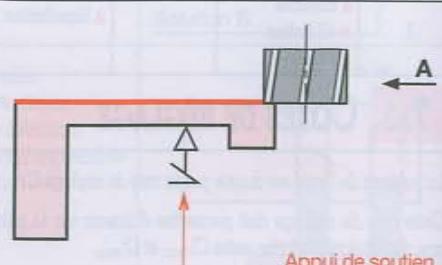
Cette cote de réglage doit permettre d'obtenir sur la pièce une dimension comprise entre  $C_{f\max}$  et  $C_{f\min}$ .

Afin d'optimiser la position de l'outil, on place, pratiquement, le point génératrice à une distance  $C_r$  égale à la cote fabriquée moyenne.

$$C_r = \frac{C_{f\max} + C_{f\min}}{2}$$

Formule valable pour une fabrication unitaire.



EXEMPLES	APPLICATIONS
<h3>Pièces rigides</h3> <p>La pièce étant suffisamment rigide, on peut faire, après une passe d'ébauche, directement la ou les passes de finition.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1° Ébauche suivie de la finition pour toutes les surfaces.</li> <li>2° Terminer par les surfaces fragiles (filetages).</li> </ol>	
<h3>Pièces à fortes surépaisseurs</h3> <p>L'enlèvement de fortes surépaisseurs modifie l'équilibre des tensions internes d'une pièce. Il en résulte, après l'usinage, une déformation de la pièce.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1° Ébaucher (22 mm environ de surépaisseur).</li> <li>2° Effectuer un traitement de stabilisation.</li> <li>3° Finition.</li> </ol>	
<h3>Pièces semi-rigides</h3> <p>La difficulté essentielle est de ne pas déformer la pièce sous l'action des efforts de maintien ou des efforts de coupe.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1° Choisir judicieusement les zones d'appui.</li> <li>2° Serrer directement à l'opposé des zones d'appui.</li> <li>3° Limiter l'intensité du serrage.</li> <li>4° Réduire les efforts de coupe.</li> </ol>	
<h3>Pièces déformables</h3> <p>Sous l'action des efforts de coupe, la pièce a tendance à vibrer.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1° Immobiliser la partie flexible.</li> <li>2° Utiliser un ou plusieurs appuis complémentaires.</li> <li>3° Réduire les efforts de coupe.</li> </ol>	

EXEMPLES	APPLICATIONS
Pièces trempées $R \leq 1000 \text{ MPa}^*$	<p>Ébauche – Trempe – Finition</p>
<p>À partir d'une résistance à la rupture par extension de 800 MPa, il est préférable d'utiliser des outils en carbure.</p> <p>1° Ébauche des surfaces précises (surépaisseur <math>\approx 2</math>), et finition éventuelle des surfaces peu précises.</p> <p>2° Trempe et revenu.**</p> <p>3° Demi-finition et finition possibles avec des outils en carbure.</p>	
<p>* 100 daN/mm<sup>2</sup>.</p> <p>** Si l'on utilise des aciers prétraités on évite cette opération en cours de processus.</p>	
Pièces trempées $R > 1000 \text{ MPa}^*$	<p>1/2 finition – Trempe – Finition</p>
<p>Compte tenu de la résistance à la rupture par extension, il est préférable d'effectuer la finition des surfaces précises par rectification.</p> <p>1° Ébauche des surfaces précises et finition éventuelle des surfaces peu précises (<math>IT &gt; 9</math>).</p> <p>2° Trempe et revenu.</p> <p>3° Finition par rectification.</p>	
<p>* 100 daN/mm<sup>2</sup>.</p>	
Pièces cémentées avec réserves par surépaisseur	
<p>Sur les surfaces non traitées, on laisse des surépaisseurs plus fortes que l'épaisseur de cémentation.</p> <p>1° Ébauche des surfaces non traitées, ébauche et demi-finition des surfaces traitées.</p> <p>2° Cémentation.</p> <p>3° Demi-finition des surfaces non traitées précises et finition des surfaces traitées peu précises (<math>IT &gt; 9</math>).</p> <p>4° Trempe et revenu.</p> <p>5° Finition, à l'outil de coupe, des surfaces non traitées précises et exécution des filetages.</p> <p>6° Rectification des surfaces traitées et des surfaces très précises.</p>	

EXEMPLES	APPLICATIONS
<b>Pièces cémentées avec réserves par dépôts</b>  Les surfaces non traitées sont couvertes par dépôt protecteur. 1° Ébauche des surfaces non traitées, demi-finition des surfaces précises et finition des surfaces peu précises (IT > 9). 2° Protection des surfaces non traitées par cuvrage dans le cas d'une cémentation solide ou par chromage dans le cas d'une cémentation liquide. 3° Cémentation. 4° Trempe et revenu. 5° Finition, à l'outil de coupe, des surfaces non traitées précises et exécution des filetages. 6° Rectification des surfaces traitées et des surfaces très précises.	
<b>Nituration</b>  Ce traitement permet de durcir les surfaces d'une pièce sans procéder à une trempe. Les déformations sont très faibles. Réserves éventuelles de protection par dépôt d'étain. 1° Ébauche et finition des surfaces de qualité $\geq IT7$ , ébauche et demi-finition des surfaces plus précises. 2° Nituration. 3° Finition par rectification ou rodage des surfaces de qualité $< IT7$ .	
<b>Pièces trempées par induction</b>  La pièce est chauffée puis refroidie dans un temps très court. Les déformations sont très faibles. 1° Ébauche et finition des surfaces de qualité $\geq IT6$ , ébauche et demi-finition des surfaces plus précises. 2° Trempe et revenu. 3° Finition par rectification ou rodage des surfaces de qualité $< IT6$ .	

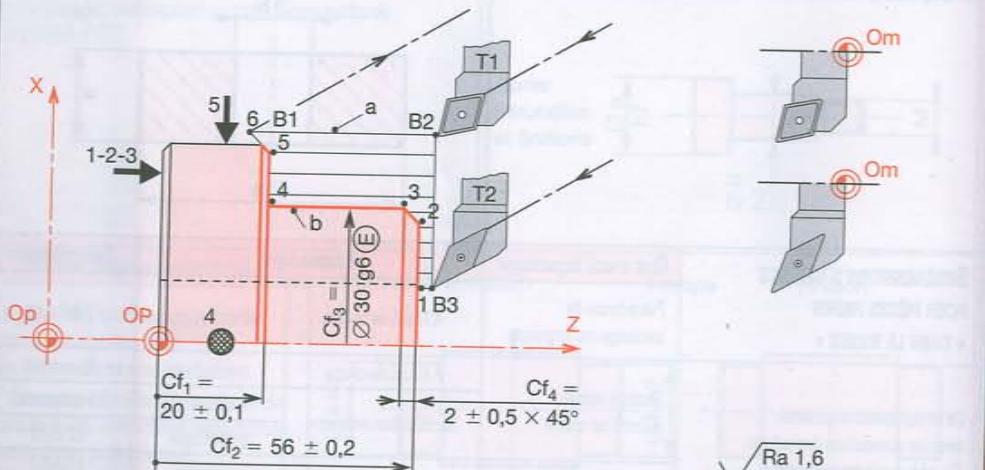
Carbonitration	Avant carbonitration		
Gamme analogue à celle de la cémentation. Profondeur de la couche carburée : 0,7 max. Réserves de protection par dépôt de cuivre. Surépaisseur avant rectification : 0,1 env. Finition possible, avant carbonitration des surfaces de qualité $> IT9$ .			
Cyanuration			
Sulfénisation			
SURÉPAISSEURS D'USINAGE POUR PIÈCES PRISES « DANS LA MASSE »	État avant façonnage	Façonnage	Surépaisseur
La surépaisseur augmente avec les dimensions des pièces. Ce tableau donne un ordre de grandeur des surépaisseurs d'usinage pour des pièces de dimensions inférieures à 250 mm.	Pièce brute de laminage ou forgeage	À l'outil de coupe	2 à 3 mm
	Surface usinée à l'outil de coupe	À l'outil de coupe	0,5 environ
	Rectification ordinaire	plane	0,3 (constante)
		cylindrique	0,2 à 0,5
	Surface usinée à l'outil de coupe ou par rectification	carbure	0,2 à 0,5
		diamant	0,02 environ
	Rectification fine	-	0,1 à 0,3
	Brunissage-Galetage	-	0,01 à 0,05

## UTILISATION DE LA SYMBOLISATION

On utilise la symbolisation géométrique du chapitre 3 pour les contrats de phase prévisionnels et la symbolisation technologique du chapitre 4 pour les contrats de phase définitifs.

## 9.1 EXEMPLE (autres exemples chapitres 34-39-42-48-50-52)

PHASE : 200 S/PH : 220		CONTRAT DE PHASE		NOM :						
ENSEMBLE : Monture équatoriale		TOURNAGE		DATE :						
PIÈCE : Guide		MACHINE : TOUR CN NUM 750	N° PROG : % 2001							
MATIÈRE : C 35		PORTE-PIÈCE : Mors doux épaulés		N° DOC : FAB - ME 09						
NOMBRE : 50		BRUT : S/PH 210	ATELIER : UF 1							
Opérations d'usinage		Éléments de coupe	Éléments de passe	Outilage						
N°	Rep.	Désignation	V <sub>c</sub>	f	n	a <sub>p</sub>	n <sub>p</sub>	Lub	Fabrication	Vérification
221	T1	Ébauche a	280	0,4	-	2	-	oui	PCLNL16 16 H 12 CNMM 12 04 08 PR	Calibre à coulisse
222	T2	Finition b	440	0,1	-	0,4	1	oui	PDJNL 16 16 H 11 DNMG 11 04 04 PF	Micromètre 25-50 Bague pour Ø 30 g6



Tolérances générales ISO 2768 mK.

Le contrat de phase est établi par le bureau des méthodes, c'est un document évolutif. Les contrats de phase prévisionnels servent à mettre au point le processus opérationnel de la phase considérée. Lorsque le poste d'usinage est stabilisé, on établit le contrat de phase en tenant compte des essais préalables.

## COMMENTAIRES 9.2

## Informations relatives à la phase

- Mode d'usinage (tournage, fraisage, etc.)
- Numéro de phase, de sous-phase, et d'opération.
- Type de machine utilisée.
- Nature du porte-pièce.

**Phase** : ensemble d'opérations réalisées à un poste de travail.

**Sous phase** : ensemble d'opérations réalisées à un poste de travail sans changement de mise en position de la pièce.

**Opération** : travail réalisé sans changement d'outil ou de réglage.

## Informations relatives à la pièce

- Nom de l'ensemble et de la pièce.
- Nombre de pièces fabriquées et cadence.
- Matière.
- État du brut (laminé, phase antérieure, etc.)

## Dessin de la pièce

- Dessin de la pièce dans l'état où elle se trouve à la fin de la phase.
- Surfaces usinées représentées en traits forts (ou en rouge).
- Normales de repérage.
- Référentiel de cotation : O, X, Z ou O, X, Y.
- Tolérances géométriques et états de surfaces.
- Dessin de l'outil et cycle d'usinage.

## Conditions de coupe

Voir chapitre 24.

## Outilage de coupe

- Outil (type, nature, rayon de bec, nombre de dents).
- Porte-outil (attachement, réduction, etc.).

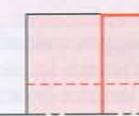
## Outilage de contrôle

- Désignation et caractéristiques des instruments utilisées.

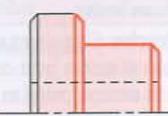
Voir chapitres 73 à 77.

## Numérotation

PHASE 210

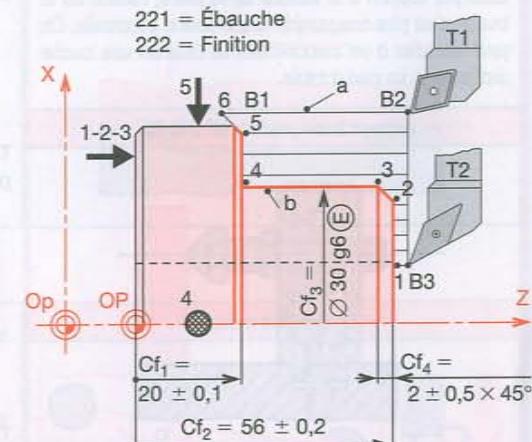


PHASE 220



N° de phase  
N° de sous phase

## Réalisation



## ÉLÉMENTS DE COUPE ET DE PASSE

V <sub>c</sub>	f	n	a <sub>p</sub>	n <sub>p</sub>
280	0,4	-	2	-
440	0,1	-	0,4	1

## Outilage de coupe



PCLNL 16 16 H 12  
CNMM 12 04 08 PR

Fraise cylindrique 2 tailles  
entrainement par tenons Ø 63

## 10.1 APPUIS PONCTUELS

### Surfaces brutes

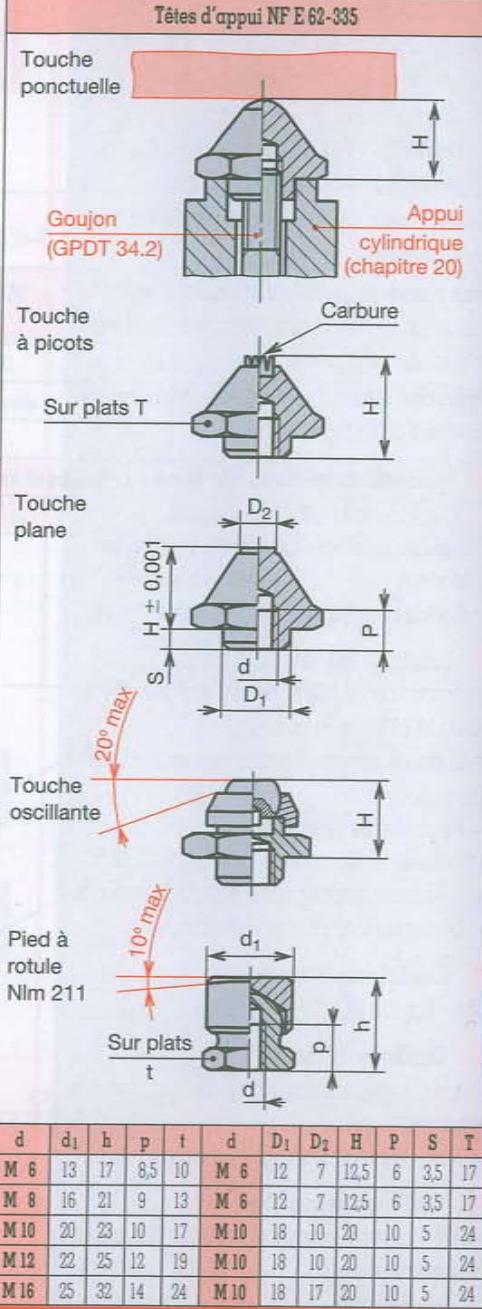
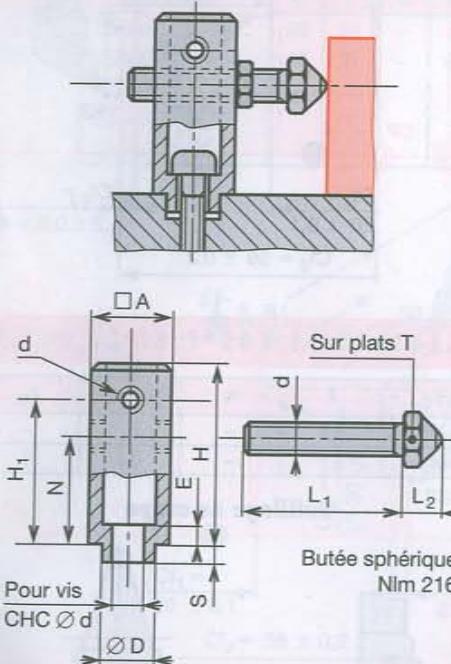
Les touches d'appui sont en principe sphériques, quelquefois planes et striées pour augmenter l'adhérence. La pièce, lors du serrage, prend sa place avec la formation de petites empreintes.

### Surfaces usinées

■ Les touches d'appui sont en principe planes. On évite ainsi de marquer la pièce lors du serrage. Il faut toutefois veiller à ce que la pression de contact soit nettement inférieure à la limite élastique du matériau de la pièce.

■ Si l'aire de la surface de contact est relativement importante par rapport à la surface de la pièce, l'action de la touche n'est plus comparable à une liaison ponctuelle. On peut remédier à cet inconvénient en utilisant une touche oscillante ou un pied à roule.

### Support butée position NF E 62-335



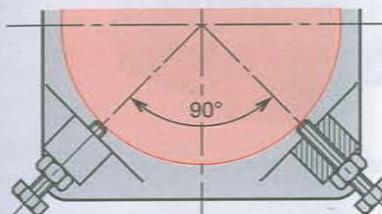
## 10.2 APPUIS LINÉAIRES

Un appui linéaire élimine deux degrés de liberté. En fonction des pressions admissibles on peut choisir :

- soit deux contacts ponctuels,
- soit deux touches planes.

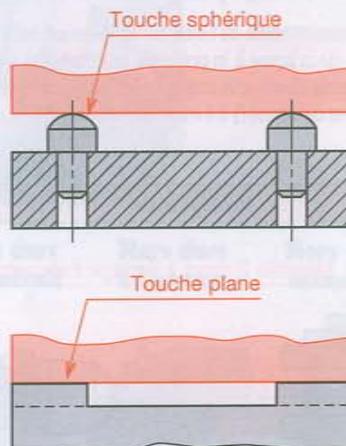
### Appui linéaire réglage

#### Liaison sphère-cylindre (linéaire annulaire)



### Appui linéaire fixe

#### Liaison linéaire rectiligne



## 10.3 APPUIS PLANS

Un appui plan élimine trois degrés de liberté. En fonction des pressions de contact admissibles, on peut choisir :

- soit trois contacts ponctuels, aussi distants que possible ;
- soit une surface plane dont on ne conservera que trois portées ;
- soit une surface plane avec un évidement dans sa partie centrale ;
- soit une surface plane continue, on précise dans ce cas, que seule une surface non convexe est admise. On obtiendra ainsi :
  - soit une surface plane,
  - soit une surface concave.

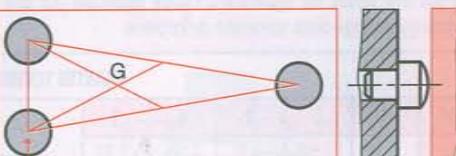
Cette spécification de forme restrictive assure donc, dans tous les cas, une portée correcte de la pièce à usiner sur son appui.

### REMARQUES

■ Pour une bonne stabilité d'un appui plan à trois contacts, on recherche que la résultante des forces élémentaires de contact soit sensiblement confondue avec le centre de gravité G du triangle de sustentation (G est à l'intersection des médianes).

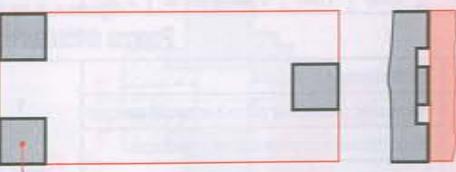
■ Entre deux surfaces planes de haute précision, il est relativement difficile de chasser l'air et d'assurer une portée parfaite. On peut remédier à cet inconvénient en rainurant la surface concernée du montage.

### Touches ponctuelles



3 touches ponctuelles fixes ou réglables

### Touches planes

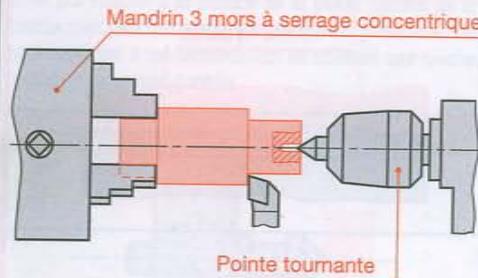


3 touches planes fixes ou rapportées

## Montage entre-pointes

- La mise en position est assurée par deux pointes qui se logent dans les centres de la pièce (§ 36.2).
- Le montage entre-pointes assure à la pièce une mise en position précise à chaque phase d'usinage ou de contrôle.
- Si la poussée axiale de l'outil sur la pièce est celle de la figure 1 ou de la figure 2, la pointe de la poupée fixe élimine trois degrés de liberté et la pointe de la contrepointe élimine deux degrés de liberté (§ 3.4 et chapitre 4).

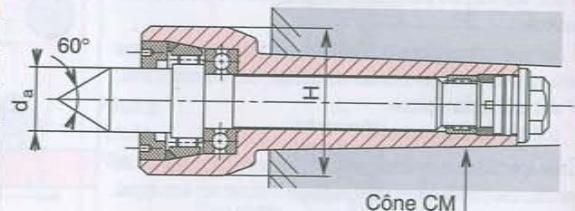
## Montage mixte



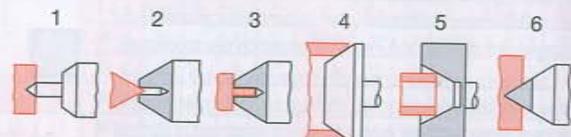
La pièce déjà tenue en l'air à une extrémité par un mandrin, ou par une pince, est soutenue à l'autre extrémité par une pointe qui se loge dans un centre de la pièce.

## POINTES TOURNANTES - SÉRIE CM

CM	1	2	3	4	5
$d_a$	10	18	22	25	30
$A_1$	31	44	50	53	60
$A_2$	20	26	28	36	40
H	29	40	50	55	68
$m^*$	120	300	650	1 300	2 200
$n^{**}$	5 000	4 000	3 500	3 000	2 500



## POINTES SPÉCIALES POUR POINTES À AXE CREUX



\* Masse maximale de la pièce à usiner en kg.

\*\* Fréquence de rotation maximale en tr/min.



Les mandrins de tour permettent la prise de pièce par une seule extrémité. On dit que le « montage est en l'air ». Les mors en contact avec la pièce assurent à la fois la mise en position et le maintien de la pièce (§ 3.41). Les mandrins usuels sont à trois ou quatre mors. Suivant le type de mandrin, le déplacement des mors est à serrage concentrique ou à serrage indépendant.

## Prise de pièce en mors durs

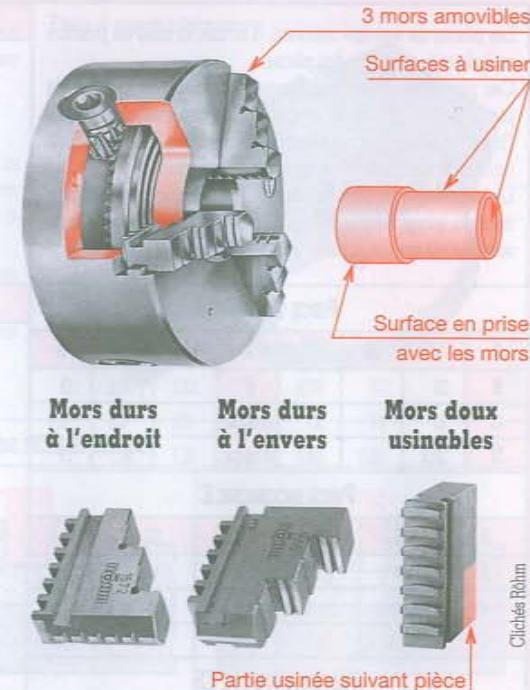
Les mors laissent un marquage sur la surface en prise.

La coaxialité entre la surface en prise et la surface usinée est de l'ordre de 0,1 à 0,3.

## Prise en pièce en mors doux

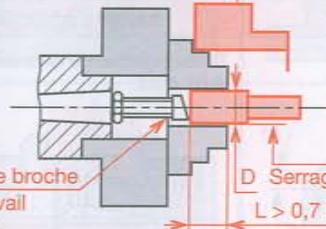
Les mors, usinés au diamètre de la surface en prise, ne laissent pratiquement aucun marquage.

La coaxialité entre la surface en prise et la surface usinées est de l'ordre de 0,02 à 0,05.

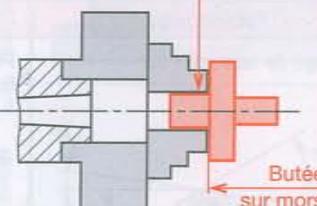


## EXEMPLES D'UTILISATION

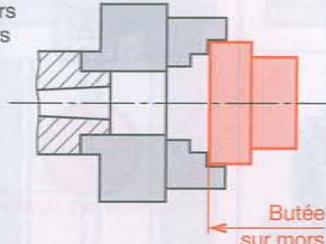
## Mors durs à l'endroit Pièce 1 – Serrage par l'intérieur en butée sur mors



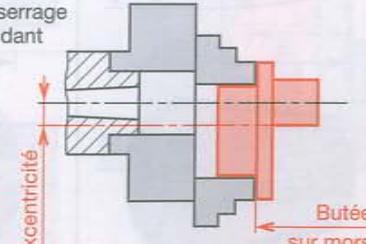
## Pièce 3 – Serrage par l'extérieur en butée sur mors



## Mors durs à l'envers



## Mors à serrage indépendant



Les pinces de serrage assurent, à la fois, la mise en position radiale et le maintien des pièces.

Ces pinces assurent une bonne coaxialité de la prise de pièce avec l'axe de la broche. Elles présentent toutefois l'inconvénient, lors du serrage, d'entraîner la pièce dans un déplacement axial relativement important.

Les pinces biconiques se distinguent par une bonne répartition du serrage sur la surface à maintenir. En particulier, le serrage est assuré dans la zone la plus proche de l'outil.

#### PINCE TIRÉE W

A	15	20	25	E	3	4	5
B	58	73	97,6	F	13,8	18,5	23
C	15	17	25	d min	0,5	0,5	0,5
D	20,2	26,3	33,7	d max	10,7	14,5	19

#### PINCE BICONIQUE E

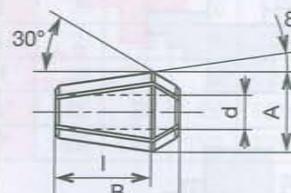
A	16	20	25	32	40
B	27	31	35	40	46
d	0,5 à 8	1 à 12	1 à 16	2 à 20	4 à 26
I	21,4	24,2	27	30,8	34,4

#### PINCE BICONIQUE ES

A	12	17	21	26	33	41
B	18	27	31	35	40	46
d	0,5 à 7	0,5 à 9	0,5 à 12	0,5 à 16	2 à 20	3 à 26
I	14,5	21	24	27	31	35

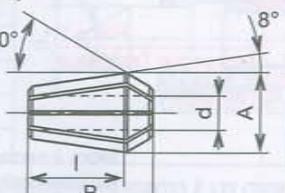
#### Pince biconique E

Plage de serrage : 0,2



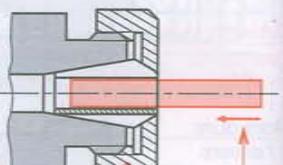
#### Pince biconique ES

Plages de serrage : 0,5 jusqu'à d = 3  
1 à partir de d = 4



#### Exemple d'application

Défaut global de coaxialité : 0,01 max.



Écrou de serrage  
Déplacement axial de la pièce lors du serrage

Les étaux sont un moyen usuel de prise de pièce. On distingue les étaux à commande manuelle, à commande hydraulique et à commande oléopneumatique.

#### EXEMPLE DE MORS SPÉCIAUX

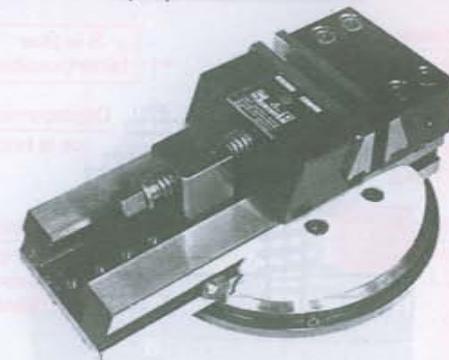
Figures 1 à 4 : si le mors mobile a tendance à soulever la pièce de son appui, on remédie à cet inconvénient en concevant des mors spéciaux en fonction des tolérances à respecter.

Figures 5 et 6 : augmentation de la capacité de serrage en longueur et en hauteur.

Figure 7 : la poussée du mors mobile doit appliquer la pièce sur ses appuis.

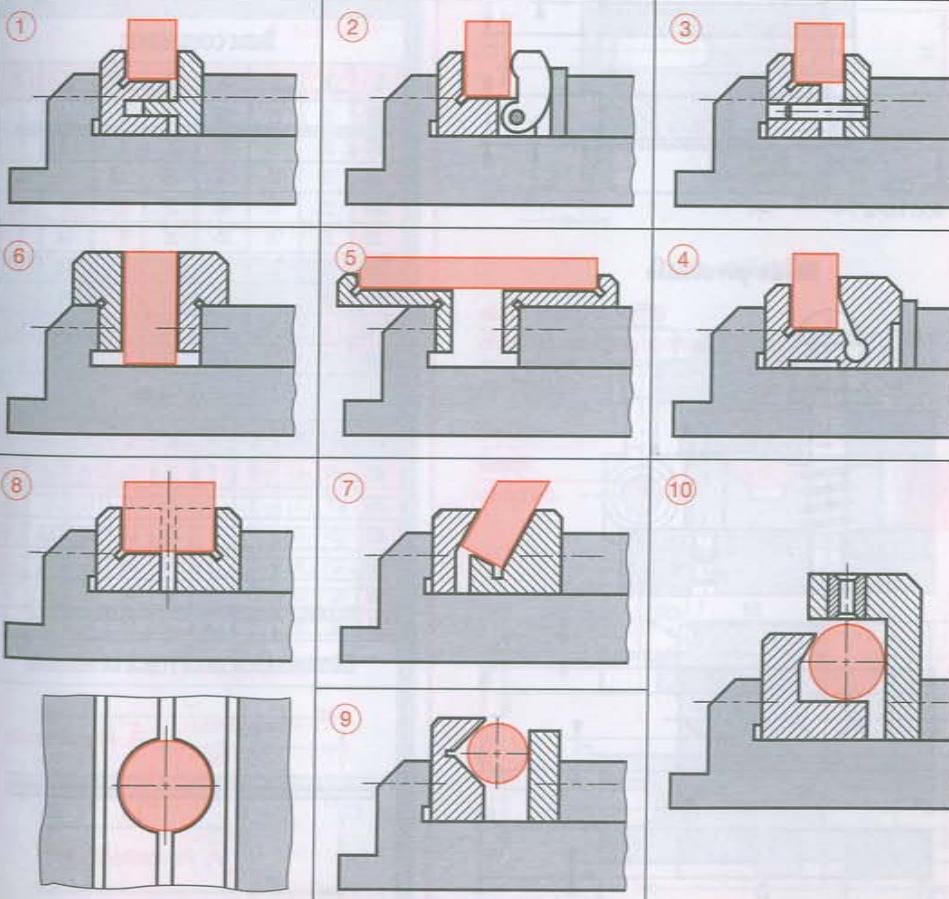
Figures 8 à 10 : prises de pièces cylindriques.

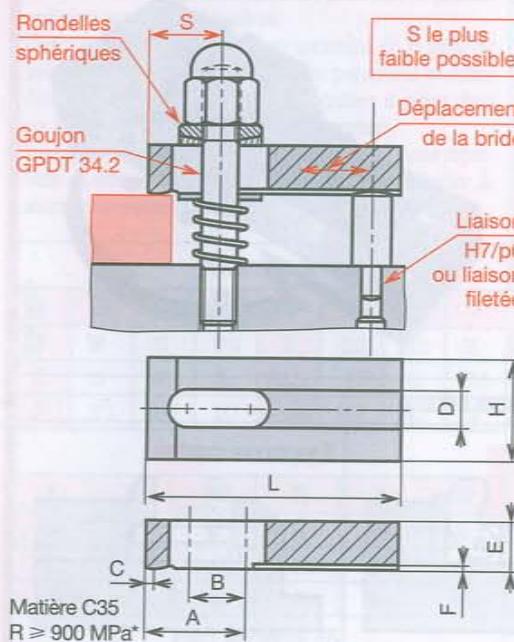
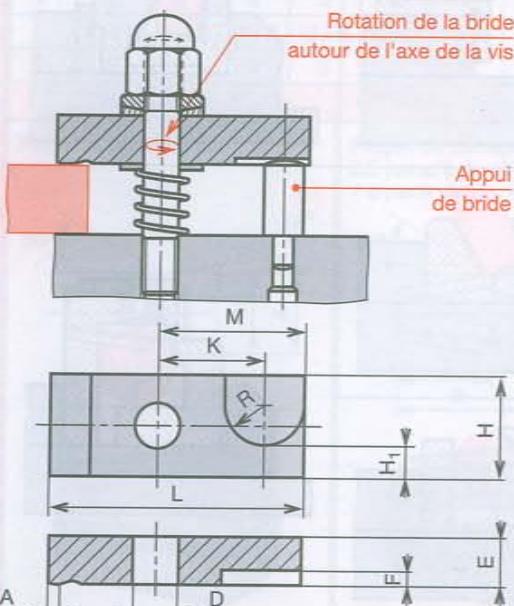
#### Étau à mors plaqueurs



Cliché Schäffler

#### EXEMPLES DE MORS SPÉCIAUX



**Bride coulissante****Bride pivotante**

\* MPa = Mégapascal (GPDT 56).

\*\* Valeurs de A voir GPDT chapitre 38.

Les brides sont des dispositifs de maintien très utilisés. Comme pour un levier simple, on distingue :

- les brides inter-effort ;
- les brides inter-appui ;
- les brides inter-serrage.

**15.1 BRIDES INTER-EFFORT**

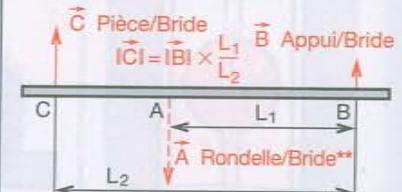
Dans les brides droites usuelles, on distingue essentiellement les brides coulissantes et les brides pivotantes.

**BRIDE COULISSANTE**

L	H	E	A	B	C	D	F
50	20	12	22	12	2	9	4
80	20	12	37	21	2	9	4
63	25	16	28	16	2,5	11	4,5
100	25	16	46	26	2,5	11	4,5
80	32	20	35	20	3	14	5
125	32	20	58	33	3	14	5
100	40	25	44	25	4	16	6
160	40	30	74	42	4	16	6
160	50	30	73	42	5	18	6

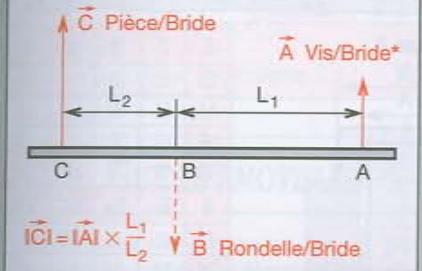
**BRIDE PIVOTANTE**

L	H	H <sub>1</sub>	E	D	M	K	R	A	F
40	16	4	10	7	23	18	8	1,6	3
50	20	5	12	9	28	22	10	2	4
63	25	6,5	16	11	35	27	12	2,5	4
80	32	9	20	14	45	35	14	3	5
100	40	12	25	16	56	44	16	4	6
125	50	16	30	18	70	54	18	5	6

**DÉTERMINATION DE LA FORCE DE SERRAGE****BRIDES INTER-APPUI 15.2**

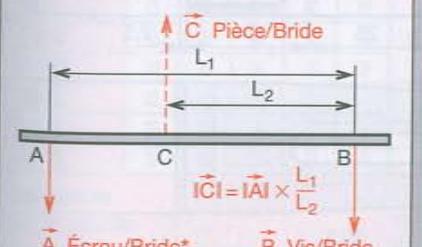
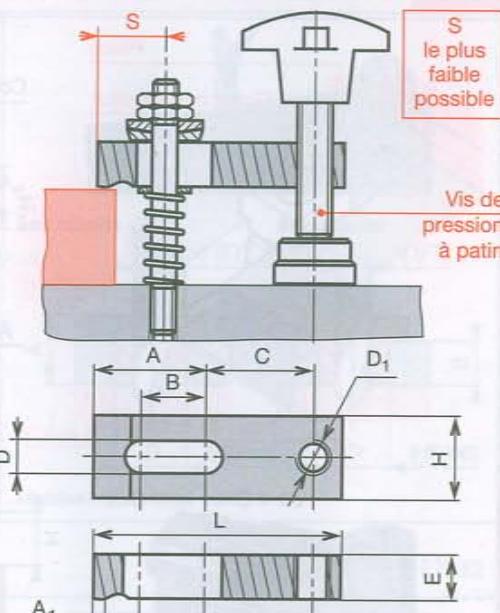
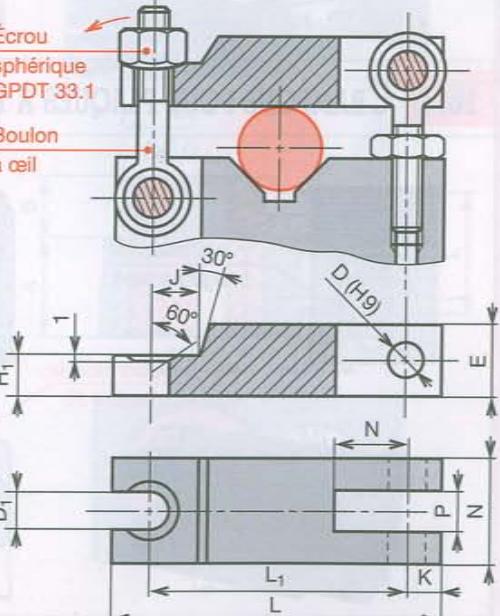
Dans les brides droites usuelles, on utilise essentiellement les brides coulissantes.

L	A	A <sub>1</sub>	B	C	D	E	H
50	22	1,6	12	23	7	10	16
63	28	2	16	29	9	12	20
80	36	2,5	20	36	11	16	25
100	45	3	25	45	14	20	32
125	57	4	32	56	16	25	40
160	72	5	40	72	18	30	50

**DÉTERMINATION DE LA FORCE DE SERRAGE****BRIDES INTER-SERRAGE 15.3**

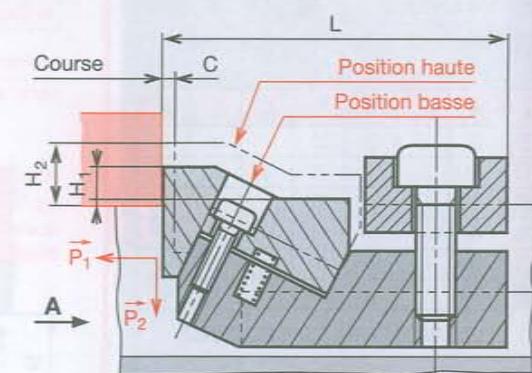
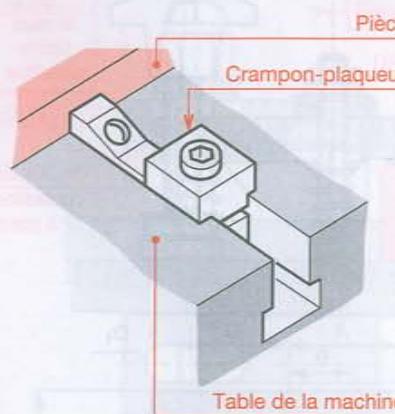
Dans les brides droites usuelles, on utilise essentiellement les brides articulées.

L	H	E	K	D	N	P	L <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	H <sub>1</sub>	J
100	25	16	8	8	19	9,5	85	9	8	10
125	32	20	10	10	22	12,5	105	11	10	14
160	40	25	12	12	27	14,5	138	14	12,5	15

**DÉTERMINATION DE LA FORCE DE SERRAGE****Bride coulissante à vis****Bride articulée**

\* Valeurs de A voir GPDT chapitre 38.

## 16.1 CRAMPONS POUR TABLES À RAINURES À T

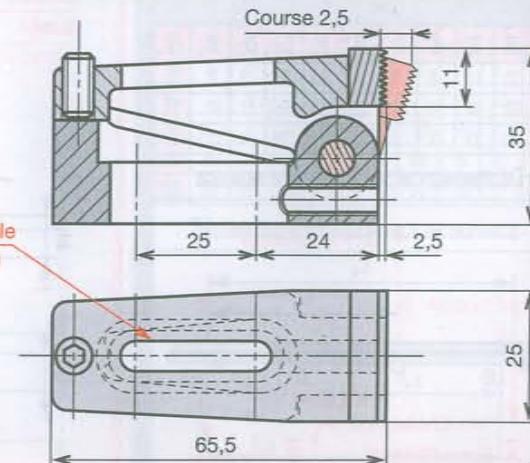
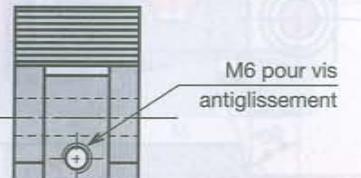


	A	L	B	H	C
12	50	18	8	1,8	
14	53	22	8	1,8	
16	64	25	10	2,5	
18	67	28	10	2,5	
	A	H1	H2	P1*	P2*
12	3,5	8,5	350	40	
14	2,5	7,5	350	40	
16	4	11	750	80	
18	2	9	750	80	

\* Exprimé en décanewtons.

## 16.2 CRAMPONS POUR PLAQUES À TROUS

NF E 62-333



## 17.1 GUIDES FIXES

NF E 21-001

Ces guides, ou canons, sont des bagues cylindriques destinées :

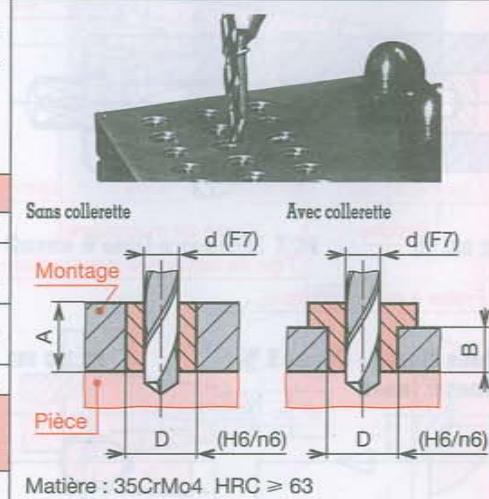
- à mettre en position, par rapport à la pièce, un outil de perçage ou d'alésage ;
- à maintenir cette position pendant le travail de l'outil.

d*	D	A	B	d*	D	A	B
1,5 à 1,8	4	6	4	6,1 à 8	12	10	7
1,9 à 2,6	5			8,1 à 10	15	12	8
2,7 à 3,3	6			10,1 à 12	18		
3,4 à 4	7	8	5,5	12,1 à 15	22		
4,1 à 5	8			15,1 à 18	26	16	12
5,1 à 6	10	10	7	18,1 à 22	30	20	15

DÉSIGNATION

Guide de perçage fixe, avec collerette D × A, NF E 21-001

\* Par 0,1 mm.



## 17.2 GUIDES AMOVIBLES

NF E 21-002

Ces guides amovibles se montent dans des guides fixes. Ils sont utilisés lorsque, sans démontage de la pièce :

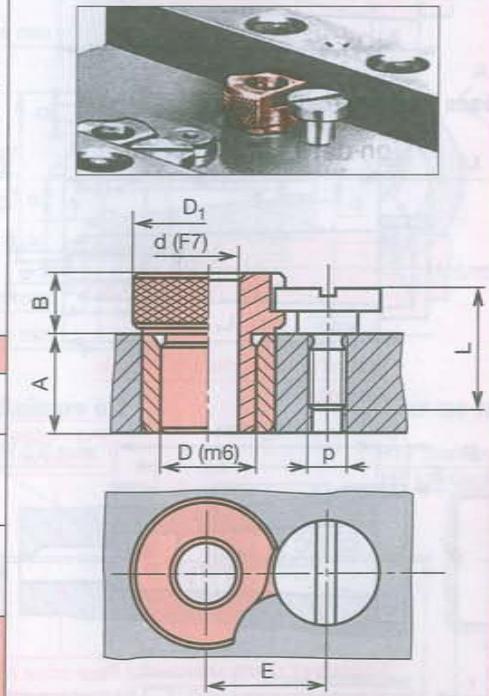
- on travaille coaxialement avec des outils de diamètres différents (trous de grand diamètre, perçage-alésage, perçage-lameage) ;
- on taraude le trou ; dans ce cas, il suffit d'enlever le guide amovible, le taraud se guidant dans le perçage.

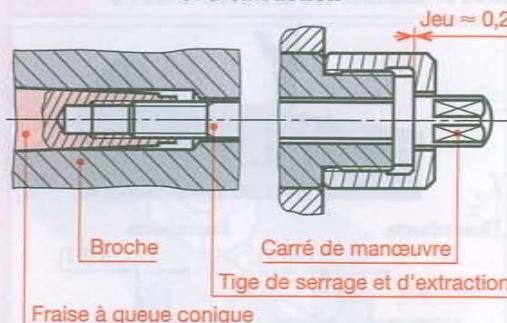
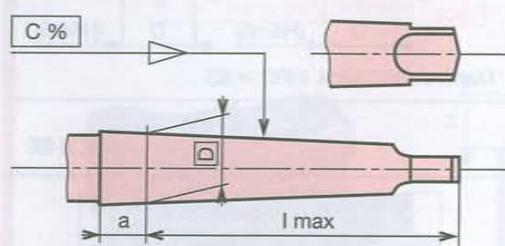
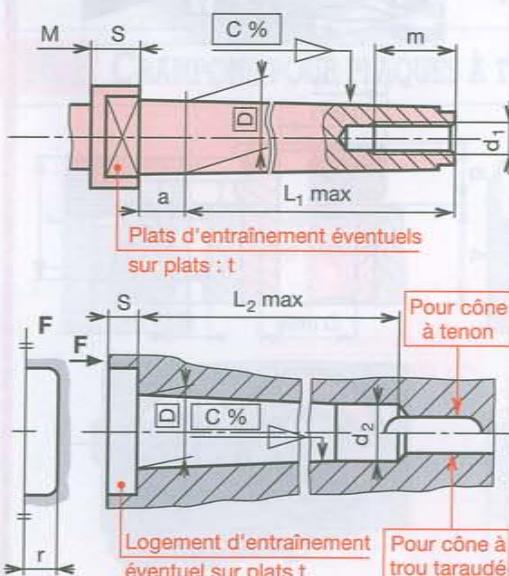
On utilise habituellement un seul guide que l'on déplace après chaque perçage.

d	D	D <sub>1</sub>	A	B	E	p	L
≤ 4	8	15	10	8	15		M5 18
4 à 6 inclus	10	18	12	8	17		
4 à 8	12	22	12	10	20		
8 à 10	15	26	16	10	22	M6	22
10 à 12	18	30	16	10	24		
12 à 15	22	34	20	12	28		
15 à 18	26	39	20	12	31	M8	27
18 à 22	30	46	25	12	35		

DÉSIGNATIONS

Guide amovible : D × A,  
Vis d'arrêt : Mp × L,  
NF E 21-002  
NF E 21-003



**Exemple de système de maintien et d'extraction**

**Cônes Morse - Cônes 5 %** NF ISO 582  
**Cônes à tenon**

**Cônes à trou taraudé**

**18.1 CÔNES D'EMMANCHEMENT**

Ces cônes assurent le centrage des outils dans le nez de broche des machines.

Un cône d'emmanchement est caractérisé par sa conicité.

**18.2 CÔNES « MORSE »  
CÔNES 5 %**

Ils assurent un centrage de très haute précision. Leur faible conicité procure une adhérence généralement suffisante pour l'entraînement de l'outil. Si nécessaire, un entraînement par deux plats est prévu. Le démontage de l'outil est difficile. Il nécessite un système d'extraction.

CÔNES MORSE									
N°	Cen%	D	a	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	m
0	5,205	9,045	3	-	6,7	56,5	50	52	-
1	4,988	12,065	3,5	M6	9,7	62	53,5	56	16
2	4,995	17,780	5	M10	14,9	75	64	67	24
3	5,020	23,825	5	M12	20,2	94	81	84	28
4	5,194	31,267	6,5	M16	26,5	117,5	102,5	107	32
5	5,263	44,399	6,5	M20	38,2	149,5	129,5	135	40
6	5,214	63,349	8	M24	54,6	210	182	186	50

**CÔNES 5 % (conicité c = 5 %)**

D	4	6	80	100	120	180	200
a	2	3	8	10	12	16	20
d <sub>1</sub>	-	-	M30	M36	M36	M48	M48
d <sub>2</sub>	3	4,6	71,5	90	108,5	145,5	182,5
l	-	-	220	280	300	380	460
l <sub>1</sub>	23	32	196	232	288	340	412
l <sub>2</sub>	25	34	202	240	276	350	424
m	-	-	65	80	80	100	100

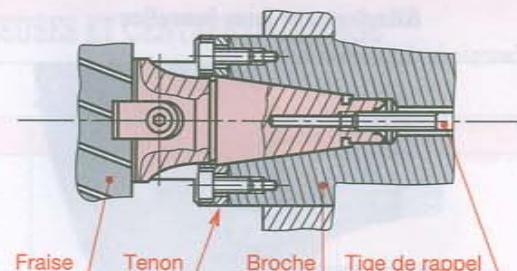
EXEMPLE DE DÉSIGNATION d'un cône Morse n° 3 et d'un cône 5 % de diamètre de jauge D = 100 :  
Cône Morse n° 3. Cône 5 %-100

**CÔNES 7/24 18.3**

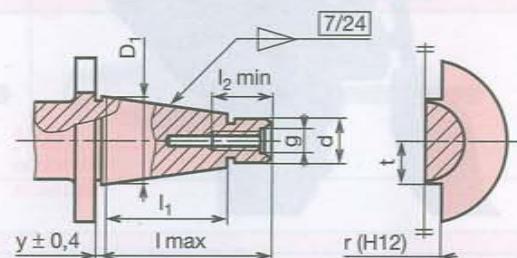
Ces cônes réalisent un centrage un peu moins précis que les cônes Morse.

Leur forte conicité (environ 29,2 %) ne permet pas l'entraînement de l'outil et nécessite l'adjonction de tenons.

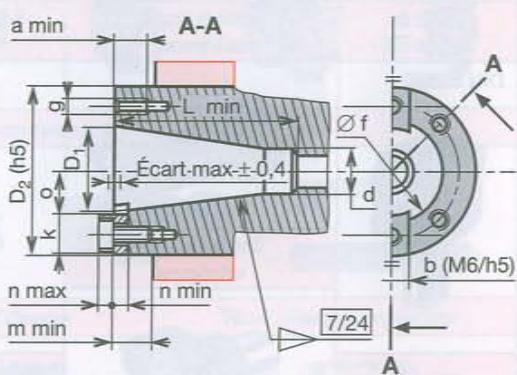
Par contre, le démontage aisément des cônes est très apprécié.


**Queue d'outil à conicité 7/24**

NF ISO 297

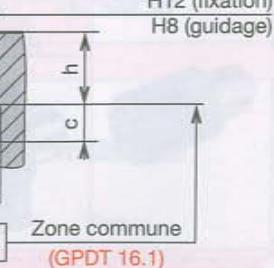

**Nez de broche à conicité 7/24**

NF E 60-023


**RAINURES À T 18.4**

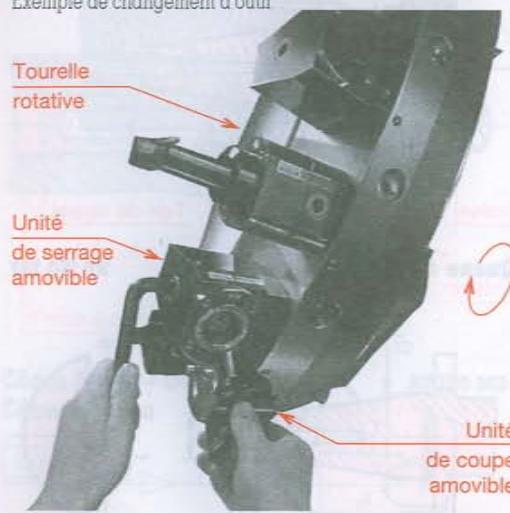
a	b	c	h	a	b	c	h
min	min	max	min	min	min	max	min
6	11	5	8	5	18	30	12
8	14,5	7	11	7	22	37	16
10	16	7	14	9	28	46	20
12	19	8	17	11	36	56	25
14	23	9	19	12	42	68	32

R 0,6 max H12 (fixation)  
H8 (guidage)



**Attachement pour tourelles**

Exemple de changement d'outil

**19.1 ATTACHEMENTS POUR TOURELLES**

Unités de serrage VDI	Unité de coupe intérieures	Adaptateurs pour forets à queue cylindrique	Adaptateurs pour outils à queue cylindrique
DIN 69880			
Allonges			

Les attachements sont des systèmes assurant la liaison entre l'outil ou le porte-outil et la machine.

Leur conception modulaire permet notamment :

- une grande polyvalence de types d'usinage,
- une utilisation rationnelle de mêmes outils sur des machines différentes.

**REMARQUE**

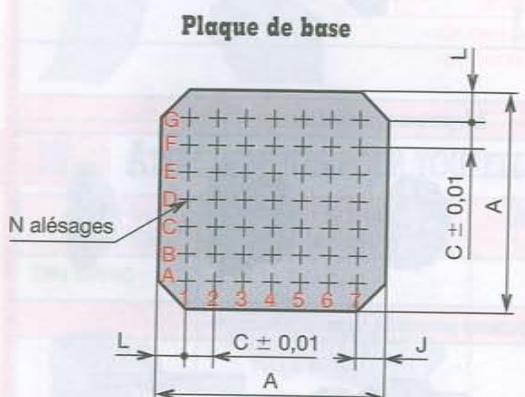
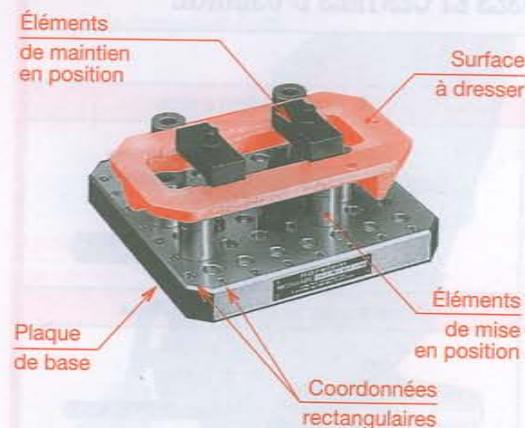
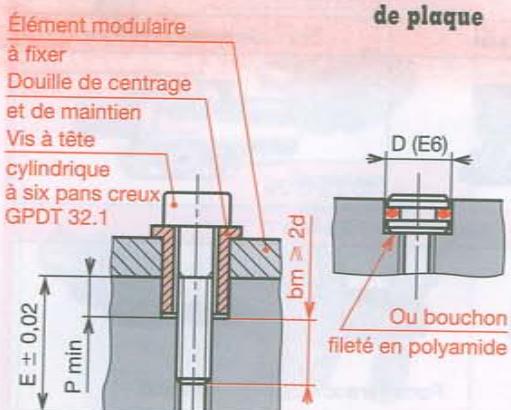
Lors de changement d'outils, l'excellente répétitivité ( $\pm 0,005$ ) de la mise en position permet, pour de nombreuses applications, de supprimer les passes d'usinage pour prise de cote.

**19.2 ATTACHEMENTS POUR FRAISEUSES ET CENTRES D'USINAGE****19.21 ATTACHEMENTS « MONOBLOC »**

Cônes pour fraises à surfacer-dresser	Cônes pour mandrins à pince
Cônes pour mandrins de perçage	Cônes pour outils à queue cône Morse

**19.22 ATTACHEMENTS MODULAIRES**

Cône de base	Adaptateurs pour fraises
ISO 7388	
Allonges	
Outil d'alésage d'ébauche	
Allonges	
Adaptateurs de taraudage	
Adaptateur	
Porte-taraud	
Taraud	

**Montage de fraisage pour semelle d'eau****Détail fixation**

Ce système permet de réaliser un grand nombre de mises en position et de maintiens en position avec un simple assemblage de composants standard.

Par rapport à l'élément de base, les composants sont positionnés suivant un système de coordonnées rectangulaires matérialisées :

- soit par une trame d'alésages équidistants,\*
- soit par des rainures à T orthogonales\*\*.

**REMARQUE**

Ce système est compatible avec tous les autres éléments standard :

- appuis ponctuels (§ 10.1),
- brides (chapitre 15),
- crampons plaqueurs (chapitre 16),
- etc.

**FONCTIONS DE SERVICE D'UN MONTAGE**

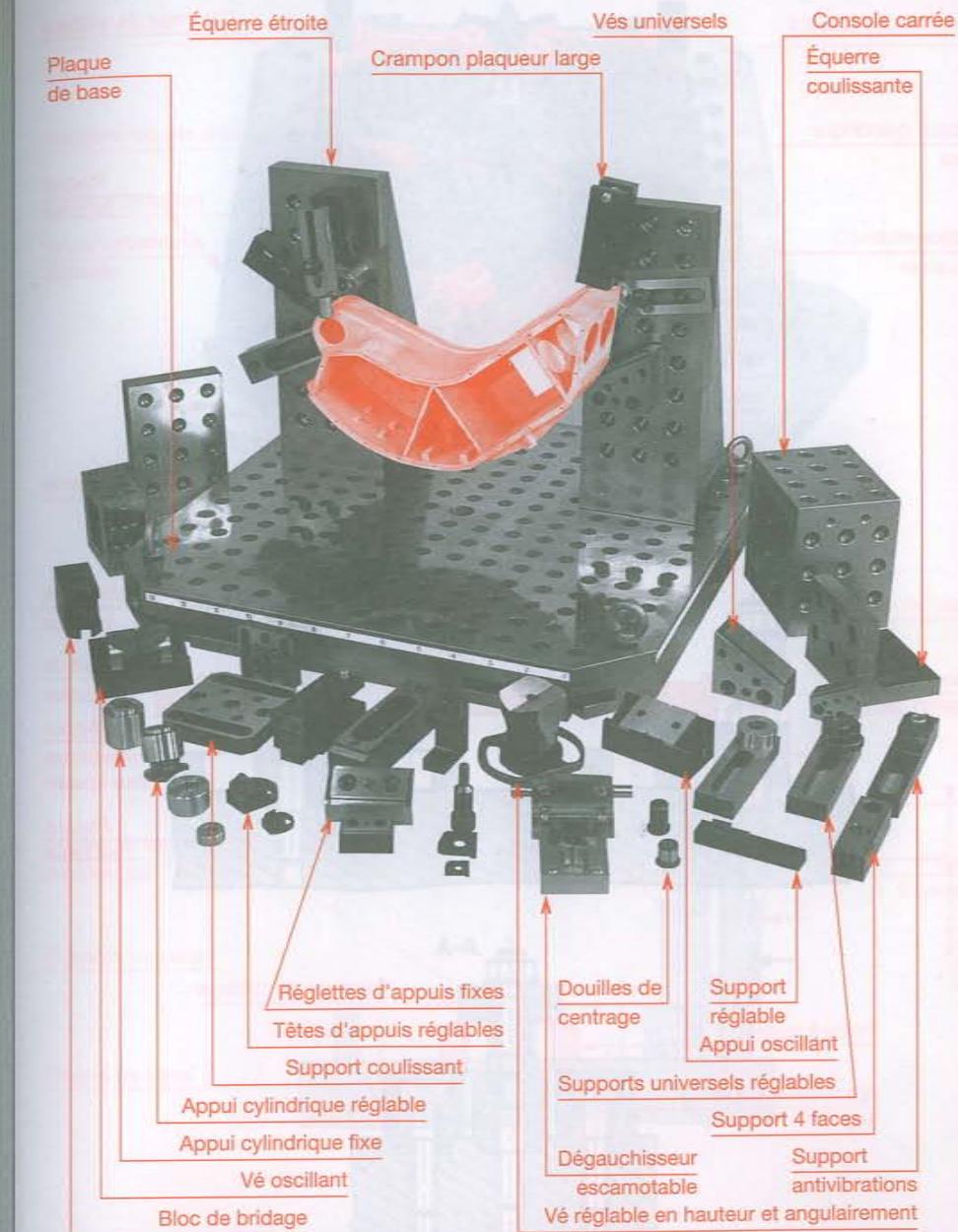
- 1 Mettre en position la pièce.
- 2 Maintenir en position la pièce.
- 3 Soutenir la pièce (si nécessaire).
- 4 Lier les éléments modulaires entre eux.
- 5 Réaliser un montage rigide de l'ensemble.
- 6 Permettre le démontage de la pièce.
- 7 Mettre en position le montage sur la machine.
- 8 Maintenir en position le montage sur la machine.
- 9 Permettre le passage des outils.
- 10 Permettre l'évacuation des copeaux et du lubrifiant.
- 11 Respecter les règles de sécurité.

**PLAQUE DE BASE**

d	A	C	D	E	J	L	P
M 6	250	25	12	35	35	25	4
M 6	315	25	12	40	40	32,5	4
M 6	400	25	12	45	45	25	4
M 10	315	40	18	40	40	37,5	6
M 10	400	40	18	45	45	40	6
M 10	500	40	18	50	50	50	6

\* Fabrication : Norelem...

\*\* Fabrication : DOGA, Halder, ...

**20.1 PRINCIPAUX ÉLÉMÉNTS MODULAIRES\***

## 20.2 EXEMPLES

1

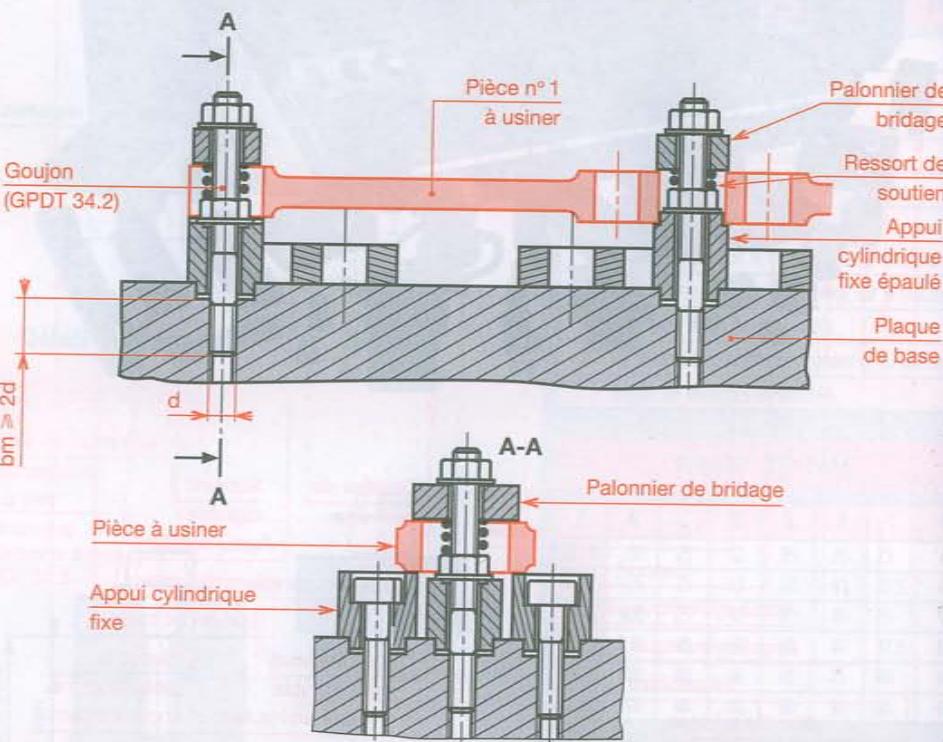
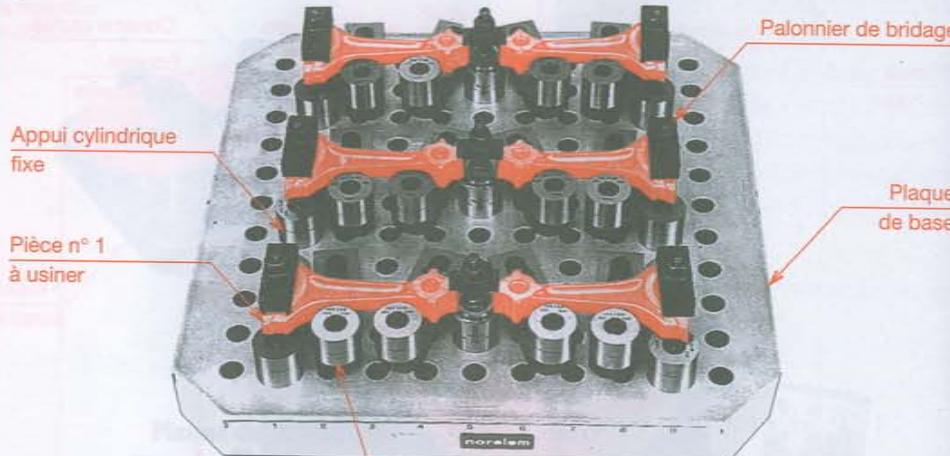


Photo Norelem.

2

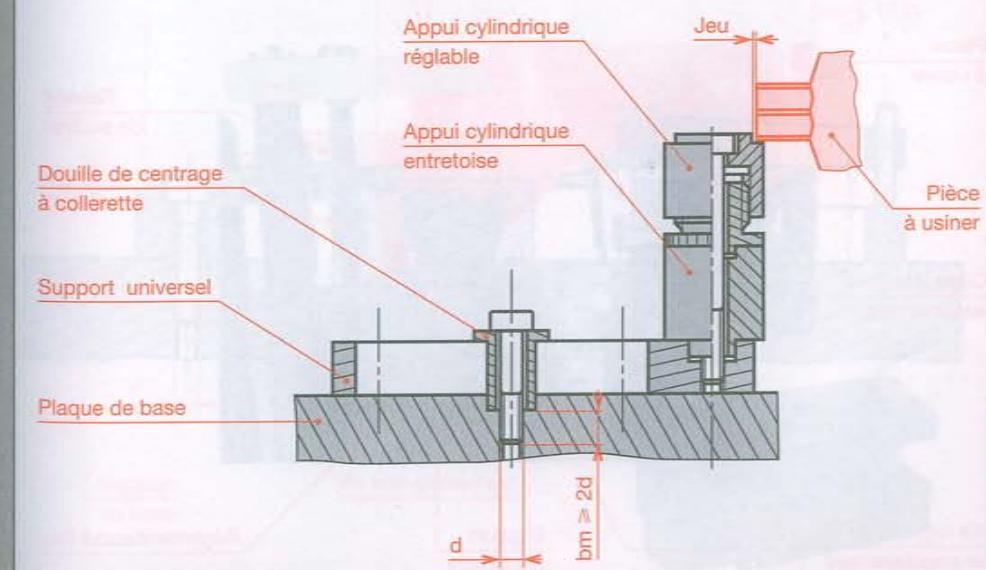
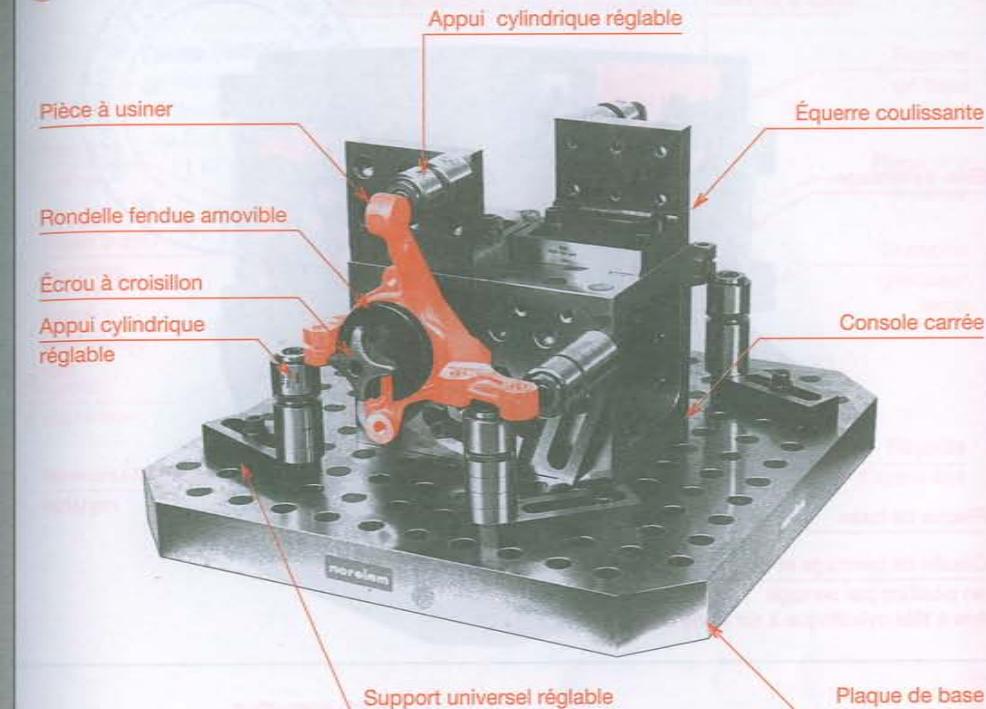
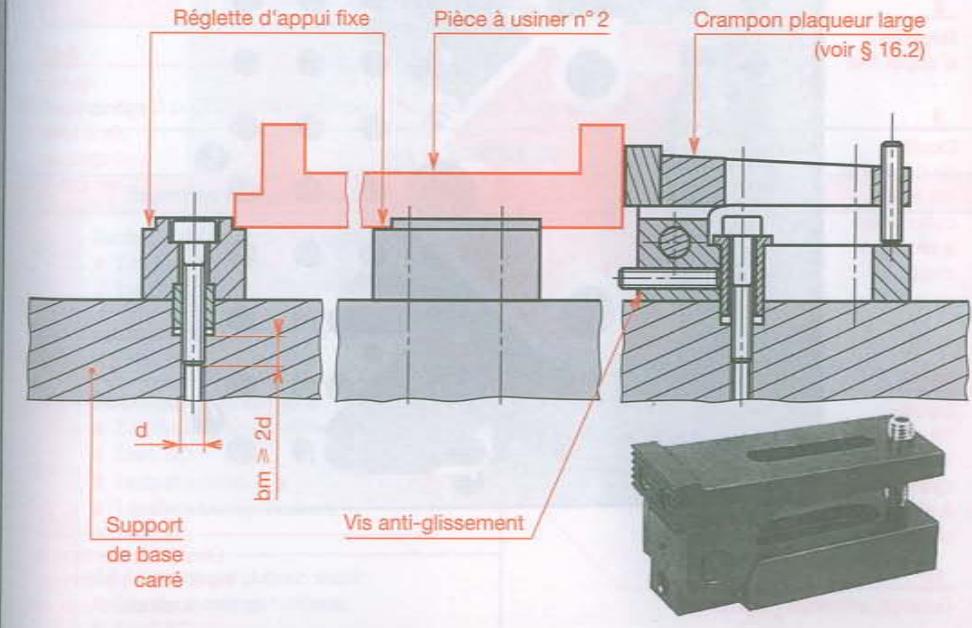
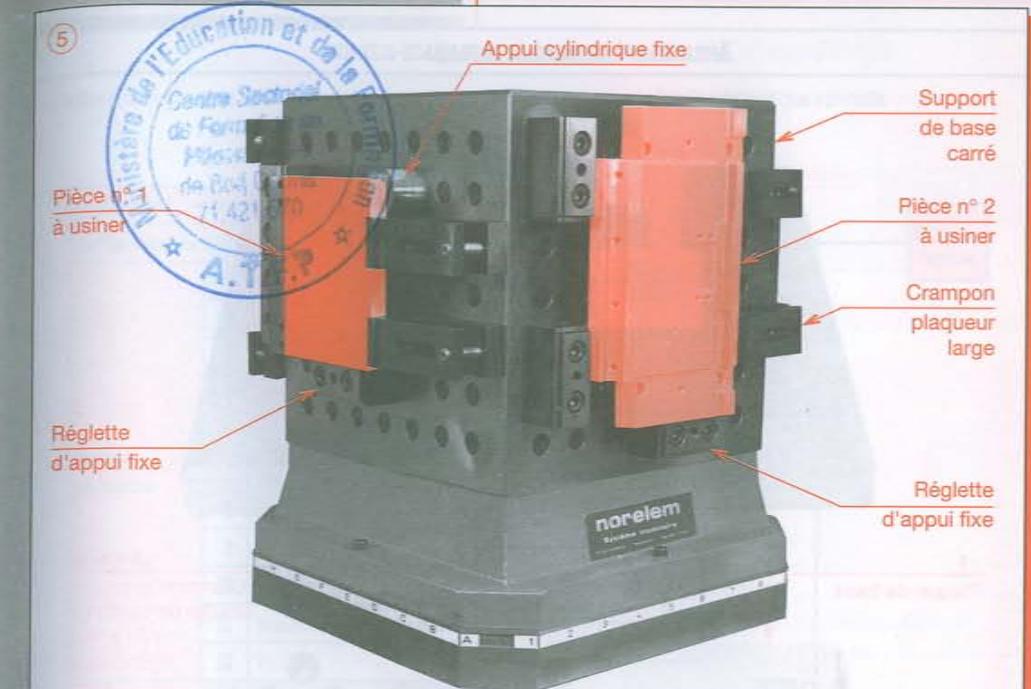
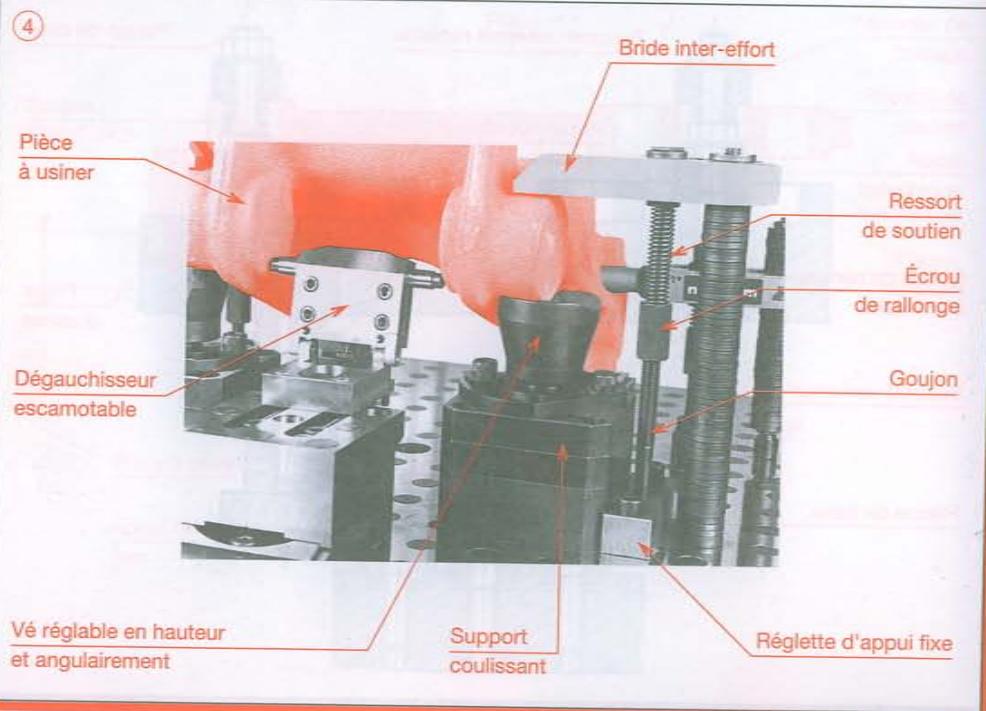
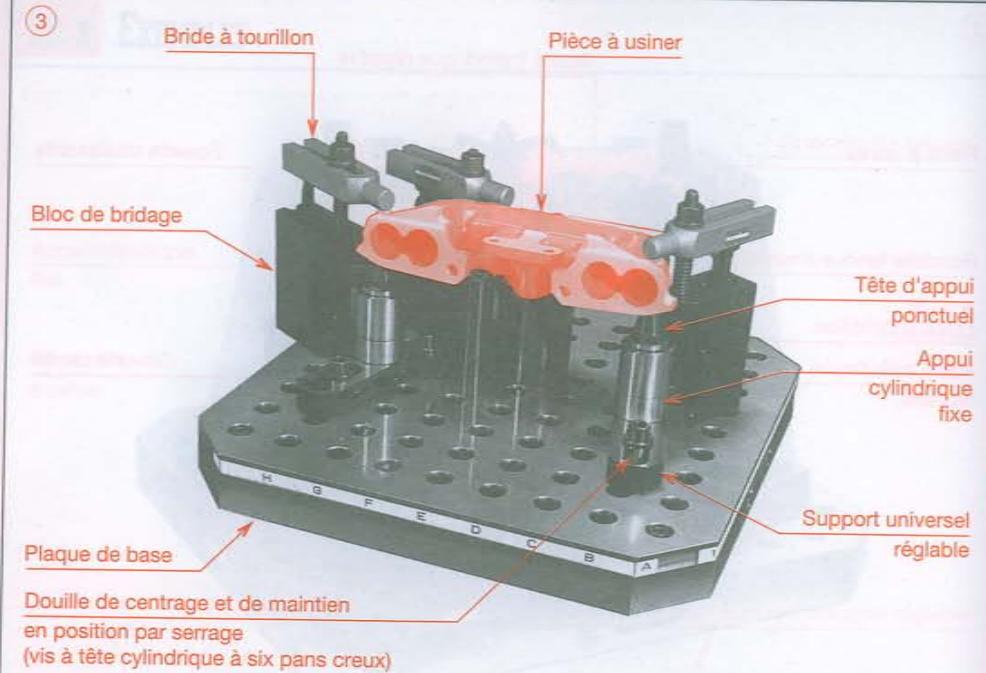
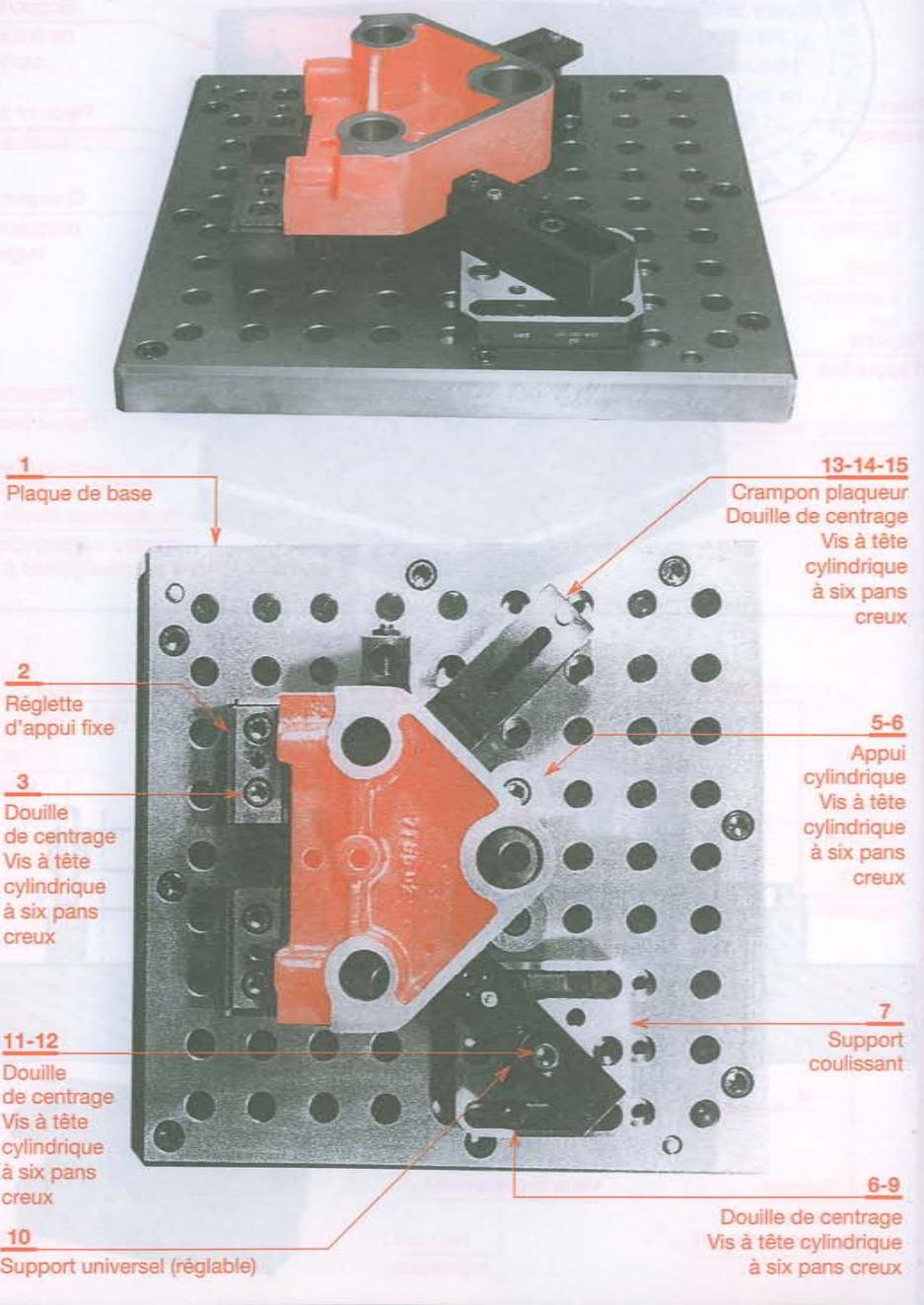


Photo Norelem.

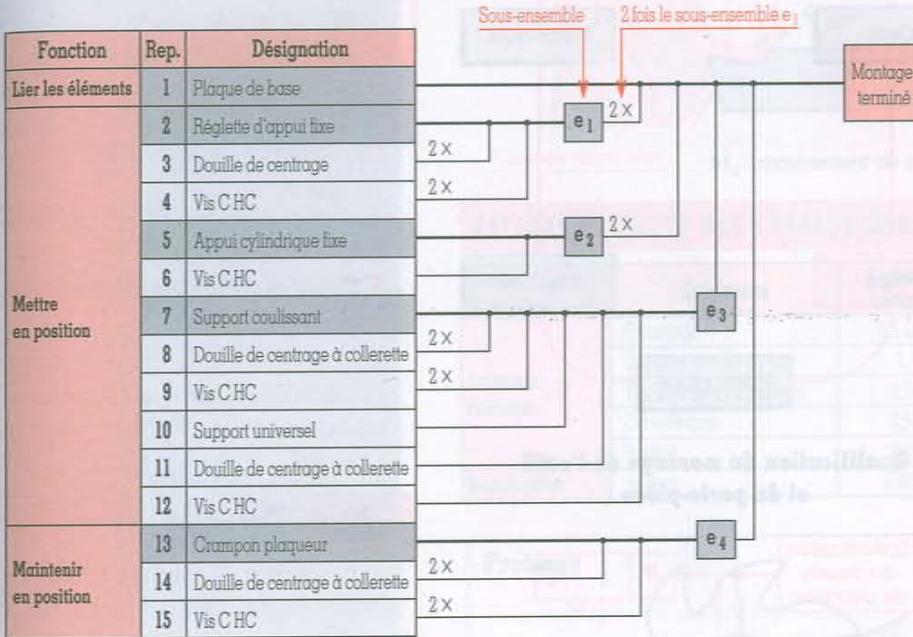


## APPLICATION À UN MONTAGE DE FRAISAGE-ALÉSAGE



## SCHÉMA D'ASSEMBLAGE

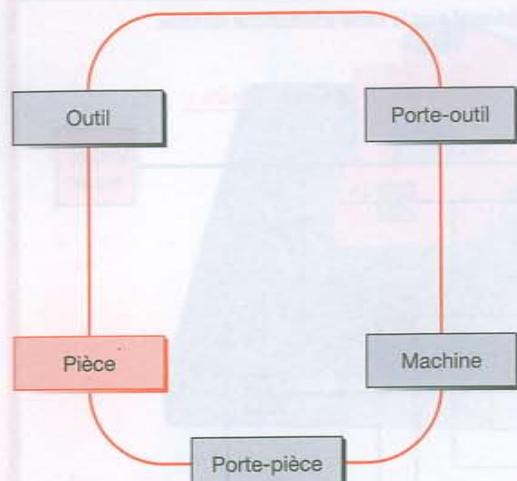
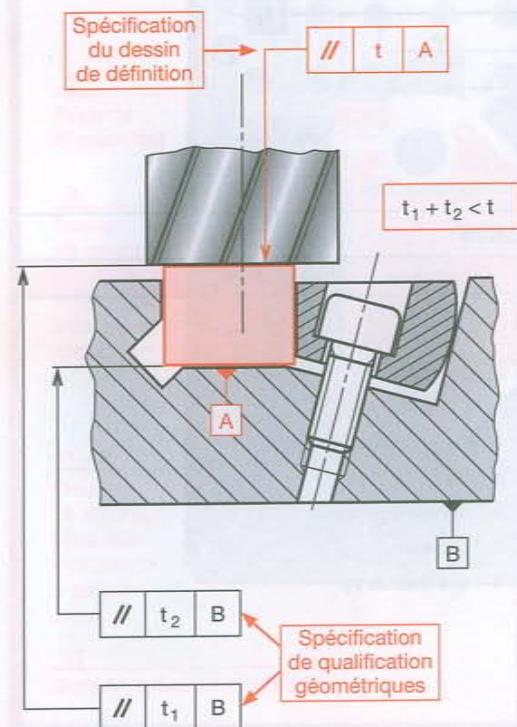
L'ordre d'assemblage d'un montage modulaire peut être représenté sous la forme schématique suivante.



NOTA : le chapitre 27 du GPDT donne les principes de réalisation d'un schéma d'assemblage.

## SIGNIFICATION

Préparation des sous-ensembles		Montage final
e <sub>1</sub> 2 x	Sur chaque réglette d'appui fixe, monter : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2 douilles de centrage,</li> <li>■ 2 vis C HC.</li> </ul>	
e <sub>2</sub> 2 x	Sur chaque appui cylindrique fixe, monter : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 1 vis C HC.</li> </ul>	Sur la plaque de base 1, monter : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2 sous-ensembles e<sub>1</sub>,</li> <li>■ 2 sous-ensembles e<sub>2</sub>,</li> <li>■ 1 sous-ensemble e<sub>3</sub>,</li> <li>■ 1 sous-ensemble e<sub>4</sub>.</li> </ul>
e <sub>3</sub>	Sur un support coulissant, monter : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2 douilles de centrage à collerette,</li> <li>■ 2 vis C HC,</li> <li>■ 1 support universel,</li> <li>■ 1 douille de centrage à collerette,</li> <li>■ 1 vis C HC.</li> </ul>	
e <sub>4</sub>	Sur chaque cramp plaqueur, monter : <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2 douilles de centrage à collerette,</li> <li>■ 2 vis C HC.</li> </ul>	

**Circuit géométrique****Qualification du montage de l'outil et du porte-pièce****22.1 CIRCUIT GÉOMÉTRIQUE**

Les qualités géométriques de forme et de position d'une opération d'usinage sont fonction notamment de la qualité :

- de la prise de pièce dans le porte-pièce,
- du positionnement du porte-pièce sur la machine,
- de la surface générée par les mouvements de coupe et d'avance,
- du positionnement de l'outil dans le porte-outil,
- du positionnement du porte-outil dans la machine.

Chacun de ces éléments doit avoir une **qualification géométrique de capabilité\*** en rapport avec les spécifications géométriques à obtenir.

**22.2 EXEMPLE**

La qualification géométrique du montage de l'outil et du porte-pièce nécessite de mesurer :

- la valeur  $t_1$  du parallélisme de la partie active de l'outil par rapport à la table de la machine,
- la valeur  $t_2$  du parallélisme de la surface d'appui de la pièce par rapport à la table de la machine.

La somme  $t_1 + t_2$  de ces écarts de parallélisme doit être inférieure à la spécification  $t$  de parallélisme à respecter en production.

**APPLICATION**

Après mesure, on relève les valeurs suivantes :

$$t_1 = 0,02 \text{ et } t_2 = 0,03.$$

$$t_1 + t_2 = 0,05.$$

$$\text{Si } t = 0,1, \text{ on a: } 0,05 < 0,1.$$

Le montage de l'outil et le porte-pièce peuvent donc être qualifiés pour l'obtention de la spécification de parallélisme  $t = 0,1$ .

\* Aptitude à produire de façon conforme aux spécifications.

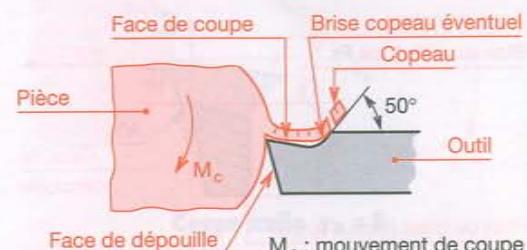
La coupe d'un matériau est obtenue par la pénétration de l'arête tranchante d'un outil qui comprime puis cisaille le matériau.

Le copeau ainsi obtenu glisse le long de la face de coupe. Ce copeau peut être rompu si nécessaire par une surface en saillie appelée « brise copeau ».

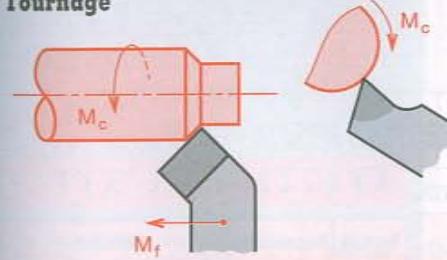
**« Copeau minimum »**

Si la surépaisseur prévue pour l'usinage est trop faible, l'outil ne coupe pas et le métal est écrouï. Il est donc nécessaire de prévoir une surépaisseur égale ou supérieure au copeau minimum.

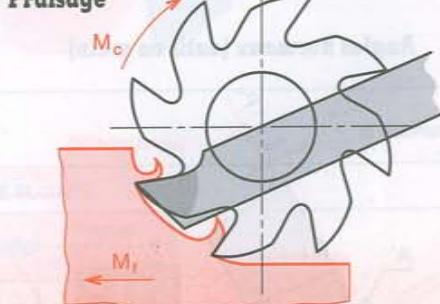
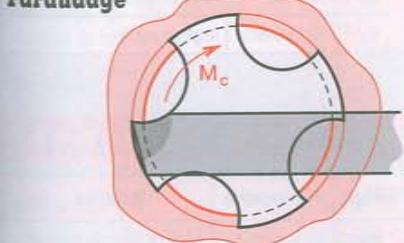
Le copeau minimum est fonction de la nature du matériau constituant l'outil, de la finesse de l'arête tranchante, de l'arrosage...

**Coupe d'un matériau****VALEURS USUELLES DES COPEAUX MINIMA**

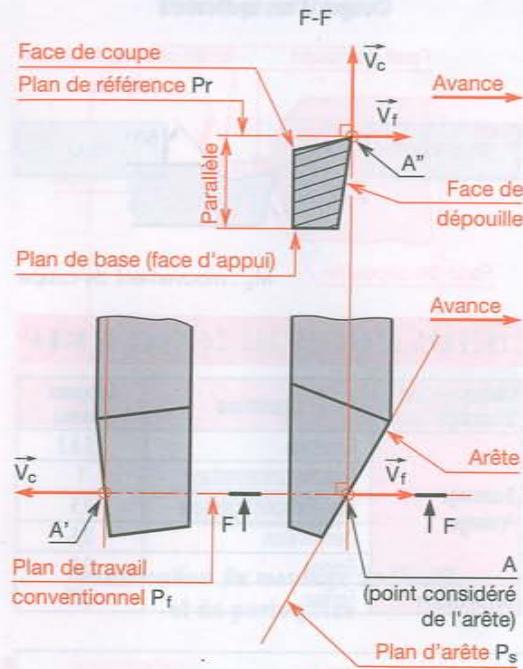
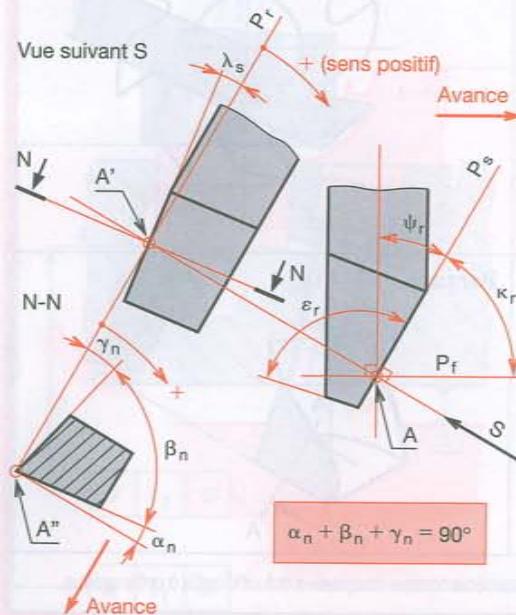
Modes d'usinage	Opérations	Copeaux minima
Tournage Fraisage	Écroutage	1,5 à 3
	Ébauche sans écroutage	1
	Ébauche après écroutage	0,5
	Demi-finition	0,5
Rectification	Finition	0,2
	Rectification	0,05

**Tournage**

Mc : mouvement de coupe  
Mf : mouvement d'avance

**Fraisage****Taraudage****Perçage**

Tous les outils, même ceux à arêtes multiples, peuvent être considérés comme composés d'autant d'outils à arête unique.

**Plans de l'outil en main****Angles normaux (outil en main)****23.1 GÉOMÉTRIE DE L'OUTIL**

La définition des angles est effectuée à partir d'un système de référence constitué par trois plans :  $P_r$ ,  $P_s$  et  $P_f$ .

**Plan de référence  $P_r$** 

C'est un plan passant par le point considéré **A** de l'arête parallèle au plan de base servant de face d'appui au corps de l'outil (pour un outil de tour ou contenant l'axe de l'outil (pour les outils tournant).

$P_r$  est perpendiculaire à la direction supposée du vecteur vitesse de coupe  $V_c$ .

**Plan d'arête  $P_s$** 

C'est un plan perpendiculaire au plan de référence  $P_r$  au point considéré **A** de l'arête et contenant la tangente à l'arête en ce point.

**Plan de travail conventionnel  $P_f$** 

C'est un plan perpendiculaire au plan de référence  $P_r$  au point considéré **A** de l'arête et parallèle à la direction supposée d'avance.

**ANGLES DE L'ARÈTE**

Symbol	Prononciation	Définition
$\kappa_r$	Kappa indice r	Angle de direction d'arête
$\lambda_s$	Lambda indice s	Angle d'inclinaison d'arête
$\psi_r$	Psi indice r	Angle de direction complémentaire
$\epsilon_r$	Epsilon indice r	Angle de pointe

**ANGLES DES FACES**

Symbol	Prononciation	Définition
$\alpha_n$	Alpha indice n	Angle de dépollue normale
$\beta_n$	Béta indice n	Angle de taillant normal
$\gamma_n$	Gamma indice n	Angle de coupe normal

**FONCTION 23.2****DES PRINCIPAUX ANGLES****Angle de direction d'arête  $\kappa_r$** 

Afin d'obtenir une entrée progressive de l'arête de coupe et protéger le bec de l'outil prendre  $\kappa_r < 90^\circ$ .  $\kappa_r$  influe sur la direction d'évacuation des copeaux.

**Angle de dépollue  $\alpha_n$** 

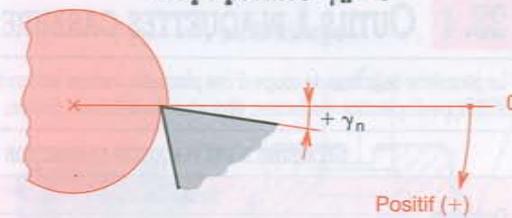
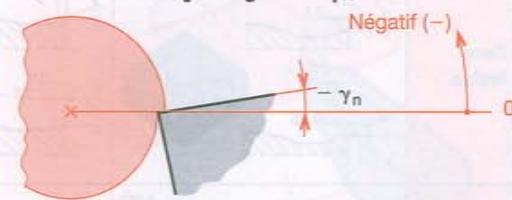
Cet angle évite à l'outil de talonner sur la surface à usiner.

**Angle de coupe  $\gamma_n$** 

$\gamma_n > 0$ . Outils en acier rapide ou en carbure. Pour l'usinage des matériaux tendres (acier doux, alliages d'aluminium...) et les opérations de demi-finition et finition.

La finesse du bec de l'outil autorise l'épaisseur de copeau la plus faible.

$\gamma_n < 0$ . Outils en carbure ou en céramique. L'angle de taillant plus robuste autorise des efforts de coupe importants.

**Coupe positive  $\gamma_n > 0$** **Coupe nulle  $\gamma_n = 0$** **Coupe négative  $\gamma_n < 0$** **23.3 OUTILS EN ACIERS RAPIDES****GÉOMÉTRIE DE COUPE**

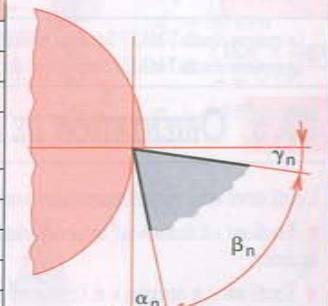
En première approximation, on utilise les valeurs données par le tableau ci-contre. Si les avances sont importantes, on peut réduire l'angle de dépollue  $\alpha_n$  et l'angle de coupe  $\gamma_n$  afin de renforcer l'angle de taillant  $\beta_n$ .

**EXEMPLE**

Soit à charioter une pièce en acier au carbone de résistance à la traction  $R = 670$  mégapascals et de dureté HB  $\approx 200^\circ$ . La consultation du tableau donne :

$\alpha_n = 8^\circ$ ;  $\gamma_n = 8^\circ$ ;  $\beta_n = 74^\circ$ .

Matière	Dureté (HB)	Angles		
		$\alpha_n$	$\gamma_n$	$\beta_n$
Acier	< 175	8	15	67
Acier	175-250	8	8	74
Acier	> 250	6	6	78
Acier inoxydable		8	15	67
Fonte	< 250	8	8	74
Fonte	> 250	6	5	79
Laiton		10	0	80
Bronze		8	0	82
Cuivre		10	30	50
Alliages d'aluminium		10	35	45



D'après Sandvick

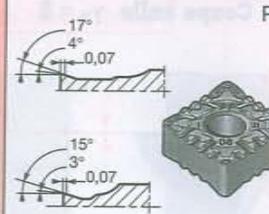
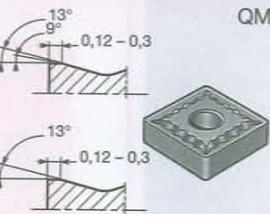
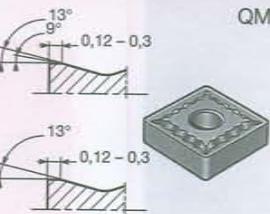
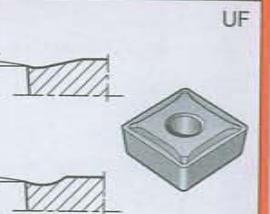
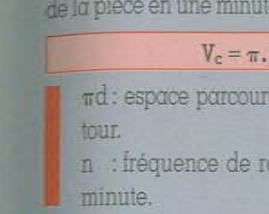
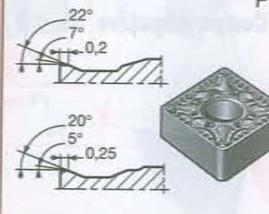
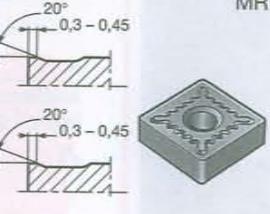
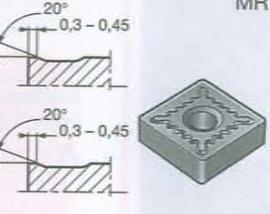
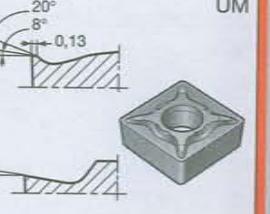
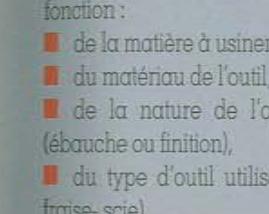
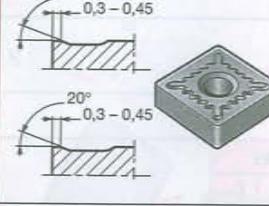
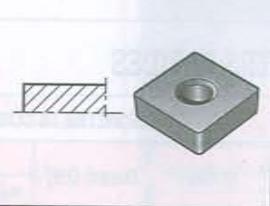
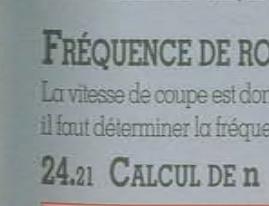
HB : dureté Brinell; voir chapitre 78.

\* Conversion entre la dureté HB et la résistance à la traction R : voir GPDT chapitre 53.

## 23.4 OUTILS À PLAQUETTES CARBURE

La géométrie de la face de coupe d'une plaquette carbure est fonction de la nature du métal à usiner, acier, fonte, alliage léger et du type d'opération à effectuer, ébauche, demi-finition, finition.

### GÉOMÉTRIE D'UNE PLAQUETTE EN FONCTION DU MATERIAU ET DU TYPE D'OPÉRATION

Opération	Systèmes d'outils T-max P*			Systèmes d'outils T-max U**
	P (acières)	KH (fontes)	P-M-KH (Ac, inox, fontes)	
Finition	 	<b>PF</b>  <b>QM</b> 		<b>UF</b> 
Demi-finition	 	<b>PM</b>  <b>MR</b> 		<b>UM</b> 
Ébauche (plaquette réversible)	 	<b>MR</b> 	<b>NMA</b>  Valable pour 1/2 finition Non réversible	<b>AL</b> Valable pour 1/2 finition Non réversible

\* Le système d'outils T-MAX P Sandvik est destiné au tourage extérieur de l'ébauche à la finition et au tourage intérieur des grands diamètres.

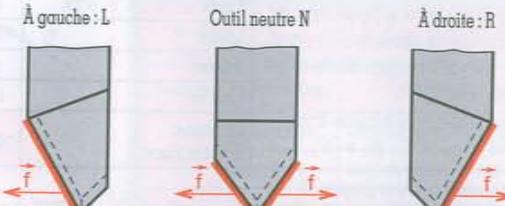
\*\* Le système d'outils T-MAX U Sandvik est destiné au tourage et à l'älésage des pièces de petite taille.

## 23.5 ORIENTATION DE L'ARÈTE DE L'OUTIL

L'outil étant tenu verticalement pointe en bas :

- l'outil est « à droite » si l'arête est orientée vers la droite,
- l'outil est « à gauche » si l'arête est orientée vers la gauche,
- l'outil est « neutre » si les deux parties actives de l'outil sont symétriques par rapport à l'axe du corps.

### Orientation de l'arête de l'outil



## ÉLÉMENTS DE COUPE

24

### VITESSE DE COUPE 24.1

#### $V_c$ EN FRAISAGE

C'est l'espace parcouru en mètres par l'extrémité d'une dent de l'outil en une minute (fig. 1).

#### $V_c$ EN TOURNAGE

C'est l'espace parcouru en mètres par un point de la pièce en une minute (fig. 2).

$$V_c = \pi \cdot d \cdot n$$

$\pi d$  : espace parcouru en mètres pour un tour.

$n$  : fréquence de rotation en tours par minute.

La vitesse de coupe varie principalement en fonction :

- de la matière à usiner,
- du matériau de l'outil,
- de la nature de l'opération à réaliser (ébauche ou finition),
- du type d'outil utilisé (fraise à surfacer, fraise-scie),
- de la lubrification (travail à sec ou lubrifié).

### FRÉQUENCE DE ROTATION 24.2

La vitesse de coupe est donnée par des tableaux, il faut déterminer la fréquence de rotation  $n$ .

#### 24.2.1 CALCUL DE $n$

$$n = \frac{V_c}{\pi \cdot d}$$

$V_c$  : vitesse de coupe en mètres par minute.  
 $d$  : diamètre de la fraise en millimètres (fraisage) ou diamètre de la pièce en millimètres (tourage).

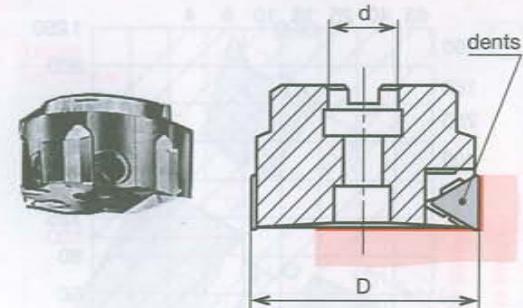
On multiplie  $V_c$  par 1 000 pour convertir en millimètres par minute.

$$n = \frac{1000 V_c}{\pi \cdot d}$$

$n$  : fréquence de rotation en tours par minute (tr/min).

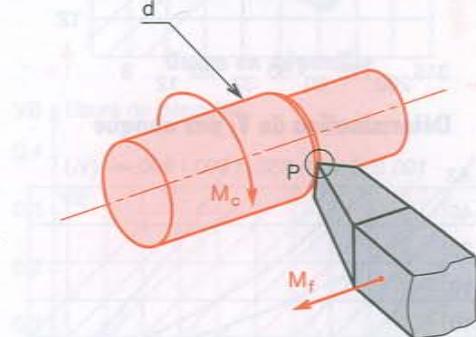
①

#### $V_c$ en fraisage



②

#### $V_c$ en tournage



#### Exemples de calcul de $n$

##### Tourage

$$V_c = 440 \text{ m/min}$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$n = \frac{1000 \times 440}{\pi \times 30}$$

$$n = 4668 \text{ tr/min}$$

$$n = \frac{1000 V_c}{\pi d}$$

##### Fraisage

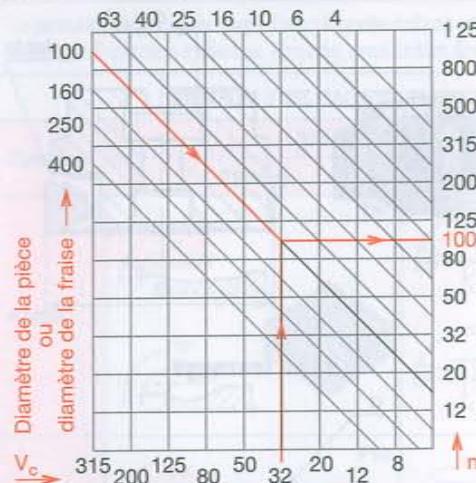
$$V_c = 100 \text{ m/min}$$

$$d = 80 \text{ mm}$$

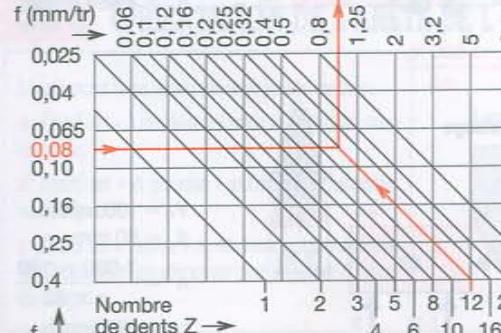
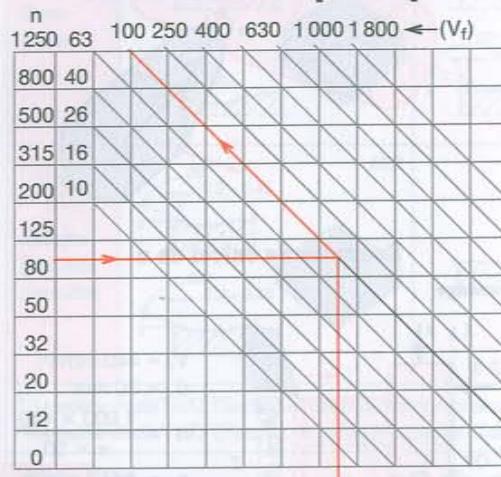
$$n = \frac{1000 \times 100}{\pi \times 80}$$

$$n = 397 \text{ tr/min}$$

### ① Abaque de calcul de $n$



#### Détermination de $V_f$ par abaque



### 24.22 DÉTERMINATION DE $n$

#### PAR ABAQUE

$V_c = 32$  m/min.

Diamètre de la fraise = 100.

Après lecture de l'abaque, on trouve :  
 $n \approx 100$  tr/min.

Détermination de  $n$  par le calcul :

$$n = \frac{1000 \times 32}{3,14 \times 100} = \frac{32000}{314} = 100,1 \text{ tr/min.}$$

### 24.3 AVANCE

#### TOURNAGE

L'avance ( $f$ ) est le déplacement de l'outil en mm/tr.

#### FRAISAGE

L'avance ( $V_f$ ) est le déplacement de la pièce en mm/min.

$$V_f = f_z \cdot z \cdot n$$

- $f_z$  : avance par dent en mm.
- $z$  : nombre de dents de la fraise.
- $n$  : fréquence de rotation en tr/min.

#### APPLICATION

Fraise =  $\emptyset 100$  ;  $z = 12$  dents ;  $f_z = 0,08$  mm ;  
 $n = 100$  tr/min.

$$V_f = 0,08 \times 12 \times 100 \approx 100 \text{ mm/min.}$$

### 24.4 PROFONDEUR DE PASSE $a_p$

La profondeur de passe  $a_p$  dépend de la nature de l'opération (ébauche ou finition). La profondeur de passe  $a_p$  ne doit pas être inférieure au copeau minimum (voir chapitre 23).

La valeur maximum de  $a_p$  dépend de la rigidité de l'outil et de la puissance de la machine-outil.

## DURÉE DE VIE D'UN OUTIL

25

### USURE DE L'OUTIL 25.1

La qualité des surfaces obtenues en productivité ainsi que la précision dimensionnelle des pièces dépendent de l'usure de l'outil.

La norme NF E 66-505 présente les différents effets de l'usure (fig. 1).

Les deux principales formes d'usure sont :

- 1° l'usure en cratère  $K_T$  due au frottement du copeau sur la face de coupe ;
- 2° l'usure en dépouille  $V_B$  due au frottement de la pièce sur la face en dépouille.

Le norme fixe comme critère de durée de vie

$$V_B = 0,3 \text{ mm.}$$

L'usure d'un outil de nature et de géométrie données pour usiner un matériau déterminé avec un lubrifiant connu est fonction des conditions de coupe  $V_c$ ,  $f$ ,  $a_p$ .

#### EXEMPLE (FIG. 2)

L'usure  $V_B$  d'outils déterminés pour des vitesses de coupe  $V_c1$ ,  $V_c2$ ,  $V_c3$ , donnent des temps correspondants  $T1$ ,  $T2$ ,  $T3$ .

### 25.2 DROITE DE TAYLOR

Les couples  $V_c1$ ,  $T1$ ,  $V_c2$ ,  $T2$ ,  $V_c3$ ,  $T3$ , ... reportés sur un graphe à coordonnées logarithmiques donnent une courbe relativement proche d'une droite dite « droite de Taylor ».

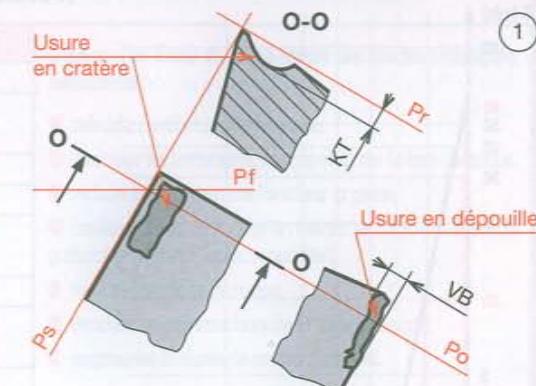
Soit  $C_V$  et  $C_T$  les intersections de la droite de Taylor avec le système d'axes :

- $C_V$  = temps théorique que durerait un outil pour une vitesse de coupe de 1 m/min.
- $C_T$  = vitesse de coupe théorique d'un outil pour une durée de 1 minute.

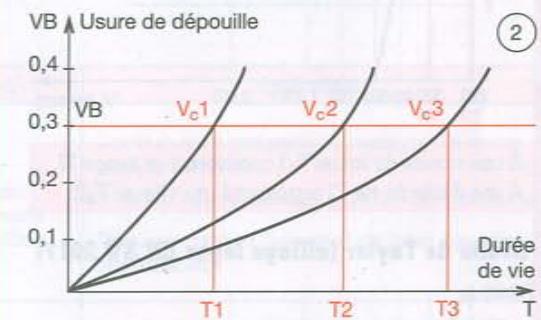
#### NOTA

La droite de Taylor est tracée sur du papier à division logarithmique.

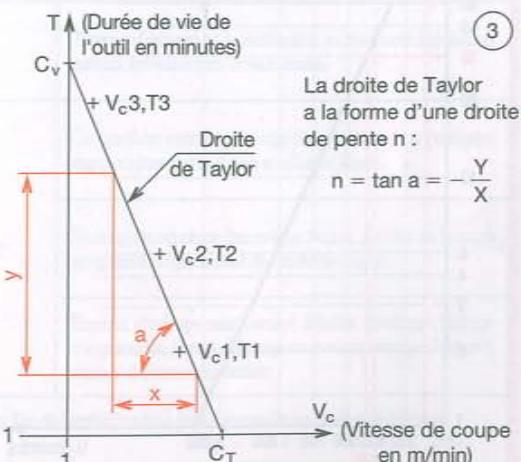
### Usure d'un outil de tournage

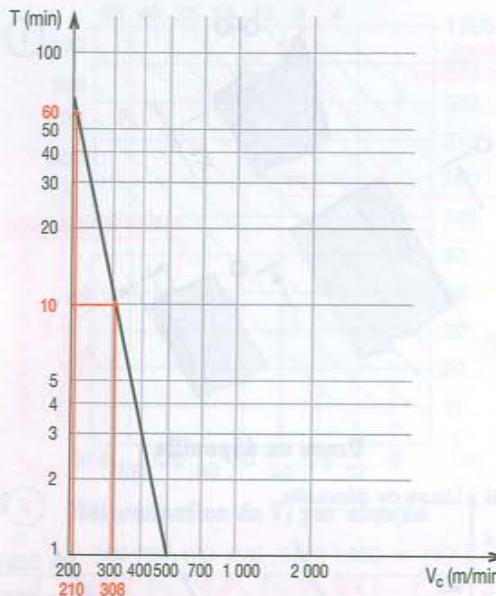


#### Usure en dépouille

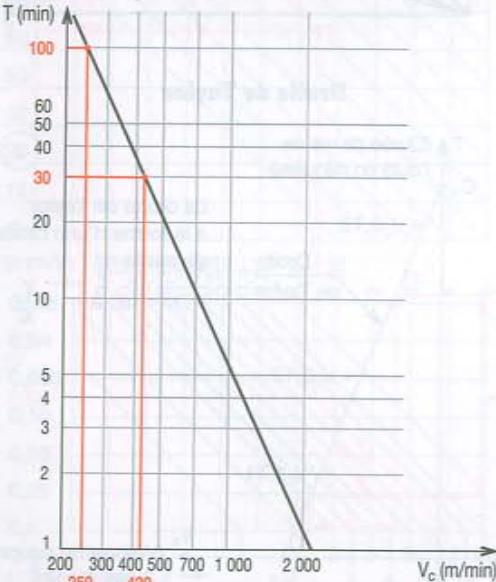


#### Droite de Taylor



**Droite de Taylor (acier C 35)**

À une vitesse de coupe  $V_c1$  correspond un temps  $T_1$ .  
À une durée de vie  $T_2$  correspond une vitesse  $V_c2$ .

**Droite de Taylor (alliage léger EN AW 2017)****25.3 EXPLOITATION DE LA DROITE DE TAYLOR**

Soit les deux droites de Taylor ci-contre :

- la première est obtenue par essais d'usinage d'un acier C 35 à l'aide d'un outil en acier carbure P10,  $\kappa_r = 90^\circ$ ,  $f = 0,3 \text{ mm/tr}$ ;
- la deuxième est obtenue par essais d'usinage d'un alliage léger EN AW-2017 (A-U4G) à l'aide d'un outil en acier rapide HS 6-5-2,  $\kappa_r = 90^\circ$ ,  $f = 0,2 \text{ mm/tr}$ .

À l'aide de ces droites, il est possible de déterminer par tracé :

- la vitesse de coupe  $V_c$  connaissant la durée de vie  $T$  de l'outil ;
- la durée de vie  $T$  de l'outil connaissant la vitesse de coupe  $V_c$ .

**EXEMPLES****Droite de Taylor - C 35 - Outil carbure P10**

■ À la vitesse  $V_c = 210 \text{ m/min}$  correspond une durée de vie de l'outil de 60 min.

■ À la durée de vie de l'outil  $T = 10 \text{ min}$  correspond la vitesse de coupe  $V_c = 308 \text{ m/min}$ .

**Droite de Taylor - Alliage léger EN AW 2017 (A-U4G) - Outil en acier rapide HS 6-5-2**

■ À la vitesse  $V_c = 250 \text{ m/min}$  correspond une durée de vie de l'outil de 100 minutes.

■ À la durée de vie  $T = 30 \text{ minutes}$  correspond la vitesse de coupe  $V_c = 430 \text{ m/min}$ .

**REMARQUE**

Pour les durées de vie de l'outil, voir également le tableau « durée de vie  $T$  - facteurs de correction de  $V_c$  » § 32.1.

**26.1 FONCTIONS DE LA LUBRIFICATION**

Matériau	Lubrifiant
Acier R < 700 MPa*	Huile soluble - Huile minérale EP
Acier R ≥ 700 MPa*	Huile soluble - Huile minérale EP - Liquide synthétique
Acières inoxydables	Huile minérale EP - Huile soluble EP
Acières à outils	Huile minérale EP
Bronzes, laitons, fontes	Usinage à sec - Huile soluble - Liquide semi-synthétique
Alliages d'aluminium	Huile soluble - Liquide synthétique
Alliages de cuivre	Huile soluble - Liquide synthétique - Huile compoundée
Titan	Huile soluble
Matières plastiques	Huile soluble (2 %)

\* 1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>.

L'action d'un fluide de coupe assure des fonctions multiples, notamment :

- refroidir l'outil et la pièce usinée,
- diminuer les frottements des copeaux sur la face de coupe,
- réduire le frottement de l'outil sur la pièce,
- améliorer l'état de surface en évitant les micro-soudures de particules de métal (arête rapportée),
- réduire les efforts de coupe,
- évacuer les copeaux hors de la zone de coupe,
- augmenter la durée de coupe d'un outil.

**26.2 TYPES DE LUBRIFIANTS**

Catégorie	Composition	Aspect	Applications
Produits solubles	Huile solubles	Blanc laitue, semi-transparent à opaque suivant le pourcentage d'huile	Liquide de coupe pratiquement universel pour les travaux usuels sur tout matériau.
	Eau, huile minérale (5 à 10 %) émulsifiant.		
	Huiles solubles EP*		
	Huile soluble avec additifs.		Travaux sur matériaux d'usinage difficile (acières durs, aciers inoxydables, etc.).
	Liquides semi-synthétiques	Semi-transparent	
Huiles entières	Eau, huile minérale (5 à 25 %) additifs divers.	Semi-transparent	Travaux d'usinage et de rectification courants sur métaux.
	Liquides synthétiques	Transparent	Travaux d'usinage et de rectification relativement difficiles sur métaux ferreux et non ferreux usuels.
	Eau, produits de synthèse et additifs divers.		
	Huiles minérales	Semi-transparent	Ce lubrifiant évite le grippage des glissières non protégées des machines-outils. Acières et alliages légers.
	Obtenues par raffinage du pétrole.		
	Huiles « compoundées »**		Tournage et rabotage des métaux ferreux. À éviter en fraisage en opposition (glissement de l'arête de coupe).
	Contient des corps gras (huile de lard, etc.)		
	Huiles minérales EP*		
	Huile minérale avec additifs.		Travaux d'usinage relativement difficiles, brochage, taillage d'engrenages, filetage, fraisage en avançant, usinage d'acières à outils et d'acières inoxydables.

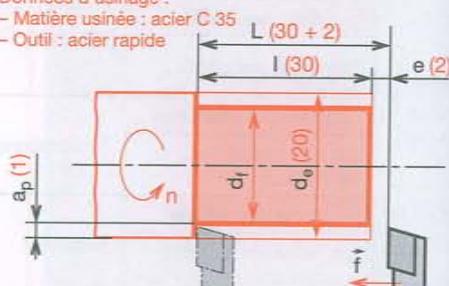
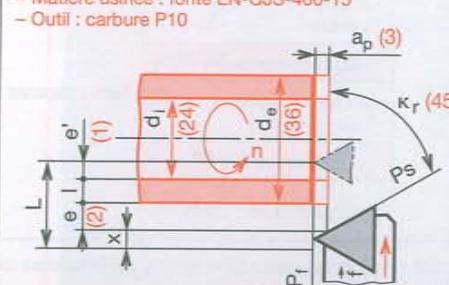
\* Additif dit « extrême-pression » (EP) ayant pour but de maintenir un film de lubrifiant même dans des conditions d'usinage difficiles.

\*\* Compoundée ≈ mélangée.

## 27.1 PRINCIPAUX TYPES DE TEMPS\*

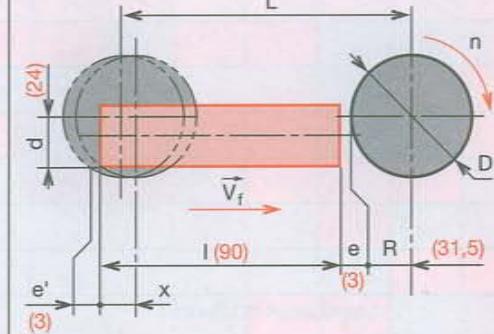
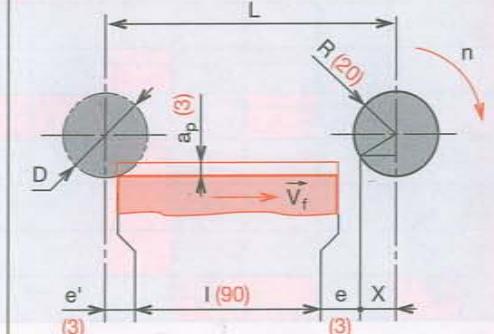
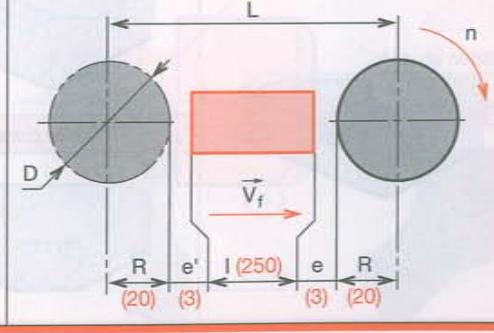
Temps manuel $T_m$	Temps technico-manuel $T_{tm}$
C'est la durée d'un travail physique ou mental dépendant uniquement de l'opérateur.	C'est la durée pendant laquelle le travail dépend des actions composantes et simultanées de l'opérateur et de la machine.
Temps masqué $T_z$	Temps fréquentiel $T_f$
C'est la durée d'un travail humain ou machine accompli pendant l'exécution d'un travail prédominant.	C'est la durée d'une action, ou d'un ensemble d'actions, qui modifie périodiquement le déroulement du cycle. $T_f$ : temps fréquentiel $T_{ft}$ : temps fréquentiel total $n_{cycl}$ : nombre de cycles prévus
Temps série $T_s$	Temps technologique $T_t$
C'est la durée des opérations nécessaires pour équiper le poste (mise en place du montage porte-pièce, montage et réglage des outils).	C'est la durée pendant laquelle le travail effectué dépend uniquement des moyens matériels.

## 27.2 TEMPS TECHNOLOGIQUES $T_t$ EN TOURNAGE

Formule générale	
$n = \frac{1000 V_c}{\pi \cdot d_e}$ ou $V_c = \frac{\pi \cdot d_e \cdot n}{1000}$	
$n$ : fréquence de rotation (tr/min) $V_c$ : vitesse de coupe (m/min) $d_e$ : diamètre extérieur de la pièce ou de la fraise.	
Tournage (charrifrage)	
$L$ : course axiale de l'outil (mm) $L = l + e$ $V_f$ : vitesse d'avance (mm/min) $V_f = f \cdot n$ $f$ : avance par tour (mm/tr) $n$ : fréquence de rotation (tr/min) $T_t$ : temps technologique (min)	$T_t = \frac{L}{V_f}$
<b>APPLICATION</b> $V_c = 45 \text{ m/min}; f = 0,3;$ $n = 1000 \cdot V_c / \pi \cdot d_e = 1000 \times 45 / \pi \times 20 = 717 \text{ tr/min};$ $V_f = f \cdot n = 0,3 \times 717 = 215 \text{ mm/min};$ $T_t = L/V_f = 32/215 = 0,15 \text{ min} = 15 \text{ cmin.}$	
Tournage (dressage)	
$L$ : course radiale de l'outil (mm) $L = l + e + e' + x$ $a_p$ : largeur du copeau (mm) $x = a_p / \tan \kappa_r$ $V_f$ : vitesse d'avance (mm/min) $V_f = f \cdot n$ $f$ : avance par tour (mm/tr) $n$ : fréquence de rotation (tr/min) $T_t$ : temps technologique (min)	$T_t = \frac{L}{V_f}$
<b>APPLICATION</b> $V_c = 125 \text{ m/min}, f = 0,1; n = 1000 \times 125 / \pi \times 36 = 1105 \text{ tr/min};$ $x = 3 / \tan 45^\circ = 3; l = (36 - 24)/2 = 6$ $L = 1 + 6 + 2 + 3 = 12; V_f = f \cdot n = 0,1 \times 1105 = 110,5 \text{ mm/min};$ $T_t = L/V_f = 12/110,5 = 0,106 \text{ min} \approx 11 \text{ cmin.}$	

\* Pour convertir  $T_t$  en centièmes de minute cmin, il faut multiplier le résultat par 100. \*\*  $\tan \kappa_r$ : prononcer « tangente capou indice r ».

## 27.3 TEMPS TECHNOLOGIQUES $T_t$ EN FRAISAGE

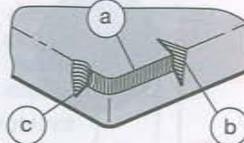
Fraisage de face (ébauche)	Données d'usinage :
$L$ : course de la table (mm) $R$ : rayon de la fraise (mm) $V_f$ : vitesse d'avance (mm/min) $f_z$ : avance par dent (mm/dent) $z$ : nombre de dents de la fraise $n$ : fréquence de rotation (tr/min) $T_t$ : temps technologique (min)	$L = R + e + l + x + e'$ $x = \sqrt{R^2 - d^2}$ $V_f = f_z \cdot z \cdot n$
$T_t = \frac{L}{V_f}$	
<b>APPLICATION</b> $V_c = 32 \text{ m/min}; f_z = 0,1 \text{ mm/dent};$ $x = \sqrt{31,5^2 - 24^2} = 20,4 \text{ mm};$ $L = 31,5 + 3 + 90 + 20,4 + 3 = 147,9 \text{ mm};$ $n = 1000 V_c / \pi \cdot D = 1000 \times 32 / \pi \times 63 = 162 \text{ tr/min};$ $V_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,1 \times 8 \times 162 = 130 \text{ mm/min};$ $T_t = L/V_f = 147,9 / 130 = 1,13 \text{ min} = 113 \text{ cmin.}$	
Fraisage de profil	Données d'usinage :
$L$ : course de la table (mm) $R$ : rayon de la fraise (mm) $V_f$ : vitesse d'avance (mm/min) $f_z$ : avance par dent (mm/dent) $z$ : nombre de dents de la fraise $n$ : fréquence de rotation (tr/min) $T_t$ : temps technologique (min)	$L = x + e + l + e'$ $x = \sqrt{R^2 - (R - a_p)^2}$ $= \sqrt{a_p(2R - a_p)}$ $V_f = f_z \cdot z \cdot n$
$T_t = \frac{L}{V_f}$	
<b>APPLICATION</b> $V_c = 25 \text{ m/min}; f_z = 0,25 \text{ mm/dent};$ $x = \sqrt{20^2 - (20 - 3)^2} = 10,5 \text{ mm};$ $L = 10,5 + 3 + 90 + 3 = 106,5 \text{ mm};$ $n = 1000 V_c / \pi \cdot D = 1000 \times 25 / \pi \times 40 = 199 \text{ tr/min};$ $V_f = f_z \cdot z \cdot n = 298 \text{ mm/min};$ $T_t = L/V_f = 106,5 / 298 = 0,35 \text{ min} = 35 \text{ cmin.}$	
Fraisage de face (finition)	Données d'usinage :
$L$ : course de la table (mm) $R$ : rayon de la fraise (mm) $V_f$ : vitesse d'avance (mm/min) $f_z$ : avance par dent (mm/dent) $z$ : nombre de dents de la fraise $n$ : fréquence de rotation (tr/min) $T_t$ : temps technologique (min)	$L = 2R + e' + l + e$ $V_f = f_z \cdot z \cdot n$
$T_t = \frac{L}{V_f}$	
<b>APPLICATION</b> $V_c = 300 \text{ m/min}; f_z = 0,15 \text{ mm/dent};$ $L = 2 \times 20 + 3 + 250 + 3 = 296 \text{ mm};$ $n = 1000 V_c / \pi \cdot D = 1000 \times 300 / \pi \times 40 = 2388 \text{ tr/min};$ $V_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,15 \times 4 \times 2388 = 1432 \text{ mm/min};$ $T_t = L/V_f = 296 / 1432 = 0,2 \text{ min} = 20 \text{ cmin.}$	

## CAUSES ET SOLUTIONS POSSIBLES

Incidents d'usinage	Usure en dépouille importante	Usure en cratère	Bris de plaquette	Écaillage de l'arête	Arête rapportée	Vibrations	Bourrage	Copeaux trop longs	Mauvais état de surface	Solutions possibles
										Augmenter la vitesse de coupe
										Réduire la vitesse de coupe
										Augmenter l'avance
										Diminuer l'avance
										Diminuer la profondeur de passe
										Sélectionner une nuance plus résistante
										Sélectionner une nuance plus tenace
										Utiliser un angle de coupe plus positif
										Utiliser un angle de coupe plus négatif
										Sélectionner un rayon plus grand
										Sélectionner un rayon plus petit
										Utiliser un brise copeau adapté
										Utiliser un porte-outil plus rigide
										Renforcer le serrage de la pièce
										Réduire le porte-à-faux
										Augmenter la lubrification

## PRINCIPAUX INCIDENTS D'USINAGE

a : usure en dépouille  
b/c : usure en entaille



## Usure en cratère



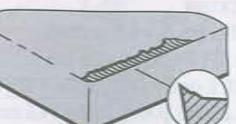
## Écaillage de l'arête



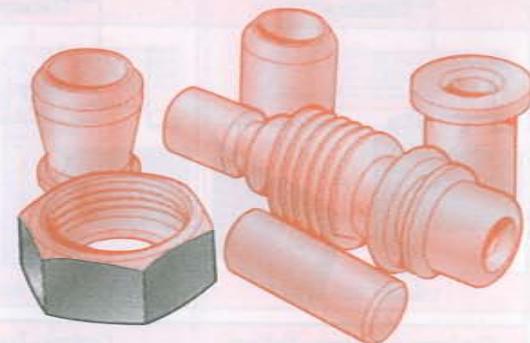
## Bris de plaquette



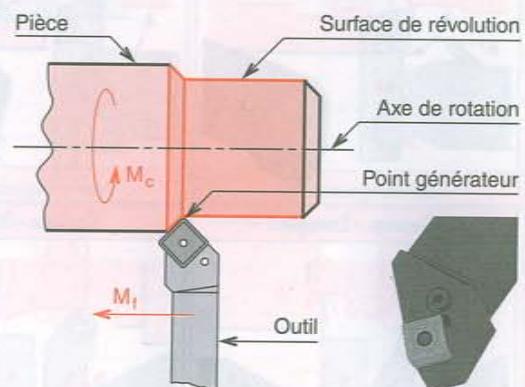
## Arête rapportée



## Exemples de surfaces obtenues par tournage



## Travail d'enveloppe



## TRAVAIL D'ENVELOPPE 29.1

Lors de l'usinage, le déplacement d'un « point génératrice » du bec de l'outil, suivant une trajectoire donnée, détermine le profil de la surface obtenue\*.

- Le mouvement d'avance  $M_f$  déplace le point génératrice suivant la trajectoire donnée.
- Le mouvement de coupe  $M_c$  permet au point génératrice de parcourir toute la surface.

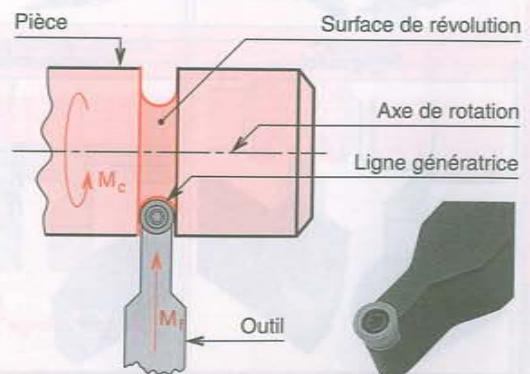
## TRAVAIL DE FORME 29.2

Lors de l'usinage, la forme de l'arête tranchante de l'outil, ou « ligne génératrice » détermine le profil de la surface obtenue\*.

- Le mouvement d'avance  $M_f$  (dit aussi mouvement de pénétration) amène progressivement la ligne génératrice dans sa position finale.
- Le mouvement de coupe  $M_c$  permet à la ligne génératrice de parcourir toute la surface.

\* États de surface : voir chapitres 76 et 77.

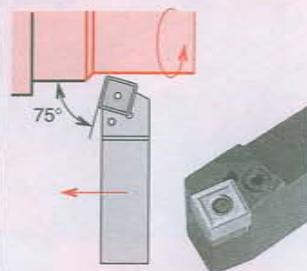
## Travail de forme



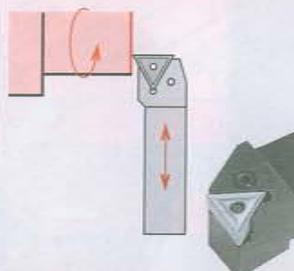
### 29.3 PRINCIPALES OPÉRATIONS\*

Outils Oteilo

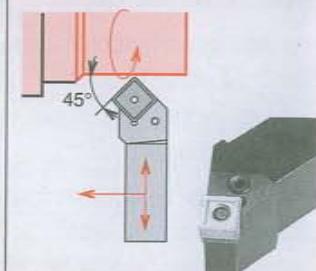
## Chariotage



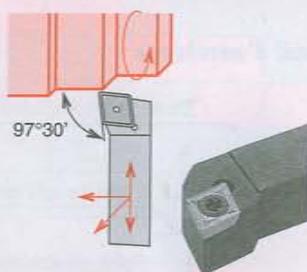
## Dressage



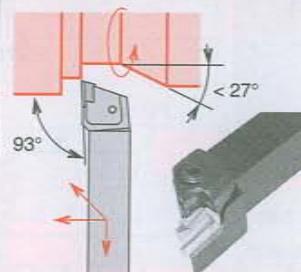
## Chariotage - Dressage



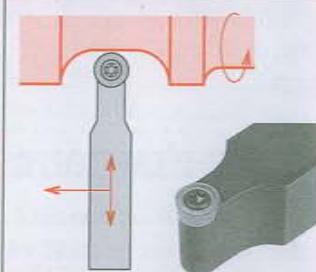
## Chariotage - Dressage - Profilage



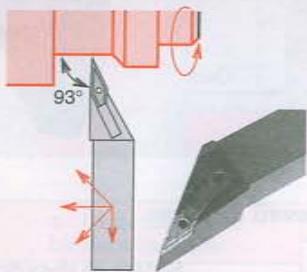
## Copiage - Exemple 1



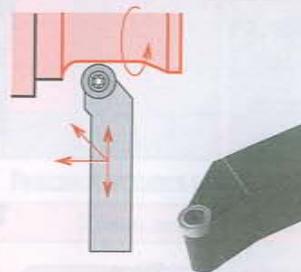
## Copiage - Exemple 2



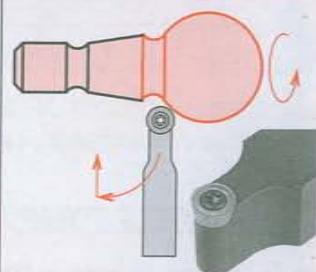
## Copiage - Exemple 3



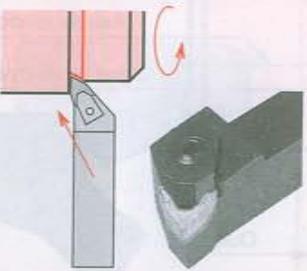
## Copiage - Dressage



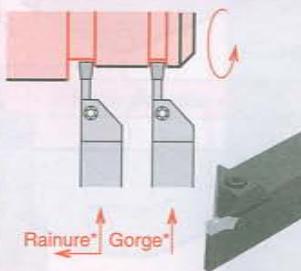
## Copiage - Profilage



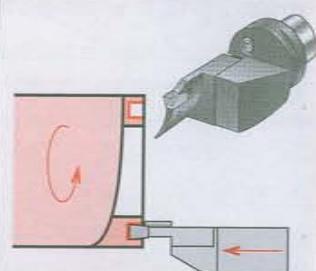
## Dégagement



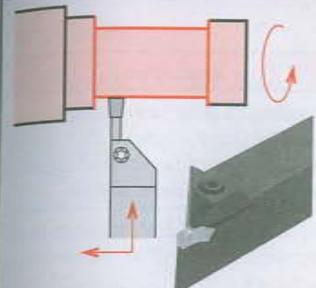
## Rainurage radial - Gorge



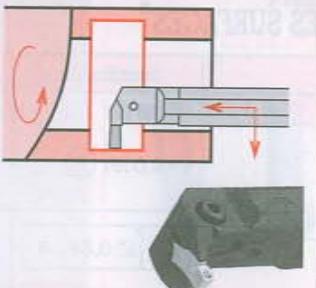
## Rainurage axial



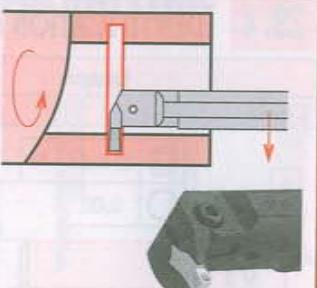
## Évidement



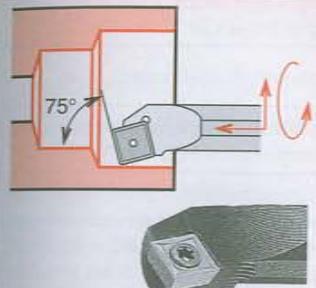
## Chambrage



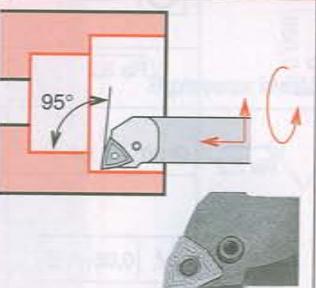
## Gorge de dégagement



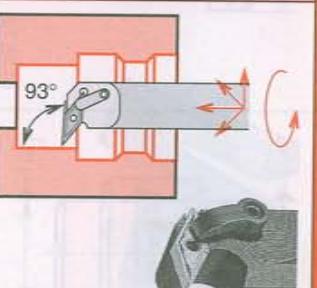
## Alésage



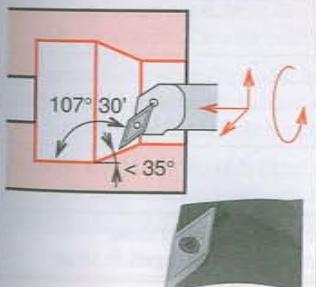
## Alésage - Dressage



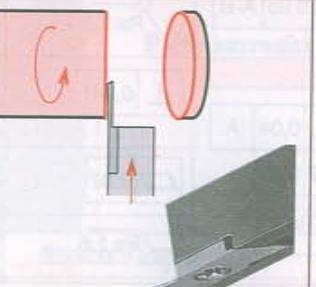
## Copiage intérieur



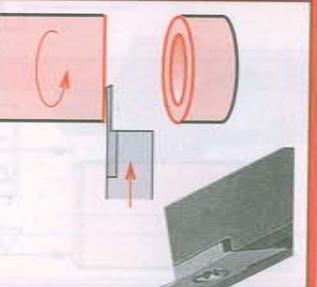
## Copiage et dégagement d'angle



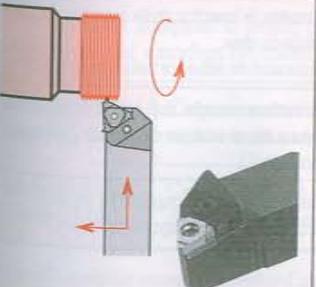
## Tronçonnage de barre



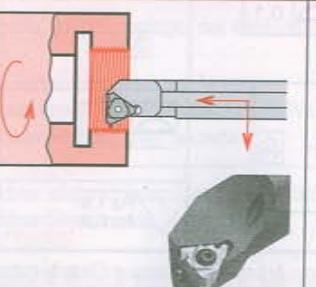
## Tronçonnage de tube



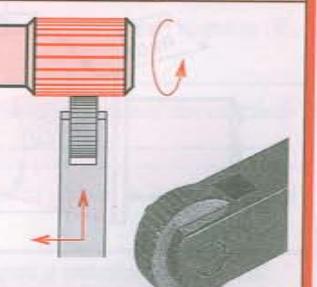
## Filetage



## Taraudage ou filetage intérieur



## Moleter



\* Vocabulaire des formes techniques, voir GPDT chapitre 10.

## 29.4 IDENTIFICATION DES SURFACES\*

Exemple	Spécification	Signification
Cylindre	<p><b>Cylindre</b></p> <p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Ø 36 h8</b></li> <li><b>0</b> <b>(</b> <b>-0,039</b> <b>)</b> <b>E</b></li> <li><b>GPDT 17.21**</b></li> </ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Le cylindre Ø 36 h8 doit passer dans une bague de contrôle « entre » d'alésage Ø 36 théoriquement exact. Aucun des diamètres du cylindre doit avoir une valeur inférieure à 35,961.</li> <li>L'axe du cylindre Ø 36 h8 doit être compris dans une zone cylindrique de Ø 0,04 coaxiale à l'axe du cylindre A.</li> <li>Le profil de chaque section droite doit être compris entre deux circonférences concentriques dont les rayons diffèrent de 0,02.</li> <li>Limité supérieure de rugosité Ra 3,2 µm.</li> </ul>	
	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Ø 0,04</b> <b>A</b></li> <li><b>GPDT 16.7**</b></li> </ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tout diamètre du cylindre tolérance Ø 30 doit être compris entre 30 et 20,96.</li> </ul>	
	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Ø 0,02</b></li> <li><b>GPDT 16.5**</b></li> </ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La surface plane tolérance Ø 0,02 doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,02 et perpendiculaires à l'axe du cylindre de référence A-B.</li> </ul>	
	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>✓ Ra 3,2</b></li> <li><b>GPDT 13.2**</b></li> <li><b>0</b> <b>(</b> <b>-0,04</b> <b>)</b></li> <li><b>GPDT 15**</b></li> </ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La limite supérieure de rugosité Ra 3,2 µm est valable pour toutes les surfaces de la pièce.</li> </ul>	
Plan (disque)	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>⊥ 0,04</b> <b>A</b></li> <li><b>GPDT 16.6**</b></li> </ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La surface plane tolérance Ø 0,04 doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,04 et perpendiculaires à l'axe du cylindre de référence A.</li> </ul>	
	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>0,02</b></li> <li><b>GPDT 16.5**</b></li> </ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La surface plane doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,02.</li> </ul>	
	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>✓ Ra 1,6</b></li> <li><b>GPDT 13.2**</b></li> </ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Surface obligatoirement usinée. Limite supérieure de rugosité Ra 1,6 µm.</li> </ul>	
Cône	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>30°</b></li> <li><b>GPDT 19.2**</b></li></ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Angle d'ouverture du cône. Dimension de référence théoriquement exacte.</li> </ul>	
	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>35</b></li> <li><b>GPDT 14.6**</b></li></ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diamètre de la section droite donnant la position axiale du cône. Dimension de référence théoriquement exacte.</li> </ul>	
	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>D 0,1</b></li> <li><b>GPDT 16.5**</b></li></ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La surface conique doit être comprise entre deux surfaces coniques d'ouverture 30° et distantes de 0,1.</li> </ul>	
	<p><b>Spécification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>✓ Ra 1,6</b></li> <li><b>Ra 0,8</b></li> <li><b>GPDT 13.2**</b></li> </ul> <p><b>Signification:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Limite supérieure de rugosité Ra 1,6 µm.</li> <li>Limite inférieure de rugosité Ra 0,8 µm.</li> </ul>	

\* Ou analyse des spécifications de dimensions, de formes, de positions et d'états de surfaces.

\*\* Voir l'illustration de la zone de tolérance dans le GPDT au paragraphe indiqué.

## Principaux types d'outils

### Corps en acier mi-dur



Extrémité en acier rapide soudés par rapprochement électrique

Cl. Orléo

### AVANTAGES

- Facilité d'affûtage.
- Réalisation aisée de profils spéciaux.
- Modification par affûtage des caractéristiques (rayon, brise-coapeaux...).
- Fabrication de petites pièces.

### INCONVENIENTS

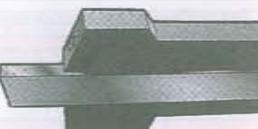
- Vitesse de coupe faible pour les fontes et les aciers.
- Nécessite une remise en position après réaffûtage.
- Utilisation limitée aux machines conventionnelles pour pièces unitaires ou petites séries.

### Barreaux traités



Cl. Sandvik

### Porte-barreaux



### NUANCES D'ACIER RAPIDES\*

NF EN 100027

La désignation comprend successivement les symboles suivants :

- les lettres HS,
- les nombres indiquant la teneur moyenne, en pourcentage, des éléments d'alliage dans l'ordre : tungstène (W), molybdène (Mo), vanadium (V), cobalt (Co).

HS 8.5-3.5-3.5-11  
(Sandvik C45)

Cette nuance doit toujours être choisie en priorité. Il s'agit d'un acier rapide, fortement allié, capable de résister à des températures élevées d'arête de coupe.

HS 6.5-7-6.5-10.6  
(Sandvik C60)

Cette nuance est un choix alternatif lorsqu'une haute résistance à l'usure ou de bonnes propriétés d'affûtage sont des critères déterminants.

\* Les aciers rapides peuvent être revêtus d'une couche de nitride de titane (TiN) qui en augmente la dureté et la longévité.

### 30.1 OUTILS DE TOUR À MISE EN ACIER RAPIDE

#### OUTILS DROITS À CHARIOTER

NF E 66-361

$h \times b$	$l_1$	$c$	$h \times b$	$l_1$	$c$
10 x 10	100	2	25 x 25	200	5
12 x 12	125	2,5	32 x 32	250	6
16 x 16	150	3	40 x 40	300	8
20 x 20	175	4	-	-	-

EMPLOI : Usinage des cylindres, cônes, surfaces planes.

DÉSIGNATION : Outil droit à charioter R 16 q-20°, NF E 66-361.

#### OUTILS COUDÉS À CHARIOTER

NF E 66-362

$h \times b$	$l_1$	$c$	$h \times b$	$l_1$	$c$
10 x 10	100	7	25 x 25	200	17
12 x 12	125	9	32 x 32	250	23
16 x 16	150	12	40 x 40	300	29
20 x 20	175	14	-	-	-

EMPLOI : Chariotage, dressage et chanfreinage.

DÉSIGNATION : Outil coudé à charioter R 16 q-20°, NF E 66-362.

#### OUTILS COUTEAU

NF E 66-363

$h \times b$	$l_1$	$c$	$h \times b$	$l_1$	$c$
10 x 10	100	4	25 x 25	200	10
12 x 12	125	5	32 x 32	250	12
16 x 16	150	6	40 x 40	300	16
20 x 20	175	8	-	-	-

EMPLOI : Chariotage et dressage simultanés.

DÉSIGNATION : Outil couteau R 16 q-20°, NF E 66-363.

#### OUTILS À DRESSER D'ANGLE

NF E 66-364

$h \times b$	$l_1$	$c$	$h \times b$	$l_1$	$c$
10 x 10	100	5	25 x 25	200	12
12 x 12	125	6	32 x 32	250	16
16 x 16	150	8	40 x 40	300	20
20 x 20	175	10	-	-	-

EMPLOI : Dressage et raccordement.

DÉSIGNATION : Outil à dresser d'angle R 16 q-20°, NF E 66-364.

#### DÉSIGNATION :

Soit l'exemple de l'outil à charioter R 16 q-20°.

R : outil à droite.

q : section carrée.

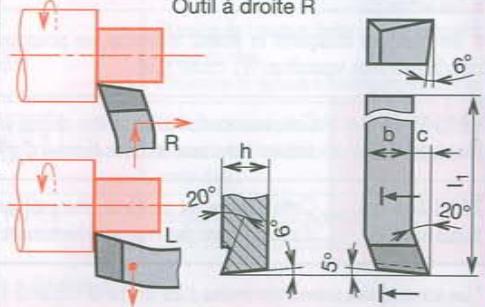
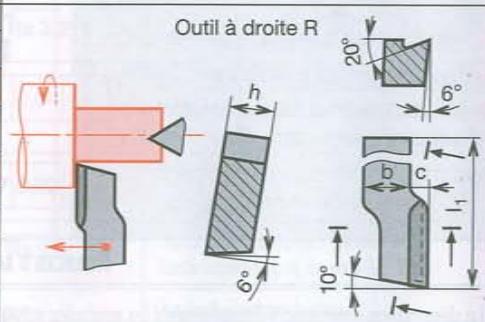
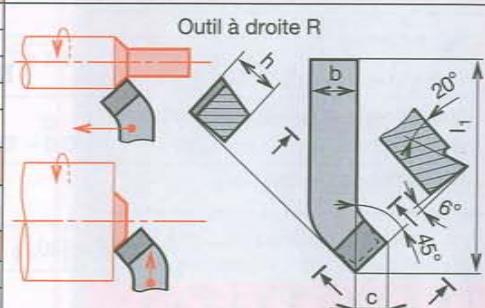
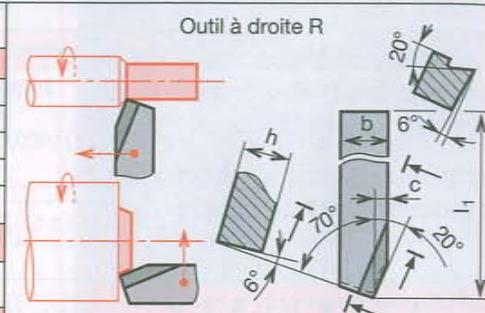
16 : dimension de la section.

20° : angle de coupe.

#### REMARQUES

■ L'outil à gauche a pour symbole L (voir représentation § 23.5).

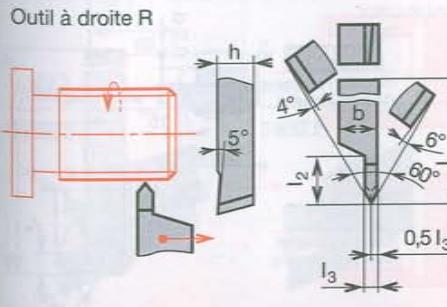
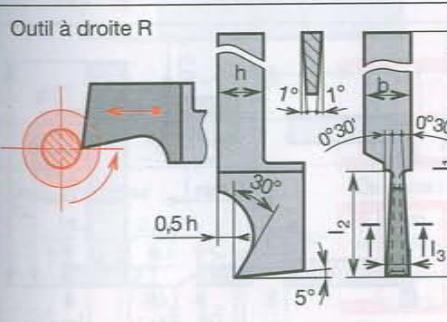
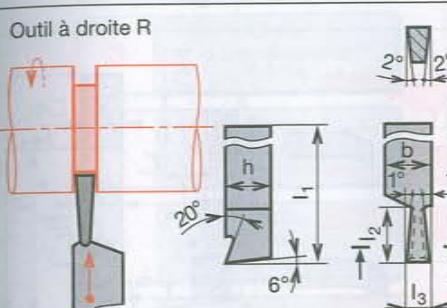
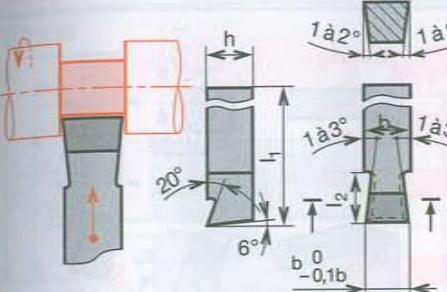
■ Les valeurs des angles de coupe varient en fonction des matériaux usinés (voir § 23.3).



### 30.2 OUTILS DE TOUR À MISE EN ACIER RAPIDE

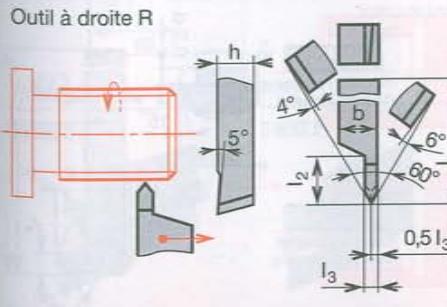
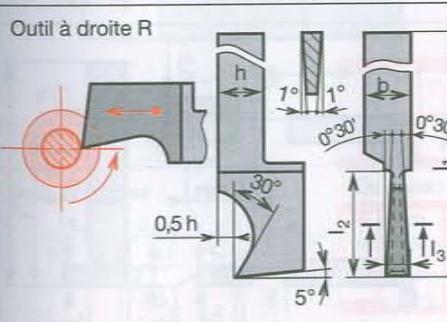
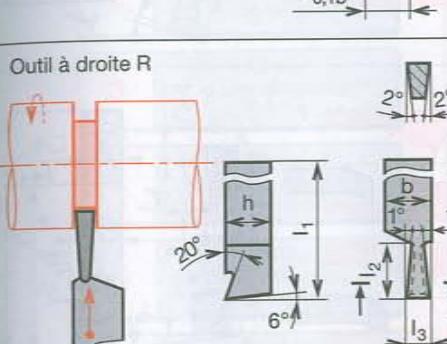
#### OUTILS PELLE

NF E 66-365



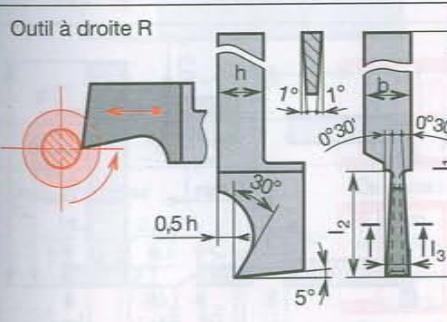
#### OUTILS À SAIGNER

NF E 66-367



#### OUTILS À TRONÇONNER

NF E 66-368



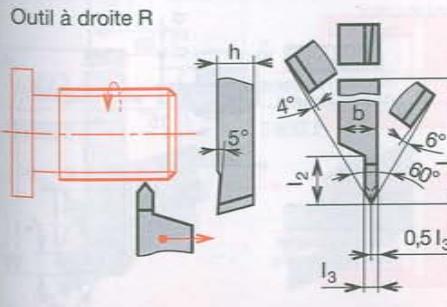
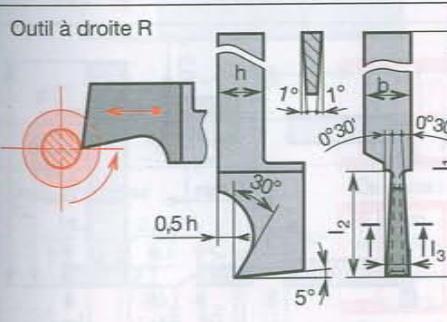
#### REMARQUES

■ L'outil à gauche a pour symbole L.

■ Les valeurs des angles de coupe varient en fonction des matériaux usinés (voir § 23.3).

#### OUTILS À FILETER EXTRÉMEMENT À MISE RAPPORTÉE EN ACIER RAPIDE

NF E 66-369



EMPLOI : Filetage extérieur à droite ou à gauche.

DÉSIGNATION : Outil à fileter extérieurement R 16 q-5°, NF E 66-369.

### 30.3 OUTILS DE TOUR À MISE EN ACIER RAPIDE

#### OUTIL À ALÉSER NF E 66-370

b	d	$l_1$	$l_2$	c	D min	b	d	$l_1$	$l_2$	c	D min
6	6	125	30	2,5	11	16	16	210	63	6	27
8	8	140	35	3	14	20	20	250	80	8	34
10	10	160	40	4	18	25	25	300	100	10	43
12	12	180	50	5	21	32	32	355	125	12	52

EMPLOI : Alésage de cylindres ou de cônes à partir d'un trou brut ou ébrûché.

DÉSIGNATION : Outil à aléser 16 q-20°, NF E 66-370.

#### OUTIL À ALÉSER ET À DRESSER NF E 66-371

b	d	$l_1$	$l_2$	c	D min	b	d	$l_1$	$l_2$	c	D min
6	6	125	30	2,5	11	16	16	210	63	6	27
8	8	140	35	3	14	20	20	250	80	8	34
10	10	160	40	4	18	25	25	300	100	10	43
12	12	180	50	5	21	32	32	355	125	12	52

EMPLOI : Alésage et dressage à partir d'un trou.

DÉSIGNATION : Outil à aléser et à dresser 16 q-20°, NF E 66-371.

#### OUTIL À CHAMBRER NF E 66-372

b	d	$l_1$	$l_2$	$l_3$	c	D min	b	d	$l_1$	$l_2$	$l_3$	c	D min
6	6	125	30	3	4	12	16	16	210	63	6	10	28
8	8	140	35	3,5	5	14	20	20	250	80	8	12	35
10	10	160	40	4	6	18	25	25	300	100	9	16	43
12	12	180	50	5	8	22	-	-	-	-	-	-	-

EMPLOI : Chambrage. Exécution de gorges intérieures.

DÉSIGNATION : Outil à chambrer 16 q-5°, NF E 66-372.

#### OUTIL À FILETER INTÉRIEUREMENT NF E 66-373

b	d	$l_1$	$l_2$	$l_3$	c	D min	b	d	$l_1$	$l_2$	$l_3$	c	D min
6	6	125	30	3	4	12	16	16	210	63	6	10	28
8	8	140	35	3,5	5	14	20	20	250	80	8	12	35
10	10	160	40	4	6	18	25	25	300	100	9	16	43
12	12	180	50	5	8	22	-	-	-	-	-	-	-

EMPLOI : Filetage intérieur à droite ou à gauche.

DÉSIGNATION : Outil à fileter intérieurement 16 q-5°, NF E 66-373.

#### DÉSIGNATION :

Soit l'exemple de l'outil à aléser R 16 q-20°.

R : outil à droite.

q : section carrée.

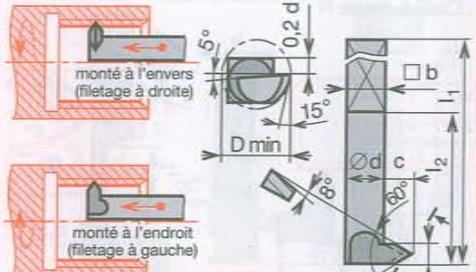
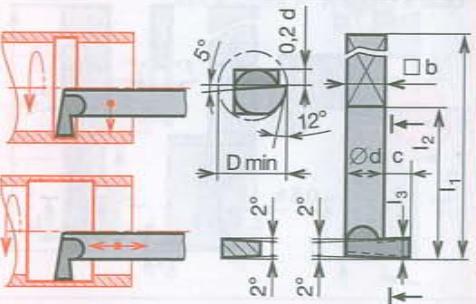
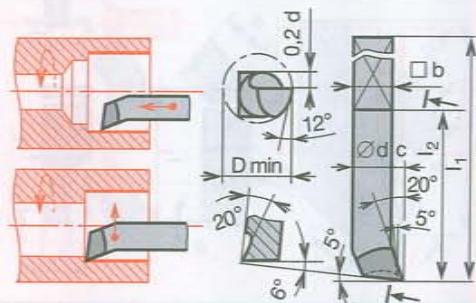
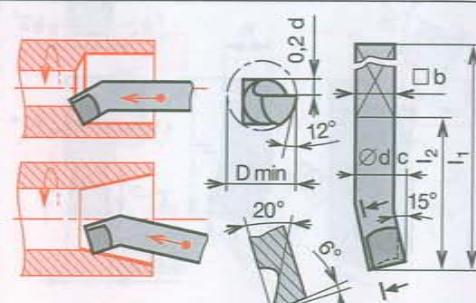
16 : dimension de la section.

20° : angle de coupe.

#### REMARQUES

■ L'outil ayant une section ronde a pour symbole r. Son diamètre est égal à d.

■ Les valeurs des angles de coupe varient en fonction des matériaux usinés (voir § 23.3).

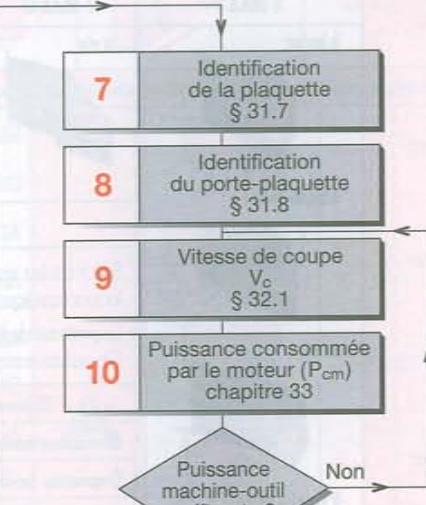


### 31.1 CHOIX D'UN OUTIL

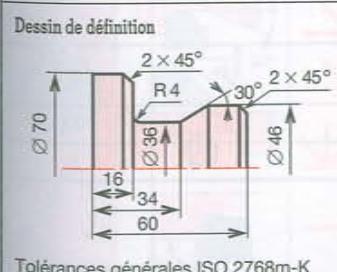
#### MÉTHODE

#### CHOIX D'UN OUTIL

- 1 Système de fixation § 31.2
- 2 Angle de direction d'arête § 31.3
- 3 Choix d'une plaquette § 31.4
- 4 Rayon de bec-Avance § 31.5 - § 31.6
- 5 Taille de la plaquette § 31.6
- 6 Nuance de plaquettes § 31.9



#### APPLICATION



On donne :

■ Dessin de définition

■ Matière : C35

■ Tour CN

Puissance du

moteur de broche :

12 kW

On demande :

■ Outil d'ébauche

■ f

■ Vc

■ ap

■ Outil de finition

■ f

■ Vc

■ ap

#### Outil d'ébauche

Porte-plaquette : PDJN L 16 16 H 11

Plaquette : DNM G 11 04 08 QM 4025

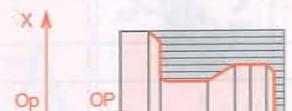
Vc = 280 f = 0,4 mm/tr ap = 2 mm

#### Outil de finition

Porte-plaquette : SDJCL 16 16 H 11

Plaquette : DCMT 11 13 04 UF 415

Vc = 440 f = 0,1 mm/tr ap = 0,4 mm



## 31.2 CHOIX D'UN SYSTÈME DE FIXATION

En fonction des applications, il existe différents systèmes de fixation. Pour guider le choix, il est attribué à chaque système de fixation des valeurs de 1 à 5 exprimant des recommandations. À la valeur 5 correspond le meilleur choix.

Systèmes de fixation	T-MAX P	T-MAX U	T-MAX S	T-MAX	
	à levier	à vis	à bride	à bride	à bride
	à bride-coin				Copage
	à coin				
Formes de plaqueuses	à vis et à bride				
Types de plaqueuses					

\* D'après Sandvik-Coromant. \*\* Avec vis U-Lock excentrique.

## 31.3 CHOIX D'UN PORTE-OUTIL EN FONCTION DE L'OPÉRATION À EFFECTUER

OPÉRATIONS ÉLÉMENTAIRES									
Chariotage		Remontée de face		Dressage de face		Copage pente ascendante		Copage pente descendante	
Forme plaquette	Outil et forme usinée	Mouvement	Porte-outil	Plaquette	Forme plaquette	Outil et forme usinée	Mouvement	Porte-outil	Plaquette
C				PCLN PCBN	CNMM CNGA CNMA			PTGN	TNMM
D				PDJN (SDJC) SDNCN	DNMM DNMG DNGA DNMA			MTJN	TNMG
I				CKJN	KNMX KNUX			PTTN	TNGA
R				PRGN PRGC N176.39	RCMX RCMT RNMG RNGA			PTDN	TNMA
S				PSRN PSSN PSDNN	SNMM SNMG SNGA			PTFN	VBGT
W				PSKNR	SNMA			SVJB	VBMT
								SVBN	VCGX
								PWLN	WNMG

\* Plaquette « trigone » (trois angles à 80°).

### 31.4 CHOIX D'UNE PLAQUETTE - GÉOMÉTRIE - NUANCE - $V_c$ , $f$ , $a_p$

Code ISO	HB*	Matière	Type d'opération (finition, ébauche...)	T-MAX P**						T-MAX U**						
				Plaque			Conditions de coupe			Plaque			Conditions de coupe			
				Géométrie	Nuance	Plaquette	Fr (min)	Ep (mm)	f (mm/tr)	Géométrie	Nuance	Fr (min)	Ep (mm)	f (mm/tr)	Vc (mm/min)	
P	150	Acier au carbone non allié	Super-finition	QF	4015	G	04	0,5	0,12	433	-	-	-	-	-	
			Finition	PF	4015	G	08	0,5	0,2	395	UF	4015	0,4	0,5	0,1	442
			Demi-finition	PM	4025	G	08	3	0,3	310	UM	4025	08	1,25	0,25	333
			Ébauche	MR	4025	G	12	4	0,6	230	UR	4025	08	2	0,3	312
			Ébauche	PR	4025	M	12	5	0,4	280	-	-	-	-	-	
	180	Acier faiblement allié	Super-finition	QF	4015	G	04	0,5	0,12	369	-	-	-	-	-	
			Finition	PF	4015	G	08	0,5	0,2	330	UF	4015	04	0,5	0,1	380
			Demi-finition	PM	4025	G	08	3	0,3	255	UM	4025	08	1,25	0,25	273
			Ébauche	MR	4025	G	12	4	0,6	185	UR	4025	08	2	0,3	256
			Ébauche	PR	4025	M	12	5	0,4	225	-	-	-	-	-	
Aciers	200	Acier fortement allié recuit	Super-finition	QF	4015	G	04	0,5	0,12	339	-	-	-	-	-	
			Finition	PF	4015	G	08	0,5	0,2	295	UF	4015	04	0,5	0,1	352
			Demi-finition	PM	4025	G	08	3	0,3	220	UM	4025	08	1,25	0,25	232
			Ébauche	MR	4025	G	12	4	0,6	165	UR	4025	08	2	0,3	219
			Ébauche	PR	4025	M	12	5	0,4	195	-	-	-	-	-	
	200	Acier coulé faiblement allié	Super-finition	QF	4015	G	04	0,5	0,12	220	-	-	-	-	-	
			Finition	PF	4015	G	08	0,5	0,2	195	UF	4015	04	0,5	0,1	227
			Demi-finition	PM	4015	G	08	3	0,3	175	UM	4025	08	1,25	0,25	161
			Ébauche	MR	4025	G	12	4	0,6	110	UR	4025	08	2	0,3	151
			Ébauche lourde	HR	4025	M	16	10	0,8	143	-	-	-	-	-	
M	Aciers inox	Acier inox austénitique en barre	Super-finition	QF	4015	G	04	0,5	0,12	220	-	-	-	-	-	
			Finition	MF	215	G	08	1	0,2	243	UF	215	04	0,5	0,1	247
			Demi-finition	QM	4035	G	12	3	0,3	175	UM	4035	08	1,25	0,2	196
			Ébauche	MR	4035	G	16	5	0,5	134	UR	4035	12	2	0,3	175
			Ébauche	QR	4035	M	16	5	0,5	134	-	-	-	-	-	
K	H	Fonte forte résistance grise perlite	Super-finition	QF	4015	G	08	0,5	0,15	237	-	-	-	-	-	
			Finition	QM	4015	G	08	1,5	0,25	200	UF	4015	04	0,5	0,1	260
			Demi-finition	MR	4015	G	12	4	0,4	160	UM	4025	08	1,2	0,25	190
			Ébauche	NMA	4015	A	12	4	0,45	150	UR	4025	12	2	0,3	175
			Super-finition	QF	4015	G	08	0,5	0,15	181	-	-	-	-	-	
Fontes et alliages Alu	Fontes	Fonte modulaire perlite	Finition	QM	4015	G	08	1,5	0,25	158	UF	4015	04	0,5	0,1	192
			Demi-finition	MR	4015	G	12	4	0,4	132	UM	4025	08	1,2	0,25	151
			Ébauche	NMA	4015	A	12	4	0,45	125	UR	4025	12	2	0,3	141
			Super-finition	QF	4015	G	08	0,5	0,15	181	-	-	-	-	-	
			Finition	QM	4015	G	08	1,5	0,25	158	UF	4015	04	0,5	0,1	192
HRC 59	Acier dur	Acier dur	Demi-finition	MR	4015	G	12	4	0,4	160	UM	4025	08	1,2	0,25	151
			Finition	NMA	4015	A	12	4	0,45	125	UR	4025	12	2	0,3	141
			Demi-finition	NMA	CB20	A	08	0,2	0,1	150	CMW	CB20	08	0,2	0,1	150
			Finition	NGA	CC850	A	12	0,2	0,15	120	-	-	-	-	-	
			Demi-finition	NGA	CC850	A	12	0,2	0,15	120	-	-	-	-	-	
Alu	90	Alliages d'aluminium	Finition	-	-	-	-	-	-	CMW	CD10	04	0,5	0,1	2000	
			Demi-finition	-23	H13A	G	12	3	0,35	2000	AL	CD1810	08	1,5	0,3	2000
			Ébauche	-	-	-	-	-	-	AL	H10	12	1,5	0,3	2000	

\* HB : durété Brinell ( $R_b = 0,35 HB$ ) pour les aciers § 78.2. \*\* Porte-plaquette Sandvik. \*\*\* Géométrie de la plaque selon Sandvik, § 23.4 et 31.9. \*\*\*\* Nuance Sandvik, § 32.1.

\*\*\*\* G : réversible ; M : non réversible ; A : plane trouée ; N : plane non trouée.

### 31.5 CHOIX DU RAYON DE BEC $r_\varepsilon$ ET DE L'AVANCE $f$

Le choix du rayon de bec est fonction de l'opération à effectuer, ébauche ou finition.

#### ÉBAUCHE

- Choisir le rayon de bec le plus grand possible pour obtenir une arête de coupe robuste.
- Un grand rayon de bec permet des avances plus importantes.
- S'il y a des risques de vibrations, choisir un rayon de bec plus petit.
- L'avance choisie ne doit pas dépasser les valeurs maximales du tableau ci-dessous.
- Dans la pratique, l'avance  $f$  (mm/tr) peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$f_{ébauche} = 0,5 \times \text{rayon de bec}$$

- Le tableau des avances maximales  $f$  est établi sur la base de l'avance maximale  $f = \frac{2}{3} \times r_\varepsilon$ .

- Les avances les plus élevées s'appliquent :

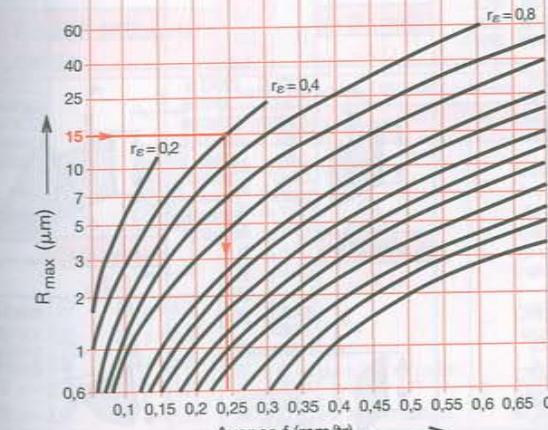
- aux plaquettes non réversibles,
- aux angles de pointes  $\varepsilon_T \geq 60^\circ$ ,
- aux angles de direction d'arête  $\kappa_T < 90^\circ$ ,
- aux matériaux facilement usinables à une vitesse de coupe modérée.

#### AVANCE MAXIMALE $f$ ET RAYON DE BEC $r_\varepsilon$

$r_\varepsilon$	0,4	0,8	1,2	1,6	2,4
$f$ (mm/tr)	0,25 à 0,35	0,4 à 0,7	0,5 à 1	0,7 à 1,3	1 à 1,8

Le calcul donne :  $f = \frac{2}{3} \times r_\varepsilon = \frac{2}{3} \times 1,2 = 0,8 \text{ mm/tr}$ .

#### CHOIX DU COUPLE RAYON DE BEC $r_\varepsilon$ ET DE L'AVANCE POUR OBTENIR EN ÉTAT DE SURFACE $R_{max}$



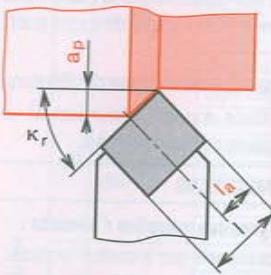
APPLICATION : L'état de surface à obtenir est  $R_{max} = 15 \mu\text{m}$  ( $R_a = 3,2 \mu\text{m}$ ), le rayon de l'outil est connu, soit  $r_\varepsilon = 0,4$ . L'abaque donne une avance  $f = 0,25 \text{ mm/tr}$ .

L'état de surface  $R_a = 3,2 \mu\text{m}$  est équivalent à  $R_{max} = 15 \mu\text{m}$ .

## 31.6 TAILLE D'UNE PLAQUETTE

### 31.6.1 DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR EFFECTIVE $l_a$

1<sup>o</sup> Calculer la plus grande profondeur de passe  $a_p$  à effectuer sur la pièce à usiner. Par exemple, pour une pièce à ébaucher en plusieurs passes, il faut déterminer la profondeur de passe maximale en fonction de la puissance disponible à la broche (voir le calcul de puissance chapitre 33).  
 2<sup>o</sup> Déterminer la longueur effective  $l_a$  de l'arête en fonction de l'angle de direction d'arête  $\kappa_r$  et de la pénétration  $a_p$ .



Angle de direction d'arête ( $\kappa_r$ )	Profondeur de coupe $a_p$ en mm										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Longueur effective du tranchant $l_a$ mm											
90°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
75°	1,1	2,1	3,1	4,2	5,2	6,2	7,3	8,3	9,3	11	16
60°	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8	7	8,2	9,3	11	12	18
45°	1,4	2,9	4,3	5,7	7,1	8,5	10	12	13	15	22
30°	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	30
15°	4	8	12	16	20	24	27	31	35	39	58

### 31.6.2 DÉTERMINATION DE LA LONGUEUR NOMINALE $l$ DE L'ARÊTE\*

La détermination de la longueur nominale  $l$  de l'arête est fonction de la longueur effective  $l_a$ .

**EXEMPLE :** Pour une plaquette de finition rectangulaire de type SNMG-MF avec  $l_a = 3 \Rightarrow l_a \geq 3 l_a = 3 \times 3 = 9$ .

	TOGX-AL TOMW TOMT-UR TNMM-QR TNGA TNGN TNMM-4I TNMA TNMM-7I TNMG-15 TNUN TNMG-23 TPGN TNMG-30 TPMR TNMG-SM TPUN		TNMG-MR TNMM-HR TNMM-QR TNMM-4I TNMM-7I TNMM-QR TNMM-15 TNMM-23 TNMM-30 TNMM-45 TNMM-70 TNMM-100 TNMM-150 TNMM-200 TNMM-250 TNMM-300 TNMM-400 TNMM-500 TNMM-600 TNMM-700 TNMM-800 TNMM-900 TNMM-1000 TNMM-1100 TNMM-1200 TNMM-1300 TNMM-1400 TNMM-1500 TNMM-1600 TNMM-1700 TNMM-1800 TNMM-1900 TNMM-2000 TNMM-2100 TNMM-2200 TNMM-2300 TNMM-2400 TNMM-2500 TNMM-2600 TNMM-2700 TNMM-2800 TNMM-2900 TNMM-3000 TNMM-3100 TNMM-3200 TNMM-3300 TNMM-3400 TNMM-3500 TNMM-3600 TNMM-3700 TNMM-3800 TNMM-3900 TNMM-4000 TNMM-4100 TNMM-4200 TNMM-4300 TNMM-4400 TNMM-4500 TNMM-4600 TNMM-4700 TNMM-4800 TNMM-4900 TNMM-5000 TNMM-5100 TNMM-5200 TNMM-5300 TNMM-5400 TNMM-5500 TNMM-5600 TNMM-5700 TNMM-5800 TNMM-5900 TNMM-6000 TNMM-6100 TNMM-6200 TNMM-6300 TNMM-6400 TNMM-6500 TNMM-6600 TNMM-6700 TNMM-6800 TNMM-6900 TNMM-7000 TNMM-7100 TNMM-7200 TNMM-7300 TNMM-7400 TNMM-7500 TNMM-7600 TNMM-7700 TNMM-7800 TNMM-7900 TNMM-8000 TNMM-8100 TNMM-8200 TNMM-8300 TNMM-8400 TNMM-8500 TNMM-8600 TNMM-8700 TNMM-8800 TNMM-8900 TNMM-9000 TNMM-9100 TNMM-9200 TNMM-9300 TNMM-9400 TNMM-9500 TNMM-9600 TNMM-9700 TNMM-9800 TNMM-9900 TNMM-10000 TNMM-10100 TNMM-10200 TNMM-10300 TNMM-10400 TNMM-10500 TNMM-10600 TNMM-10700 TNMM-10800 TNMM-10900 TNMM-11000 TNMM-11100 TNMM-11200 TNMM-11300 TNMM-11400 TNMM-11500 TNMM-11600 TNMM-11700 TNMM-11800 TNMM-11900 TNMM-12000 TNMM-12100 TNMM-12200 TNMM-12300 TNMM-12400 TNMM-12500 TNMM-12600 TNMM-12700 TNMM-12800 TNMM-12900 TNMM-13000 TNMM-13100 TNMM-13200 TNMM-13300 TNMM-13400 TNMM-13500 TNMM-13600 TNMM-13700 TNMM-13800 TNMM-13900 TNMM-14000 TNMM-14100 TNMM-14200 TNMM-14300 TNMM-14400 TNMM-14500 TNMM-14600 TNMM-14700 TNMM-14800 TNMM-14900 TNMM-15000 TNMM-15100 TNMM-15200 TNMM-15300 TNMM-15400 TNMM-15500 TNMM-15600 TNMM-15700 TNMM-15800 TNMM-15900 TNMM-16000 TNMM-16100 TNMM-16200 TNMM-16300 TNMM-16400 TNMM-16500 TNMM-16600 TNMM-16700 TNMM-16800 TNMM-16900 TNMM-17000 TNMM-17100 TNMM-17200 TNMM-17300 TNMM-17400 TNMM-17500 TNMM-17600 TNMM-17700 TNMM-17800 TNMM-17900 TNMM-18000 TNMM-18100 TNMM-18200 TNMM-18300 TNMM-18400 TNMM-18500 TNMM-18600 TNMM-18700 TNMM-18800 TNMM-18900 TNMM-19000 TNMM-19100 TNMM-19200 TNMM-19300 TNMM-19400 TNMM-19500 TNMM-19600 TNMM-19700 TNMM-19800 TNMM-19900 TNMM-20000 TNMM-20100 TNMM-20200 TNMM-20300 TNMM-20400 TNMM-20500 TNMM-20600 TNMM-20700 TNMM-20800 TNMM-20900 TNMM-21000 TNMM-21100 TNMM-21200 TNMM-21300 TNMM-21400 TNMM-21500 TNMM-21600 TNMM-21700 TNMM-21800 TNMM-21900 TNMM-22000 TNMM-22100 TNMM-22200 TNMM-22300 TNMM-22400 TNMM-22500 TNMM-22600 TNMM-22700 TNMM-22800 TNMM-22900 TNMM-23000 TNMM-23100 TNMM-23200 TNMM-23300 TNMM-23400 TNMM-23500 TNMM-23600 TNMM-23700 TNMM-23800 TNMM-23900 TNMM-24000 TNMM-24100 TNMM-24200 TNMM-24300 TNMM-24400 TNMM-24500 TNMM-24600 TNMM-24700 TNMM-24800 TNMM-24900 TNMM-25000 TNMM-25100 TNMM-25200 TNMM-25300 TNMM-25400 TNMM-25500 TNMM-25600 TNMM-25700 TNMM-25800 TNMM-25900 TNMM-26000 TNMM-26100 TNMM-26200 TNMM-26300 TNMM-26400 TNMM-26500 TNMM-26600 TNMM-26700 TNMM-26800 TNMM-26900 TNMM-27000 TNMM-27100 TNMM-27200 TNMM-27300 TNMM-27400 TNMM-27500 TNMM-27600 TNMM-27700 TNMM-27800 TNMM-27900 TNMM-28000 TNMM-28100 TNMM-28200 TNMM-28300 TNMM-28400 TNMM-28500 TNMM-28600 TNMM-28700 TNMM-28800 TNMM-28900 TNMM-29000 TNMM-29100 TNMM-29200 TNMM-29300 TNMM-29400 TNMM-29500 TNMM-29600 TNMM-29700 TNMM-29800 TNMM-29900 TNMM-30000 TNMM-30100 TNMM-30200 TNMM-30300 TNMM-30400 TNMM-30500 TNMM-30600 TNMM-30700 TNMM-30800 TNMM-30900 TNMM-31000 TNMM-31100 TNMM-31200 TNMM-31300 TNMM-31400 TNMM-31500 TNMM-31600 TNMM-31700 TNMM-31800 TNMM-31900 TNMM-32000 TNMM-32100 TNMM-32200 TNMM-32300 TNMM-32400 TNMM-32500 TNMM-32600 TNMM-32700 TNMM-32800 TNMM-32900 TNMM-33000 TNMM-33100 TNMM-33200 TNMM-33300 TNMM-33400 TNMM-33500 TNMM-33600 TNMM-33700 TNMM-33800 TNMM-33900 TNMM-34000 TNMM-34100 TNMM-34200 TNMM-34300 TNMM-34400 TNMM-34500 TNMM-34600 TNMM-34700 TNMM-34800 TNMM-34900 TNMM-35000 TNMM-35100 TNMM-35200 TNMM-35300 TNMM-35400 TNMM-35500 TNMM-35600 TNMM-35700 TNMM-35800 TNMM-35900 TNMM-36000 TNMM-36100 TNMM-36200 TNMM-36300 TNMM-36400 TNMM-36500 TNMM-36600 TNMM-36700 TNMM-36800 TNMM-36900 TNMM-37000 TNMM-37100 TNMM-37200 TNMM-37300 TNMM-37400 TNMM-37500 TNMM-37600 TNMM-37700 TNMM-37800 TNMM-37900 TNMM-38000 TNMM-38100 TNMM-38200 TNMM-38300 TNMM-38400 TNMM-38500 TNMM-38600 TNMM-38700 TNMM-38800 TNMM-38900 TNMM-39000 TNMM-39100 TNMM-39200 TNMM-39300 TNMM-39400 TNMM-39500 TNMM-39600 TNMM-39700 TNMM-39800 TNMM-39900 TNMM-40000 TNMM-40100 TNMM-40200 TNMM-40300 TNMM-40400 TNMM-40500 TNMM-40600 TNMM-40700 TNMM-40800 TNMM-40900 TNMM-41000 TNMM-41100 TNMM-41200 TNMM-41300 TNMM-41400 TNMM-41500 TNMM-41600 TNMM-41700 TNMM-41800 TNMM-41900 TNMM-42000 TNMM-42100 TNMM-42200 TNMM-42300 TNMM-42400 TNMM-42500 TNMM-42600 TNMM-42700 TNMM-42800 TNMM-42900 TNMM-43000 TNMM-43100 TNMM-43200 TNMM-43300 TNMM-43400 TNMM-43500 TNMM-43600 TNMM-43700 TNMM-43800 TNMM-43900 TNMM-44000 TNMM-44100 TNMM-44200 TNMM-44300 TNMM-44400 TNMM-44500 TNMM-44600 TNMM-44700 TNMM-44800 TNMM-44900 TNMM-45000 TNMM-45100 TNMM-45200 TNMM-45300 TNMM-45400 TNMM-45500 TNMM-45600 TNMM-45700 TNMM-45800 TNMM-45900 TNMM-46000 TNMM-46100 TNMM-46200 TNMM-46300 TNMM-46400 TNMM-46500 TNMM-46600 TNMM-46700 TNMM-46800 TNMM-46900 TNMM-47000 TNMM-47100 TNMM-47200 TNMM-47300 TNMM-47400 TNMM-47500 TNMM-47600 TNMM-47700 TNMM-47800 TNMM-47900 TNMM-48000 TNMM-48100 TNMM-48200 TNMM-48300 TNMM-48400 TNMM-48500 TNMM-48600 TNMM-48700 TNMM-48800 TNMM-48900 TNMM-49000 TNMM-49100 TNMM-49200 TNMM-49300 TNMM-49400 TNMM-49500 TNMM-49600 TNMM-49700 TNMM-49800 TNMM-49900 TNMM-50000 TNMM-50100 TNMM-50200 TNMM-50300 TNMM-50400 TNMM-50500 TNMM-50600 TNMM-50700 TNMM-50800 TNMM-50900 TNMM-51000 TNMM-51100 TNMM-51200 TNMM-51300 TNMM-51400 TNMM-51500 TNMM-51600 TNMM-51700 TNMM-51800 TNMM-51900 TNMM-52000 TNMM-52100 TNMM-52200 TNMM-52300 TNMM-52400 TNMM-52500 TNMM-52600 TNMM-52700 TNMM-52800 TNMM-52900 TNMM-53000 TNMM-53100 TNMM-53200 TNMM-53300 TNMM-53400 TNMM-53500 TNMM-53600 TNMM-53700 TNMM-53800 TNMM-53900 TNMM-54000 TNMM-54100 TNMM-54200 TNMM-54300 TNMM-54400 TNMM-54500 TNMM-54600 TNMM-54700 TNMM-54800 TNMM-54900 TNMM-55000 TNMM-55100 TNMM-55200 TNMM-55300 TNMM-55400 TNMM-55500 TNMM-55600 TNMM-55700 TNMM-55800 TNMM-55900 TNMM-56000 TNMM-56100 TNMM-56200 TNMM-56300 TNMM-56400 TNMM-56500 TNMM-56600 TNMM-56700 TNMM-56800 TNMM-56900 TNMM-57000 TNMM-57100 TNMM-57200 TNMM-57300 TNMM-57400 TNMM-57500 TNMM-57600 TNMM-57700 TNMM-57800 TNMM-57900 TNMM-58000 TNMM-58100 TNMM-58200 TNMM-58300 TNMM-58400 TNMM-58500 TNMM-58600 TNMM-58700 TNMM-58800 TNMM-58900 TNMM-59000 TNMM-59100 TNMM-59200 TNMM-59300 TNMM-59400 TNMM-59500 TNMM-59600 TNMM-59700 TNMM-59800 TNMM-59900 TNMM-60000 TNMM-60100 TNMM-60200 TNMM-60300 TNMM-60400 TNMM-60500 TNMM-60600 TNMM-60700 TNMM-60800 TNMM-60900 TNMM-61000 TNMM-61100 TNMM-61200 TNMM-61300 TNMM-61400 TNMM-61500 TNMM-61600 TNMM-61700 TNMM-61800 TNMM-61900 TNMM-62000 TNMM-62100 TNMM-62200 TNMM-62300 TNMM-62400 TNMM-62500 TNMM-62600 TNMM-62700 TNMM-62800 TNMM-62900 TNMM-63000 TNMM-63100 TNMM-63200 TNMM-63300 TNMM-63400 TNMM-63500 TNMM-63600 TNMM-63700 TNMM-63800 TNMM-63900 TNMM-64000 TNMM-64100 TNMM-64200 TNMM-64300 TNMM-64400 TNMM-64500 TNMM-64600 TNMM-64700 TNMM-64800 TNMM-64900 TNMM-65000 TNMM-65100 TNMM-65200 TNMM-65300 TNMM-65400 TNMM-65500 TNMM-65600 TNMM-65700 TNMM-65800 TNMM-65900 TNMM-66000 TNMM-66100 TNMM-66200 TNMM-66300 TNMM-66400 TNMM-66500 TNMM-66600 TNMM-66700 TNMM-66800 TNMM-66900 TNMM-67000 TNMM-67100 TNMM-67200 TNMM-67300 TNMM-67400 TNMM-67500 TNMM-67600 TNMM-67700 TNMM-67800 TNMM-67900 TNMM-68000 TNMM-68100 TNMM-68200 TNMM-68300 TNMM-68400 TNMM-68500 TNMM-68600 TNMM-68700 TNMM-68800 TNMM-68900 TNMM-69000 TNMM-69100 TNMM-69200 TNMM-69300 TNMM-69400 TNMM-69500 TNMM-69600 TNMM-69700 TNMM-69800 TNMM-69900 TNMM-70000 TNMM-70100 TNMM-70200 TNMM-70300 TNMM-70400 TNMM-70500 TNMM-70600 TNMM-70700 TNMM-70800 TNMM-70900 TNMM-71000 TNMM-71100 TNMM-71200 TNMM-71300 TNMM-71400 TNMM-71500 TNMM-71600 TNMM-71700 TNMM-71800 TNMM-71900 TNMM-72000 TNMM-72100 TNMM-72200 TNMM-72300 TNMM-72400 TNMM-72500 TNMM-72600 TNMM-72700 TNMM-72800 TNMM-72900 TNMM-73000 TNMM-73100 TNMM-73200 TNMM-73300 TNMM-73400 TNMM-73500 TNMM-73600 TNMM-73700 TNMM-73800 TNMM-73900 TNMM-74000 TNMM-74100 TNMM-74200 TNMM-74300 TNMM-74400 TNMM-74500 TNMM-74600 TNMM-74700 TNMM-74800 TNMM-74900 TNMM-75000 TNMM-75100 TNMM-75200 TNMM-75300 TNMM-75400 TNMM-75500 TNMM-75600 TNMM-75700 TNMM-75800 TNMM-75900 TNMM-76000 TNMM-76100 TNMM-76200 TNMM-76300 TNMM-76400 TNMM-76500 TNMM-76600 TNMM-76700 TNMM-76800 TNMM-76900 TNMM-77000 TNMM-77100 TNMM-77200 TNMM-77300 TNMM-77400 TNMM-77500 TNMM-77600 TNMM-77700 TNMM-77800 TNMM-77900 TNMM-78000 TNMM-78100 TNMM-78200 TNMM-78300 TNMM-78400 TNMM-78500 TNMM-78600 TNMM-78700 TNMM-78800 TNMM-78900 TNMM-79000 TNMM-79100 TNMM-79200 TNMM-79300 TNMM-79400 TNMM-79500 TNMM-79600 TNMM-79700 TNMM-79800 TNMM-79900 TNMM-80000 TNMM-80100 TNMM-80200 TNMM-80300 TNMM-80400 TNMM-80500 TNMM-80600 TNMM-80700 TNMM-80800 TNMM-80900 TNMM-81000 TNMM-81100 TNMM-81200 TNMM-81300 TNMM-81400 TNMM-81500 TNMM-81600 TNMM-81700 TNMM-81800 TNMM-81900 TNMM-82000 TNMM-82100 TNMM-82200 TNMM-82300 TNMM-82400 TNMM-82500 TNMM-82600 TNMM-82700 TNMM-82800 TNMM-82900 TNMM-83000 TNMM-83100 TNMM-83200 TNMM-83300 TNMM-83400 TNMM-83500 TNMM-83600 TNMM-83700 TNMM-83800 TNMM-83900 TNMM-84000 TNMM-84100 TNMM-84200 TNMM-84300 TNMM-84400 TNMM-84500 TNMM-84600 TNMM-84700 TNMM-84800 TNMM-84900 TNMM-85000 TNMM-85100 TNMM-85200 TNMM-85300 TNMM-85400 TNMM-85500 TNMM-85600 TNMM-85700 TNMM-85800 TNMM-85900 TNMM-86000 TNMM-86100 TNMM-86200 TNMM-86300 TNMM-86400 TNMM-86500 TNMM-86600 TNMM-86700 TNMM-86800 TNMM-86900 TNMM-87000 TNMM-87100 TNMM-87200 TNMM-87300 TNMM-87400 TNMM-87500 TNMM-87600 TNMM-87700 TNMM-87800 TNMM-87900 TNMM-88000 TNMM-88100 TNMM-88200 TNMM-88300 TNMM-88400 TNMM-88500 TNMM-88600 TNMM-88700 TNMM-88800 TNMM-88900 TNMM-89000 TNMM-89100 TNMM-89200 TNMM-89300 TNMM-89400 TNMM-89500 TNMM-89600 TNMM-89700 TNMM-89800 TNMM-89900 TNMM-90000 TNMM-90100 TNMM-90200 TNMM-90300 TNMM-90400 TNMM-90500 TNMM-90600 TNMM-90700 TNMM-90800 TNMM-90900 TNMM-91000 TNMM-91100 TNMM-91200 TNMM-91300 TNMM-

### 31.8 IDENTIFICATION D'UN PORTE-PLAQUETTE

ISO 56

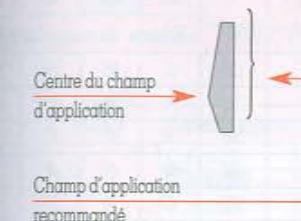
### 31. 9 NUANCES DE CARBURE EN TOURNAGE

Les nuances sont réparties en deux groupes

- les nuances de base,
  - les nuances complémentaires

Les nuances de base doivent être choisies en priorité

La position et la forme des symboles des nuances indiquent le champ d'application recommandé :



EXEMPLES DE CHOIX

- Soit à effectuer une opération d'ébauche légé suivie d'une finition sur une pièce en acier C45. Le tableau ci-contre indique selon l'exemple du § 33 une nuance de base GC4015 dont le centre du char correspond à la nuance ISO P15.

REMARKS

Le champ d'application se situe vers le haut ce qui indique que cette nuance a pour caractéristique une bonne résistance à l'usure.

- Soit à usiner un alliage d'aluminium EN AW-2017A. La nuance de base H10 dont le centre du champ correspond à la nuance ISO K10 est parfaitement adaptée.

- Soit à usiner une fonte malléable EN-GJMW-350-  
La nuance de base GC4015 dont le centre du champ  
d'application correspond à la nuance P15 ISO est  
bien adaptée.

## 32.1 OUTILS EN ACIER RAPIDE\*

Les conditions de coupe varient en fonction de nombreux paramètres liés à la machine, à la pièce et à l'outil.

Le tableau ci-dessous permet de choisir la vitesse de coupe  $V_c$  en fonction des caractéristiques du matériau usiné et de l'avance  $f$ .

### EXEMPLE

Soit à charioter une pièce en acier au carbone non allié C 35 (% de carbone = 0,35). L'opération est faite en finition,  $f = 0,2 \text{ mm/tr}$ . L'intersection des deux entrées acier au carbone non allié C = 0,35 % et  $f = 0,2$  donne une vitesse de coupe  $V_c = 55 \text{ m/min}$ .

Code ISO	Matière		Pression spécifique de coupe $k_a 0,4 (\text{N/mm}^2)^{**}$	Dureté Brinell (HB) <sup>***</sup>	Avance $f (\text{mm/tr})$			
	Désignation	Caractéristiques			0,1	0,2	0,3	0,4
P	C = 0,15 % (% de carbone)	1 900	125	85	65	55	45	
	Acier au carbone non allié C = 0,35 %	2 100	150	70	55	45	40	
	C = 0,60 %	2 250	200	50	40	35	30	
	Reduit	2 100	180	60	45	40	30	
	Trempé et revenu	2 600	275	40	30	25	20	
	Trempé et revenu	2 700	300	35	25	20	15	
	Trempé et revenu	2 850	350	25	20	15	10	
	Acier fortement allié	2 600	200	40	30	25	20	
	Trempé	3 900	325	25	20	15	10	
	Acier inoxydable réduit	Martensitique/ferritique	2 300	200	40	30	25	20
M	Acier coulé	Non allié	2 000	180	50	40	35	15
	Faiblement allié	2 500	200	40	30	25	20	
	Fortement allié	2 700	225	35	25	20	15	
	Acier inoxydable réduit	Austénitique	2 450	175	35	25	20	15
	Base fer	Reduit	3 000	200	15	10	-	-
Alliage réfractaire	Base nickel ou cobalt	Vieilli	3 050	280	10	10	-	-
	Reduit	3 500	250	10	5	-	-	
	Vieilli	4 150	350	10	5	-	-	
	Coulé	4 150	320	5	5	-	-	
K	Acier dur	Acier trempé	4 500	55 HRC	20	15	15	10
		Acier au manganèse 12 %	3 600	250	25	20	15	10
	Fonte à faible résistance	-	1 100	180	60	45	40	30
	Fonte à forte résistance	-	1 500	260	40	30	25	20
	Alliages d'aluminium	-	900	90	290	240	210	180
	Alliages au plomb Pb > 1 %	-	700	110	210	170	150	130
	Alliages bronze et laiton	Laiton, laiton rouge, bronze et cuivre sans plomb, y compris cuivre électrolytique	750	90	140	115	100	85
Les conditions de coupe ci-dessus sont données pour une durée de vie approximative de 2 h (ou 1 h si $V_c$ est 20 % plus élevée) avec arrosage.								

\* Acier rapide nuance HS 8,5-3,5-3,5-11 (chapitre 30) pour barreaux traités.

\*\*  $k_a 0,4$  = pression spécifique de coupe pour une avance  $f = 0,4$ .

\*\*\*  $R_f = 0,35 \text{ HB}$  (pour les aciers).

## 32.2 OUTILS EN CARBURE

### EXEMPLE

Soit à charioter une pièce en acier au carbone non allié C 45 (0,45 % de carbone).

L'opération est faite en ébauche.

L'avance choisie est égale à 0,4 mm/tr (§ 31.5). La nuance de carbure utilisée est GC 4015 (ou P15 - ISO - § 31.9).

L'intersection des deux entrées : acier non allié C : 0,25 à 0,55 et GC 4015 avec une avance  $f = 0,4$  donne la valeur  $V_c = 315 \text{ m/min}$  pour une durée de vie de 15 minutes.

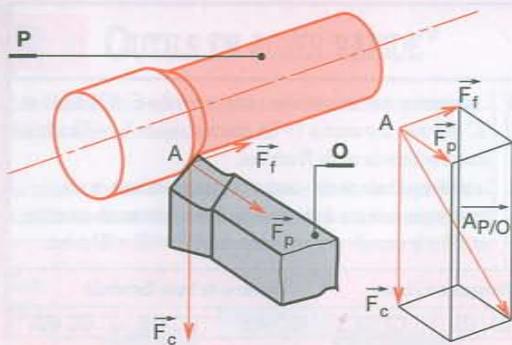
Le tableau « Durée de vie » permet de corriger la durée de vie.

Par exemple, pour une durée de vie de 30 min, le facteur de correction est 0,85 et la nouvelle vitesse de coupe est  $315 \times 0,85 = 267 \text{ m/min}$ .

Code ISO	Matière	$k_c^*$ N/mm <sup>2</sup>	HB <sup>**</sup>	Résistance à l'usure		Nuances de base (Sandvik)					
				GC 1525 CT 525		GC 4015 GC 4025 GC 4035					
				Avances (mm/tr)				Vitesse de coupe $V_c$ (m/min)			
P	Aciers	$k_c^*$ N/mm <sup>2</sup>	HB <sup>**</sup>	0,05 - 0,1 - 0,2	0,05 - 0,1 - 0,2	0,1 - 0,4 - 0,8	0,1 - 0,4 - 0,8	0,1 - 0,4 - 0,8			
				Vitesse de coupe $V_c$ (m/min)				Vitesse de coupe $V_c$ (m/min)			
				Acier non allié C : 0,1 à 0,25	2 000	125	560-465-380	605-500-410	500-350-380	460-315-220	405-280-190
				Acier non allié C : 0,25 à 0,55	2 100	150	500-420-335	535-450-360	440-315-230	410-280-195	365-235-170
				Acier non allié C : 0,55 à 0,8	2 180	170	430-365-295	465-385-320	390-280-205	365-245-170	320-205-150
M	Aciers inoxydables	$k_c^*$ N/mm <sup>2</sup>	HB <sup>**</sup>	0,05 - 0,1 - 0,2	0,05 - 0,1 - 0,2	0,1 - 0,4 - 0,8	0,1 - 0,4 - 0,8	0,1 - 0,4 - 0,8			
				Acier inoxydable ferritique	2 100	180	375-320-255	420-355-280	380-265-195	335-225-195	285-175-130
				Acier inoxydable ferritique	2 775	275	200-165-135	215-180-145	260-180-135	215-155-120	175-115-80
				Acier inoxydable ferritique	3 500	350	160-135-110	175-145-115	210-145-110	175-125-95	140-90-65
				Aciér à outil	2 500	200	260-215-175	280-235-190	350-235-170	285-200-145	225-145-100
K	Fentes	$k_c^*$ N/mm <sup>2</sup>	HB <sup>**</sup>	0,1-0,2	0,1-0,2	0,2-0,4-0,6	0,2-0,4-0,6	0,2-0,4-0,6			
				Fente coquille	2 750	400	-	-	-	-	-
				Fente malléable	950	130	305-270-220	275-240-195	175-170-135	-	-
				Fente grise	1 100	230	210-160-115	200-160-110	125-105-75	-	750-700
				Fente GS (nodulaire)	1 050	160	265-205-150	255-195-140	195-140-100	325-295-230	-
N	Alliages d'aluminium	$k_c^*$ N/mm <sup>2</sup>	HB <sup>**</sup>	0,1-0,3-0,6	0,1-0,3-0,6	0,1-0,3-0,6	0,05-0,1-0,2	0,05-0,15-0,4			
				Alliage d'aluminium Coulé non vieilli	1 100	180	420-300-205	380-285-195	250-195-135	395-370-300	-
				Alliage d'aluminium Coulé vieilli	900	90	510-330-195	-	-	530-510-410	-
				Alliage d'aluminium Coulé 13 à 15 % Si	950	130	-	-	-	-	-
				Alliage d'aluminium Coulé 16 à 22 % Si	950	130	-	-	-	-	-
L	Cuivre et alliages de cuivre	$k_c^*$ N/mm <sup>2</sup>	HB <sup>**</sup>	Décolletage au Pb	700	110	600-430-270	-	-	605-600-515	-
				Laiton - Bronze	700	90	395-330-255	-	-	395-395-365	-
				Bronze et cuivre	1 750	100	285-215-145	-	-	285-285-250	-
				Bronze et cuivre	1 750	100	285-215-145	-	-	-	-
				Bronze et cuivre	1 750	100	285-215-145	-	-	-	-
Le tableau ci-dessus indique la vitesse de coupe recommandée en fonction de la matière et de l'avance. La durée de vie de l'outil est de 15 min. Pour obtenir des taux d'enlèvement de matière plus élevés ou une plus grande durée de vie de l'outil, il faut multiplier la vitesse $V_c$ par les facteurs de correction selon le tableau ci-contre.											
DURÉE DE VIE T (min) - FACTEURS DE CORRECTION DE $V_c$											
Durée de vie T (min)	10	15	20	25	30	45	60				
Facteurs de correction	1,10	1,0	0,95	0,90	0,85	0,8	0,75				

\*  $k_c$  : force de coupe spécifique en N/mm<sup>2</sup>.

\*\* HB : dureté Brinell chapitre 78 (pour les aciers :  $R_f \approx 0,35 \text{ HB}$ ).



Matière	K <sub>a</sub> (daN/mm <sup>2</sup> )				
	Avance	0,1	0,2	0,4	
Aciers ordinaires	S 185 - S 275	360	260	190	140
	S 355	400	290	210	150
	E 335	420	300	220	160
	E 360	440	315	230	165
Aciers fins	C 35 - C 40	320	230	170	125
	C 45 - C 55	360	260	190	140
	C 60	390	285	205	150
Aciers alliés	Acier au manganèse	470	340	245	180
	Acier au nickel-chrome	500	360	260	185
	Acier au chrome molybdène	530	380	275	200
	Acier inoxydable	520	375	270	190
Fontes	EN-GJL-150	190	136	100	70
	EN-GJL 200; EN-GJL 250	290	210	150	110
	Fonte alliée	325	230	170	120
	Fonte malléable	240	175	125	90
Alliages de cuivre	Laiton	160	115	85	60
	Bronze	340	245	180	130
Alliages d'aluminium	Alliage d'aluminium (Si <= 13 %)	140	100	70	50
	Alliage de moulage (Rr < 19)	115	85	60	45
	Alliage de moulage (19 < Rr < 27)	140	100	70	50
	Alliage de moulage (27 < Rr < 37)	170	122	85	65

## Application (unités voir GPDT 56)

Pièce en fonte EN-GJL-150. Outil PDJN  $\kappa_t = 93^\circ$ .  
 $K_a = 1\,000 \text{ MPa}$ ;  $V_c = 225 \text{ m/min}$ ;  $f = 0,4 \text{ mm/min}$ ;  
 $\alpha_p = 3 \text{ mm}$ ;  $\eta_e = 0,8$ .

Puissance consommée par le moteur ( $P_{cm}$ )

$$P_{cm} = \frac{K_a \cdot f \cdot \alpha_p \cdot V_c}{\eta_e \cdot 60} = \frac{1\,000 \times 0,4 \times 3 \times 225}{0,8 \times 60} = 5\,625 \text{ W.}$$

## 33.1 EFFORT DE COUPE

Soit le cas d'un usinage avec un outil à charioter coudé. L'action  $A_{P/O}$  de la pièce P sur l'outil O admet trois composantes :  $\vec{F}_c$ ,  $\vec{F}_f$ ,  $\vec{F}_p$ .

## EFFORT TANGENTIEL DE COUPE

$$F_c \approx K_a \cdot A_D$$

$F_c$  : effort tangentiel de coupe en newtons (N).

$K_a$  : pression spécifique de coupe en N/mm<sup>2</sup>.

$A_D$  : section de copeau en mm<sup>2</sup>.

$$A_D = f \cdot \alpha_p$$

$f$  : avance en millimètre par tour (mm/tr).

$\alpha_p$  : profondeur de passe en mm.

$$F_c = K_a \cdot f \cdot \alpha_p$$

33.2 PUissance EN TRAVAIL (P<sub>e</sub>)

$$P_e = F_c \cdot V_c$$

$$P_e \approx \frac{F_c \cdot V_c}{60} \text{ ou } P_e \approx \frac{K_a \cdot f \cdot \alpha_p \cdot V_c}{60}$$

$P_e$  : puissance en travail en watts (W).

$F_c$  : effort tangentiel de coupe en newtons.

$V_c$  : vitesse de coupe en m/min.

33.3 PUissance CONSUMMÉE PAR LE MOTEUR (P<sub>cm</sub>)

$$P_{cm} = \frac{P_e}{\eta_e}$$

$\eta_e$  : rendement de la machine.

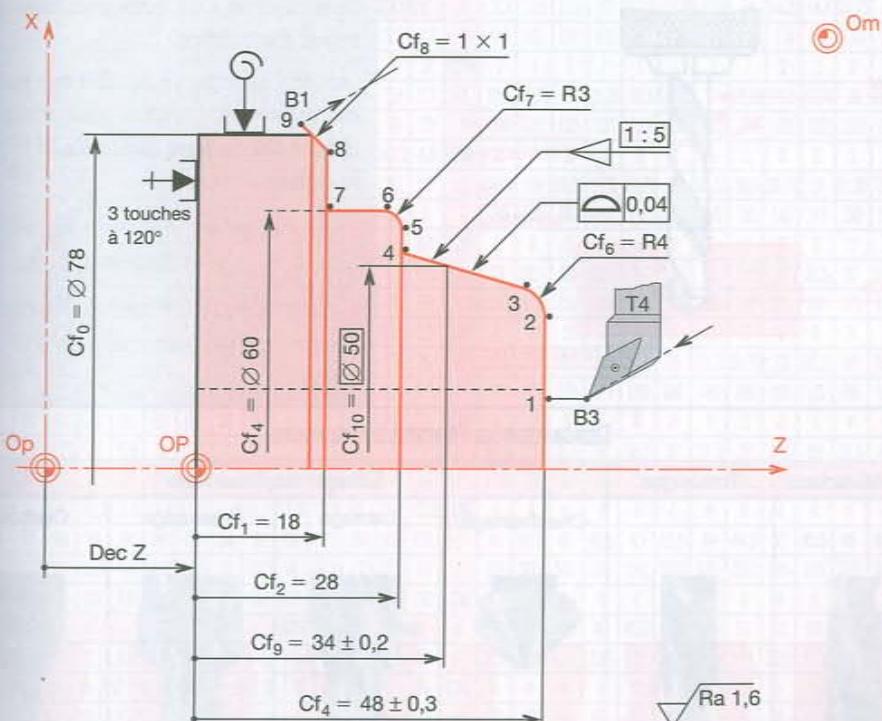
La puissance consommée varie également en fonction de l'angle de coupe  $\gamma_n$ \*\* et de l'angle de direction d'arête  $\kappa_t$ \*\*\*.

$K_a$  est fonction du matériau et de l'avance  $f$ .

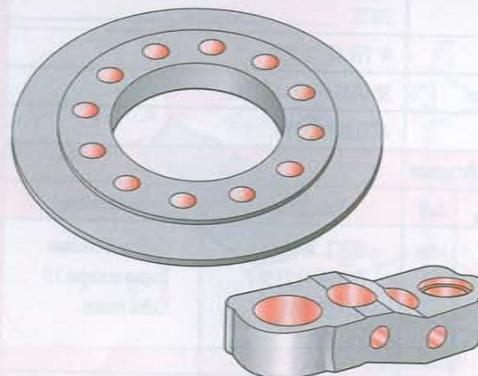
\* Prononcer « éta indice e ». \*\* Prononcer « gamma indice n ».

\*\*\* Prononcer « kappa indice t ».

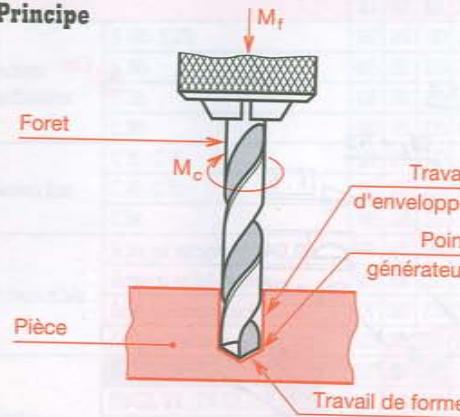
PHASE : 200 S/PY : 220		CONTRAT DE PHASE TOURNAGE						NOM : _____		
ENSEMBLE : Monture équatoriale								DATE : _____		
PIÈCE : Bague inférieure		MACHINE : Tour CN NUM 750						N° PROG : % 2004		
MATIÈRE : EN AW-2017		PORTE-PiÈCE : Mors doux épaulés						N° DOC : FAB-ME 14		
NOMBRE : 50		BRUT : Phase 110						ATELIER : UF 1		
Opérations d'usinage		Éléments de coupe			Éléments de passe			Outilage		
N°	Rep.	Désignation	V <sub>c</sub>	f	n	$\alpha_p$	n <sub>p</sub>	Lub	Fabrication	Vérification
223	T4	Pinition	2 000	0,1	-	0,4	1	oui	SDJCL 16 16 H 11 DCMW 11 T3 08 F AL/CD 1810	Calibre à coulisse Bague conique 1:5 Cales étalon



## Exemples de surfaces obtenues par perçage



## Principe



Le perçage est une opération d'usinage permettant d'obtenir dans une pièce des trous cylindriques sous l'action d'un outil coupant appelé « mèche » ou « foret ».

L'enlèvement des copeaux est obtenu par la combinaison de deux mouvements :

- un mouvement de coupe  $M_c$  (rotation),
- un mouvement d'avance  $M_f$  (translation).

Très souvent le mouvement de coupe et le mouvement d'avance sont donnés à l'outil mais on rencontre toutes les combinaisons de ces deux mouvements.

La réalisation d'un trou cylindrique est un travail d'enveloppe.

Lors de l'usinage, l'ensemble des positions successives du « point générateur » de chaque bec du foret détermine la forme de la surface obtenue\*.

- Le mouvement de coupe  $M_c$  impose à chaque point générateur de décrire un cercle.
- Le mouvement d'avance  $M_f$  permet à chaque point générateur de parcourir toute la surface.

DÉSIGNATION DES PRINCIPALES OPÉRATIONS					
Trou débouchant	Trou borgne	Usinages complémentaires			
		Chanfreinage	Lamage	Fraisage	Centrage

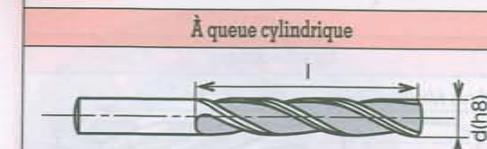
\* États de surface voir chapitres 76 et 77.

## 36.1 FORETS HÉLICOÏDAUX

À queue cylindrique								À queue conique																					
DÉSIGNATION : Foret, série _____, à queue cylindrique, de $\varnothing d$ .								NF E _____																					
Série extra-courte								NF E 66-061 - ISO 235																					
d	1	1,2	1,5	1,6	1,8	2	2,2	2,5	2,8	3	3,2	3,5	3,8	d	4	4,5	5	5,5	6	6,5	6,8	7	7,5	7,8	8	8,2	8,5		
1	6	8	9	10	11	12	13	14	16	16	18	20	22	1	43	47	52	57	57	63	69	69	75	75	75	75	75		
d	4	4,2	4,5	4,8	5	6	6,2	6,5	6,8	7	7,2	7,5	8	CM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1	22	22	24	26	26	28	31	31	34	34	34	34	37	d	8,8	9	9,5	9,8	10	10,2	10,5	10,8	11	11,2	11,5	11,8	12		
d	8,5	9	9,5	10	10,5	11	12	13	14	15	16	17	18	1	81	81	81	87	87	87	94	94	94	94	94	94	101		
1	37	40	40	43	43	47	51	51	54	56	58	60	62	CM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Série courte								NF E 66-067 - ISO 235								d	12,2	12,5	12,8	13	13,2	13,5	13,8	14	14,25	14,5	14,75	15	15,25
d	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	1	101	101	101	101	108	108	108	114	114	114	114	120		
1	12	14	16	16	18	18	20	20	22	22	24	24	27	27	CM	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	
d	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	d	15,5	15,75	16	16,25	16,5	16,75	17	17,25	17,5	17,75	18	18,25	18,5	
1	30	30	30	33	33	33	36	36	36	39	39	39	39	39	1	120	120	120	125	125	125	125	130	130	130	135	135		
d	3,75	3,8	3,9	4	4,1	4,2	4,25	4,3	4,4	4,5	4,6	4,7	4,75	4,8	CM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
1	43	43	43	43	43	47	47	47	47	47	47	47	52	52	d	18,75	19	19,25	19,5	19,75	20	20,25	20,5	20,75	21	21,25	21,5	21,75	
d	4,9	5	5,1	5,2	5,25	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7	5,75	5,8	5,9	6	1	135	135	140	140	140	145	145	145	150	150	150	150		
1	52	52	52	52	52	57	57	57	57	57	57	57	57	57	CM	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
d	6,1	6,2	6,25	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,75	6,8	6,9	7	7,1	7,2	d	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25	25,5	26	26,5	27	27,5		
1	63	63	63	63	63	63	63	63	69	69	69	69	69	69	1	150	155	155	155	160	160	160	165	165	165	170	170		
d	7,25	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,75	7,8	7,9	8	8,1	8,2	8,25	8,3	CM	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
1	69	69	69	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	d	28,5	29	29,5	30	30,5	31	31,5	31,75	32	32,5	33	33,5	34	
d	8,4	8,5	8,6	8,7	8,75	8,8	8,9	9	9,1	9,2	9,25	9,3	9,4	9,5	1	175	175	175	175	180	180	180	185	185	185	185	190		
1	75	75	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81	CM	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4		
d	9,6	9,7	9,75	9,8	9,9	10	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,6	10,7	10,8	d	34,5	35	35,5	36	36,5	37	37,5	38	38,5	39	39,5	40	40,5	
1	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	94	94	1	190	190	190	195	195	195	195	200	200	200	200	205			
d	10,9	11	11,1	11,2	11,3	11,4	11,5	11,6	11,7	11,8	11,9	12	12,1	12,2	CM	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
1	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	101	101	101	d	41	41,5	42	42,5	43	43,5	44	44,5	45	45,5	46	46,5	47	
d	12,5	12,7	13	13,5	14	14,25	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18	1	205	205	205	205	210	210	210	215	215	215	215			
1	101	101	101	108	114	114	114	120	120	120	125	130	130	130	CM	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
Série longue								NF E 66-068 - ISO 494								d	47,5	48	48,5	49	49,5	50	50,5	51	52	53	54	55	56
d	1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3	1	215	220	220	220	220	225	225	225	230	230	230	230	
1	33	41	45	45	50	53	56	56	59	59	62	62	66	68	CM	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5		
d	3,1	3,2	3,3	3,5	3,6	3,8	4	4,1	4,2	4,5	4,7	4,8	5	5,1	5,2	d	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	68	72	
1	69	69	73	73	78	78	78	82	82	87	87	87	87	87	87	1	235	235	235	235	240	240	245	245	250	250	255		
d	5,3	5,5	5,6	5,7	5,8	6	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	6,7	6,8	7	CM	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
1	87	91	91	91	91	97	97	97	97	97	97	97	102	102	d	74	75	76	78	80	85	90	95	100	-	-	-		
d	7,5	7,8	8	8,2	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	14	1	255	255	260	260	260	265	270	275	280	-	-	-	
1	102	109	109	109	115	115	121	121	128	128	134	134	140	140	CM	5	5	5	6	6	6	6	6	-	-	-	-		

\* Coupe à droite (coupe à gauche, pour le décolletage, sur demande).  
Astra: 93502 - Pantin.

## 36.2 FORETS ALÉSEURS - FORETS À CENTRER\* - FORETS À POINTER\*\*



DÉSIGNATION : Foret alésage à queue cylindrique, série courte de  $\varnothing d$ , ISO 235 NF E 66-067

Dimensions : mêmes dimensions que le foret série courte.

L'action des arêtes de coupe (3 ou 4) est analogue à celle d'un foret de perçage. Ils sont utilisés :

- en demi-finition, ou finition, pour les alésages à partir d'un perçage ;
- pour aléser des trous bruts avec fortes surépaisseurs.

Tolérance de l'alésage obtenu :  $8 < IT < 11$ .

### TYPE A

d	D	l	L	d	D	l	L
1	3,15	1,3	29,5	3,15	8	3,9	48
1,6	4	2	33,5	4	10	5	53
2	5	2,5	38	6,3	16	8	68
2,5	6,3	3,1	43	10	25	12,8	97

### TYPE B

d	D	d <sub>1</sub>	l	L	d	D	d <sub>1</sub>	l	L
1	4	2,12	1,3	33,5	3,15	11,2	6,7	3,9	57
1,6	6,3	3,35	2	43	4	14	8,5	5	64
2	8	4,25	2,5	48	6,3	20	13,2	8	77
2,5	10	5,3	3,1	53	10	31,5	21,2	12,8	122

### TYPE R

d	D	l	L	d	D	l	L
1	3,15	3	29,5	3,15	8	8,5	48
1,6	4	4,25	33,5	4	10	10,6	53
2	5	5,3	38	6,3	16	10,7	68
2,5	6,3	6,7	43	10	25	26,5	97

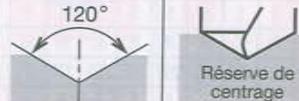
■ Le choix d'un centre d'usinage est essentiellement fonction des dimensions de la pièce, des efforts de coupe et de la précision du travail à effectuer.

■ Afin de conserver dans le temps les qualités géométriques de la surface conique, utiliser les centres avec un chanfrein de protection (type B).

■ En principe, les types R sont réservés aux travaux de haute précision.

### Angle 120°

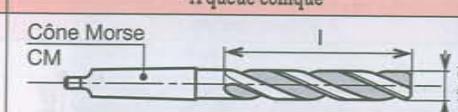
Forets à pointer



\* Utilisés pour la reprise des pièces de tournage et de rectification.

\*\* Utilisés pour préparer un centrage avant perçage.

### À queue conique



DÉSIGNATION : Foret alésage à queue conique, série normale de  $\varnothing d$ , ISO 235 NF E 66-071

Dimensions : mêmes dimensions que le foret cône Morse.

Mode d'action

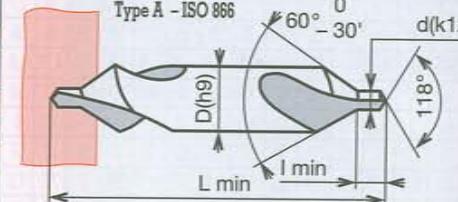
Arête de coupe → Pièce

Foret-aléseur

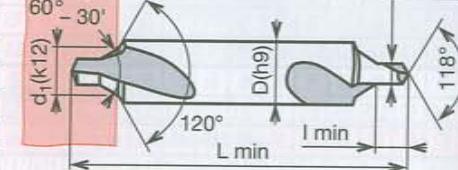
Alésage fini $\varnothing D$	$\varnothing$ Avant-trou	$\varnothing$ Foret alésage
10 à 20	D-2	D-0,2
20 à 30	brut	D-0,3
30 à 50	brut	D-0,4

FORET À CENTRER ISO 866

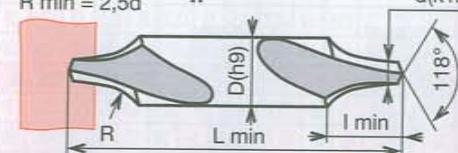
Type A - ISO 866



Type B - ISO 2540



R min = 2,5d



DÉSIGNATION : Foret à centrer  $\varnothing d$ , type ISO 866 NF E 66-051

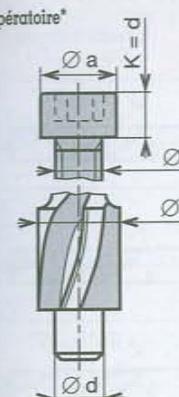
FORET À POINTER



DÉSIGNATION : Foret à pointer  $\varnothing d$ , angle

## 36.3 LAMAGE - MODE OPÉATOIRE

Mode opératoire\*



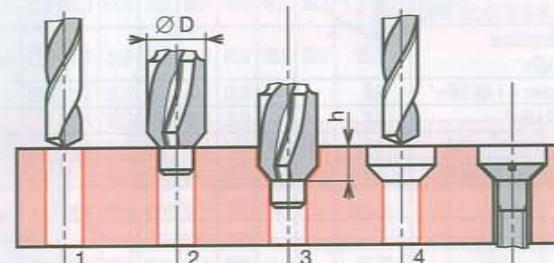
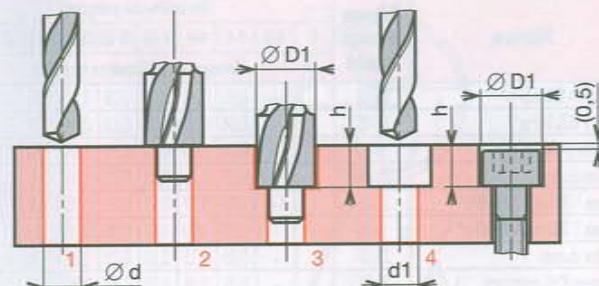
1° Percer au  $\varnothing d$  du pilote  $d$ .

2° Faire tangenter la fraise à lamer.

3° Lamer de la profondeur  $h$ .

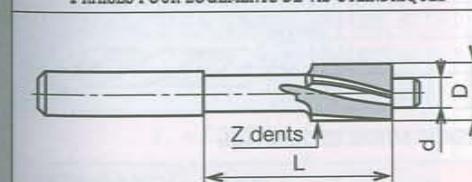
4° Percer au diamètre  $d_1$  ( $d_1 \approx d + 0,5$ ).

\* Voir GPDT 32 (Vis de fixation).

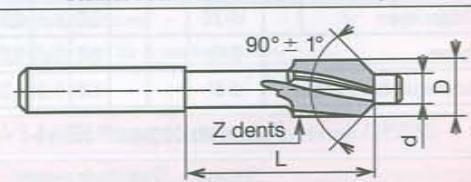


## 36.4 FRAISES À LAMER\*\* \*\*\*

### FRAISES POUR LOGEMENTS DE VIS CYLINDRIQUES



### FRAISES POUR LOGEMENTS DE VIS CONIQUES



### POUR VIS C

D	d	L	z	D	d	L	z	D	d	L	z
4,2	2	30	3	8,2	5	33	3	21,2	12	67	4
5,2	2,5	30	3	10,2	6	40	3	23,2	14	67	4
5,2	3	30	4	14,2	8	49	4	26,2	16	76	4
7,2	4	32	4	17,2	10	49	4	29,2	18	76	4

### POUR VIS H

D	d	L	z	D	d	L	z	D	d	L	z
4,2	2	30	3	12,2	6	40	3	28,2	14	76	4
6,2	3	30	3	16,2	8	49	4	32,2	16	76	4
8,2	4	33	3	20,2	10	49	4	-	-	-	-
10,2	5	40	4	24,2	12	67	4	-	-	-	-

### POUR VIS CH C

D	d	L	z	D	d	L	z	D	d	L	z
4,2	2,5	30	3	9,2	5	40	3	19,2	12	49	4
5,7	3	30	3	10,2	6	40	3	22,2	14	67	4
7,2	4	32	4	13,2	8	45	4	24,2	16	67	4
8,2	5	33	4	16,2	10	49	4	27,2	18	76	4

### POUR VIS F/90

D	d	L	z	D	d	L	z	D	d	L	z
8,2	4	33	3	12,2	6	40	3	20,2	10	49	4
10,2	5	40	3	24,2	12	67	3	32,2	16	67	4
12,2	6	40	4	26,2	14	76	4	32,2	14	76	4
16,2	8	49	4	32,2	16	76	4	32,2	16	76	4

\*\* Mogafor 94120 Fontenay. \*\*\* Bavaillot 69003 Lyon.

Matière	Vitesse de coupe m/min	FORETS HÉLICOÏDAUX										HS 6-5-2 (A.R.E.S.)	
		Diamètre de perçage											
		2	2-3	3-4	4-6	6-10	10-15	15-25	25-35	35-50	50-80		
Avance en millimètre par tour													
Aciéries < 600 MPa*	25-35	-	-	0,05	0,12	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41	0,48		
600 à 1 000 MPa*	15-25	-	-	0,04	0,09	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,39		
Plus de 1 000 MPa*	8-12	-	-	0,04	0,09	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,39		
Fontes douces	25-35	-	-	0,07	0,15	0,22	0,29	0,36	0,44	0,55	0,70		
Aciéries 1 000 à 1 200 MPa*	10-15	-	-	0,03	0,07	0,11	0,15	0,20	0,24	0,28	0,32		
Aciéries 1 200 à 1 400 MPa*	5-10	-	-	0,03	0,05	0,07	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10		
Fontes dures	12-20	-	-	0,05	0,12	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41	0,48		
Bronzes d'aluminium	25-35	-	-	0,07	0,16	0,23	0,31	0,39	0,49	0,62	0,80		
Bronzes copeaux longs	25-35	-	-	0,07	0,16	0,23	0,31	0,39	0,49	0,62	0,80		
Aciéries inoxydables													
X6 Cr Ni Ti 18-10 (Z 10 CNT 18-08)	8-12	0,03	0,04	0,05	0,08	0,11	0,15	0,20	0,25	0,30	-		
Alliages réfractaires													
800 à 1 000 MPa*	6-10	0,02	0,03	0,04	0,06	0,10	0,15	0,20	0,25	0,25	-		
All. réfractaires < 1 400 MPa*	4-6	-	-	0,03	0,05	0,08	0,10	0,15	0,20	0,20	-		
1 400 à 1 800 MPa*	2-3	-	-	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,15	0,15	-		
Aciéries 12 % de manganèse	4-6	0,02	0,03	0,04	0,05	0,08	0,12	0,20	0,25	0,25	-		
Aciéries traitées 1 400 à 1 600 MPa*	5-10	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,12	0,15	-		
Laitons	50-100	-	-	0,05	0,12	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41	0,48		
Bronzes	25-60	-	-	0,05	0,12	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41	0,48		
Matières plastiques dures	15-35	-	-	0,14	0,19	0,22	0,22	0,24	0,24	0,30	0,30		
Alliages légers	60-200	-	-	0,07	0,16	0,23	0,31	0,39	0,49	0,62	0,80		
Cuivres	40-70	-	-	0,07	0,16	0,23	0,31	0,39	0,49	0,62	0,80		
Matières plastiques tendres	15-20	-	-	0,08	0,10	0,12	0,12	0,16	0,16	0,20	0,20		

## FORETS HÉLICOÏDAUX\*\* HS 6-5-2 - REVÊTEMENT NITRURE DE TITANE (TiN)

Matière	Vitesse de coupe m/min	Diamètre de perçage			Matière	Vitesse de coupe m/mm	Diamètre de perçage			
		2,5-5,5	5,5-8,5	8,5-12			2,2-5,5	5,5-8,5	8,5-12	
		Avance en mm/tour	Avance en mm/tour	Avance en mm/tour			Avance en mm/tour	Avance en mm/tour	Avance en mm/tour	
Aciéries non alliés	35-45	0,13-0,17	0,20-0,26	0,23-0,31	Aciéries inoxydables	10-20	0,10-0,16	0,13-0,21	0,15-0,26	
Aciéries faiblement alliés	30-40	0,13-0,17	0,18-0,24	0,23-0,31	Fontes	30-50	0,14-0,22	0,19-0,31	0,25-0,40	
Aciéries fortement alliés	25-35	0,09-0,12	0,12-0,16	0,16-0,22	Alliages d'aluminium	55-95	0,15-0,25	0,18-0,31	0,25-0,41	
Aciéries moulés	17-30	0,10-0,16	0,13-0,21	0,17-0,27	Alliages de cuivre	50-70	0,15-0,20	0,19-0,25	0,24-0,32	

## FORETS HÉLICOÏDAUX\*\* CARBURE - REVÊTEMENT NITRURE DE TITANE (TiN)

Matière	Vitesse de coupe m/min	Diamètre de perçage			Matière	Vitesse de coupe m/mm	Diamètre de perçage			
		3-5,5	5,5-8,5	8,5-12,7			3-5,5	5,5-8,5	8,5-12,7	
		Avance en mm/tour	Avance en mm/tour	Avance en mm/tour			Avance en mm/tour	Avance en mm/tour	Avance en mm/tour	
Aciéries non alliés	60-80	0,10-0,17	0,12-0,22	0,15-0,25	Fontes	60-80	0,15-0,25	0,25-0,35	0,35-0,60	
Aciéries faiblement alliés	40-70	0,10-0,17	0,15-0,22	0,20-0,27	Alliages d'aluminium	50-90	0,15-0,20	0,20-0,40	0,30-0,50	
Aciéries fortement alliés	25-40	0,08-0,12	0,10-0,16	0,16-0,25	Alliages de cuivre	60-90	0,15-0,25	0,25-0,40	0,30-0,50	

D'après Astra. \* MPa = mégapascal (GPDT 56).

\*\* D'après Sandvik-Coromant.

## PERÇAGE - CALCUL DE PUISSANCE

## EFFORTS DE COUPE 38.1

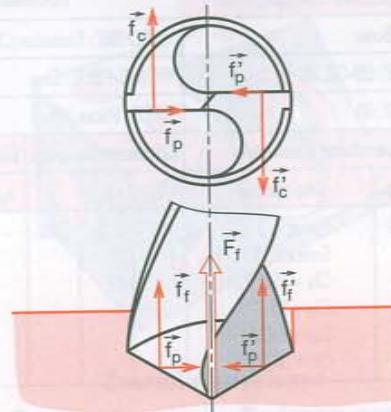
La résultante des efforts de coupe s'exerçant sur une arête admet trois composantes :

- $\vec{f}_c$  (effort tangentiel de coupe),
- $\vec{f}_f$  (effort d'avance),
- $\vec{f}_p$  (effort de pénétration).

Si le foret est parfaitement affûté et si le matériau de la pièce est homogène, on a :  $\vec{f}_c = \vec{f}_c'$ ;  $\vec{f}_f = \vec{f}_f'$ ;  $\vec{f}_p = \vec{f}_p'$ .

Les composantes  $\vec{f}_p$  et  $\vec{f}_p'$  égales et pratiquement opposées s'annulent. La résultante de l'effort d'avance  $\vec{F}_f = 2 \vec{f}_f$  est portée par l'axe du foret. Les forces  $\vec{f}_c$  et  $\vec{f}_c'$  constituent le couple résistant au forage.

## Efforts de coupe



Matière	K	k
Aciéries R < 600 MPa	11	1 000
Aciéries R > 600 MPa	11,5	1 200
Aciéries inoxydables	15	1 300
Aciéries au nickel-chrome	14	900
Aciéries au chrome-molybdène	13	1 600
Fontes grises	8	700
Fontes à graphite sphéroïdal	7,5	1 100
Laitons	3,5	800
Alliages d'aluminium	5	850

Valeurs données à titre de première estimation.

## Application (signification des unités voir GPDT 56)

Soit à évaluer l'effort d'avance et la puissance consommée par le moteur pour une opération de perçage sur une pièce en C30 (R ≈ 550 MPa).

Diamètre  $d = 12$  mm ; avance  $f = 0,2$  mm/tr ; vitesse de coupe  $V_c = 25$  m/min.

$k \approx 1 000$ ;  $K \approx 11$ .

Rendement de la machine  $\eta_e = 0,8$ .

## Effort d'avance

$$F_f \approx k.f.d \approx 1 000 \times 0,2 \times 12 \times 2 = 2 400 \text{ N.}$$

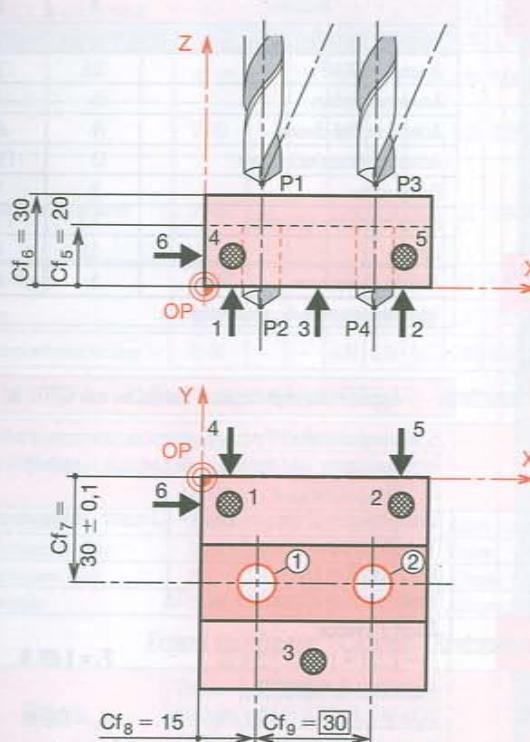
Puissance en travail ( $P_e$ )

$$P_e \approx K.f.d.V_c \approx 11 \times 0,2 \times 12 \times 25 = 660 \text{ W.}$$

Puissance consommée par le moteur ( $P_{cm}$ )

$$P_{cm} = \frac{P_e}{\eta_e} = \frac{660}{0,8} = 825 \text{ W.}$$

PHASE : 300	S/PH : 310	CONTRAT DE PHASE				NOM : _____							
ENSEMBLE : Monture équatoriale	TOURNAGE				DATE : _____								
PIÈCE : Butée	MACHINE : Fraiseuse CN NUM 750				N° PROG : % 2002								
MATIÈRE : EN-GJL 200	PORTE-PIÈCE : Étau				N° DOC : FAB-ME 11								
NOMBRE : 50	BRUT : Phase 100				ATELIER : UF 1								
Opérations d'usinage	Éléments de coupe	Éléments de passe	Outilage										
N°	Rep.	Désignation	V <sub>c</sub>	f <sub>x</sub>	n	a <sub>p</sub>	n <sub>p</sub>	V <sub>t</sub>	Lub	Fabrication	Vérification		
313	T4	Percer ① ② Suivant OX Cf <sub>8</sub> = 15 ± 0,1 Cf <sub>9</sub> = 30 Suivant OY Cf <sub>7</sub> = 30 ± 0,1	30	0,22	1100	-	1	242	non	Foret série courte à queue cylindrique Ø 8,5, NF E 66-067	Calibre à coulisse		



Tolérances générales ISO 2768-mK.

L'alésage est une opération d'usinage permettant d'obtenir des surfaces de révolution intérieures sous l'action d'un outil coupant.

En principe, la notion d'alésage sous-entend :

- une bonne précision dimensionnelle (IT 6, 7, 8) ;
- une bonne précision géométrique cylindricité, circularité et rectitude (IT 5, 6) ;
- un bon état de surface ( $R_a$  0,8 à 3,2 µm).

On distingue deux principes fondamentaux de génération d'une surface :

- le travail d'enveloppe,
- le travail de forme.

L'enlèvement des copeaux est obtenu par la combinaison de deux mouvements :

- un mouvement de coupe  $M_c$  (rotation),
- un mouvement d'avance  $M_f$  (translation).

## TRAVAIL D'ENVELOPPE 40.1

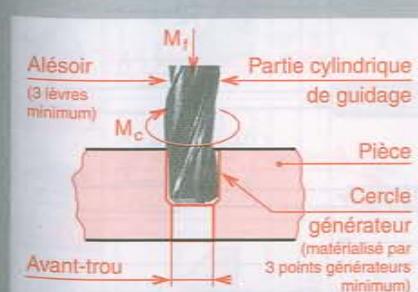
Analogue à celui du tournage voir § 29.1\*

## TRAVAIL DE FORME 40.2

Lors de l'usinage :

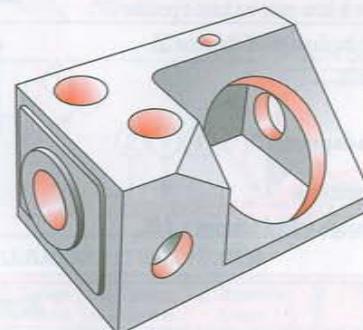
- le cercle génératrice matérialisé par au moins trois points générateurs de l'alésoir détermine la circularité de la surface,
- la partie guide de l'alésoir donne les corrections géométriques de cylindricité.

### Travail de forme



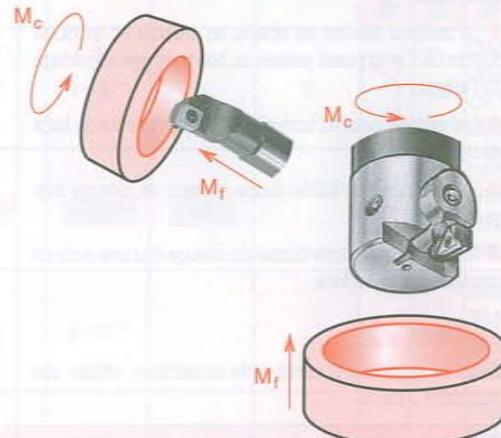
\* Etats de surface : voir chapitre 76 et 77.

### Exemples de surfaces obtenues par alésage

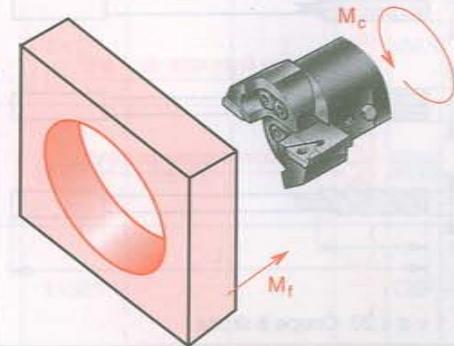


#### Travail d'enveloppe

Tour



#### Fraiseuse horizontale

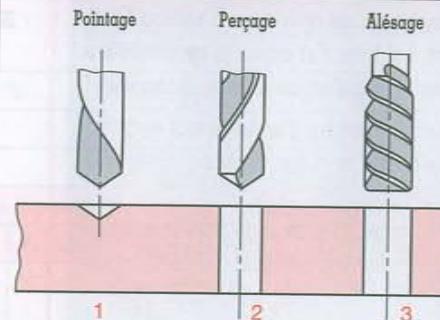


**Mode opératoire**

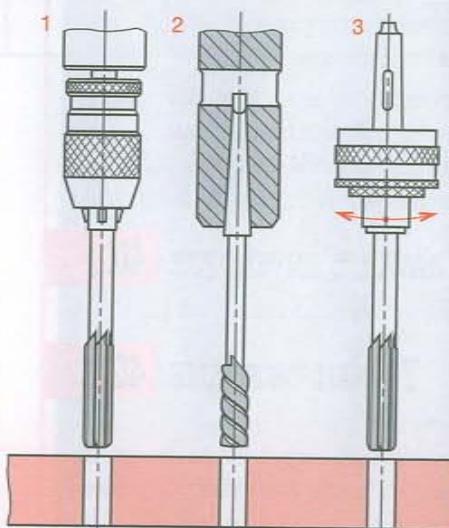
- Pointez le trou avec un foret à pointer (1)\*.
- Percer au diamètre d'ébauche (2).
- Aléser (3).

**Diamètre de perçage\*\*****Formule pratique**

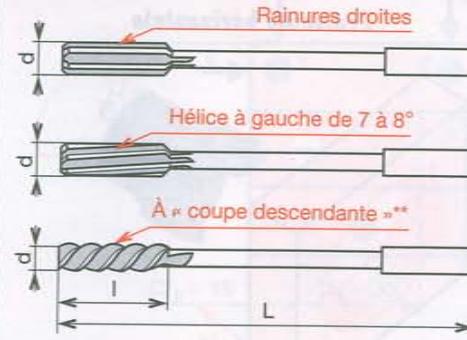
$$\text{Ø de perçage} = \text{Ø d'alésage} \times 0.98.$$

**MONTAGE DES ALÉSOIRS****Alésages sur machines conventionnelles**

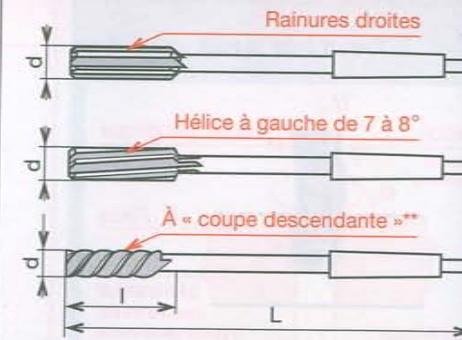
- Les alésoirs se montent dans le mandrin de perçage (queue cylindrique, (1) ou directement dans la broche (queue conique, (2)).
- Le meilleur résultat est obtenu en utilisant un montage flottant (3). Cet appareil permet un bon centrage et guidage de l'alésoir.
- Les avances peuvent varier largement en fonction de l'état de surface désiré.
- Une avance trop faible donne souvent un alésage trop grand.
- Une avance trop forte donne un alésage à la cote mais un mauvais état de surface.

**REMARQUE**

Pour les machines à commande numérique, utiliser des mandrins à pince.

**Alésoirs à machine à queue cylindrique** NF E 66-014

\*\*  $1 < d < 20$  Coupe à droite

**Alésoirs à machine à queue cône morse** NF E 66-015 - ISO 521

\*\* Pour alésages débouchants ou borgnes (dégagement des copeaux)

\* Voir § 36.2.

\*\* Voir tableau : Surépaisseur de rayon § 41.3.

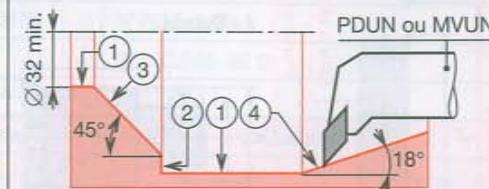
**41.1 CHOIX D'UN PORTE-OUTIL À ALÉSER**

La forme de la pièce est un critère déterminant pour le choix d'un type d'outil.

Le tableau à deux entrées permet de choisir d'un porte-outil.

**EXEMPLE**

Soit à aléser un profil correspondant aux opérations élémentaires 1 à 4. Deux outils peuvent être utilisés, PDUN ou MVUN. Choisir le plus rigide, soit PDUN.

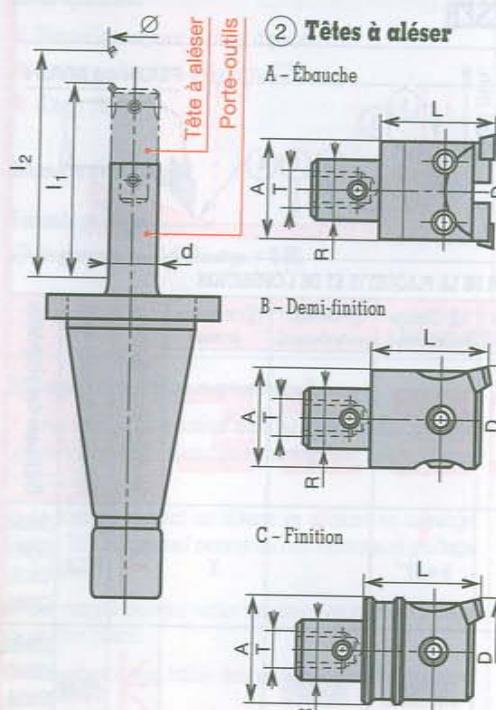
**CHOIX D'UN OUTIL À ALÉSER EN FONCTION DE LA PLAQUETTE ET DE L'OPÉRATION**

Plaquette	Outil et opération	$\kappa_r$	$\text{Ø min}$	Synthèse des trajectoires					Référence du porte-outil	Référence des plaquettes
				① Charriote longitudinal	② Dressage de face	③ Copiage pente ascend.	④ Copiage pente descend.	⑤ Remontée de face		
C   80°		95°	20	X	X*	$\delta \leq 93^\circ$ *		X	PCLN	CNMM CNMG CNGA CNMA
D   55°		93°	32	X	X*	$\delta \leq 90^\circ$ *	$\delta \leq 27^\circ$		PDUN	DNMM DNMG DNGA DNMA
S   90°		75°	32	X		$\delta \leq 72^\circ$			PSKN	SNMM SNMG SNGA SNMA
T   60°		91°	20	X		$\delta \leq 88^\circ$			PTFN	TNMM TNMG TNGA TNMA
W   80°		95°	25	X	X	$\delta \leq 92^\circ$ *		X	MWLW	WNMG
V   35°		93°	50	X	X	$\delta \leq 90^\circ$ *	$\delta \leq 50^\circ$		MVUN	VNMG
R   -		-	32	X		$\delta \leq 90^\circ$		X	CRSP	RPGN (céramique)

\* Pour un copeau  $a_p$  faible  $\approx 0,2$  (finition).

\*\* Ø min = diamètre minimal de perçage.

### ① Porte-outil à aléser\* - Capacité 20 à 100 mm



Capacité Ø mm	d	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	Porte-outil	Tête à aléser
25 - 26	19	80	100	ISO30 40 50 MORSE 2 3 4 5 SA 30 40	Ébauche
25 - 33	24	100	130		
32 - 42	31	130	160		1/2 finition
41 - 54	39	160	200		
53 - 70	50	160	200		
68 - 100	64	160	200		Finition

### CONDITIONS DE COUPE

Matière (Rr en MPa***)	Vitesse de coupe (m/min)**	Diamètre (mm)	Avance (mm/tr)	Surépaisseur au rayon (mm)
Acier Rr = 400	20	5 à 10	0,06 à 0,10	0,10
Acier 400 < Rr < 600	16	10 à 15	0,10 à 0,15	0,15
Acier 600 < Rr < 800	12	15 à 20	0,15 à 0,20	0,20
Acier 800 < Rr < 1 000	8	20 à 35	0,20 à 0,30	0,30
Acier 1 000 < Rr < 1 200	6	35 à 50	0,30 à 0,50	0,40
Fonte douce	12 à 18	50 à 70	0,50 à 0,80	0,50
Fonte dure	8 à 12	> 70	0,80 à 1	0,60
Alliages légers	20 à 60	-	-	-

\* Kaiser, distribué par Sovéco - 92040 Courbevoie. \*\* Pour des outils carbure, prendre les vitesses de coupe du tourage. \*\*\* MPa = mégapascals (GPDT 56).

## 41.2 PORTE-OUTIL À ALÉSER

Ces porte-outils sont à queue cône Morse ou cône 7/24. Ils peuvent recevoir trois types de tête à aléser : ébauche ; demi-finition ; finition.

### TÊTES À ALÉSER À DEUX TRANCHANTS

Ces têtes sont utilisées pour l'ébauche (fig. 2A). Les deux couteaux sont réglés axialement et radialement.

- Dans le cas d'une ébauche légère, les deux couteaux peuvent se situer sur le même diamètre et dans le même plan.
- Dans le cas d'une ébauche importante, il est nécessaire de décaler les outils axialement et radialement.

### TÊTES À ALÉSER À UN TRANCHANT

Ces têtes sont utilisées pour la demi-finition et la finition d'alésages précis.

- Les modèles employés en demi-finition sont réglables par vis micrométriques (fig. 2B).
- Les modèles employés en finition sont réglables radialement par bague (fig. 2C).

## 41.3 CONDITIONS DE COUPE (ALÉSOIR)

La première partie du tableau ci-contre donne la vitesse de coupe d'un alésoir en fonction du matériau.

La deuxième partie donne l'avance  $f$  et la surépaisseur au rayon en fonction du diamètre.

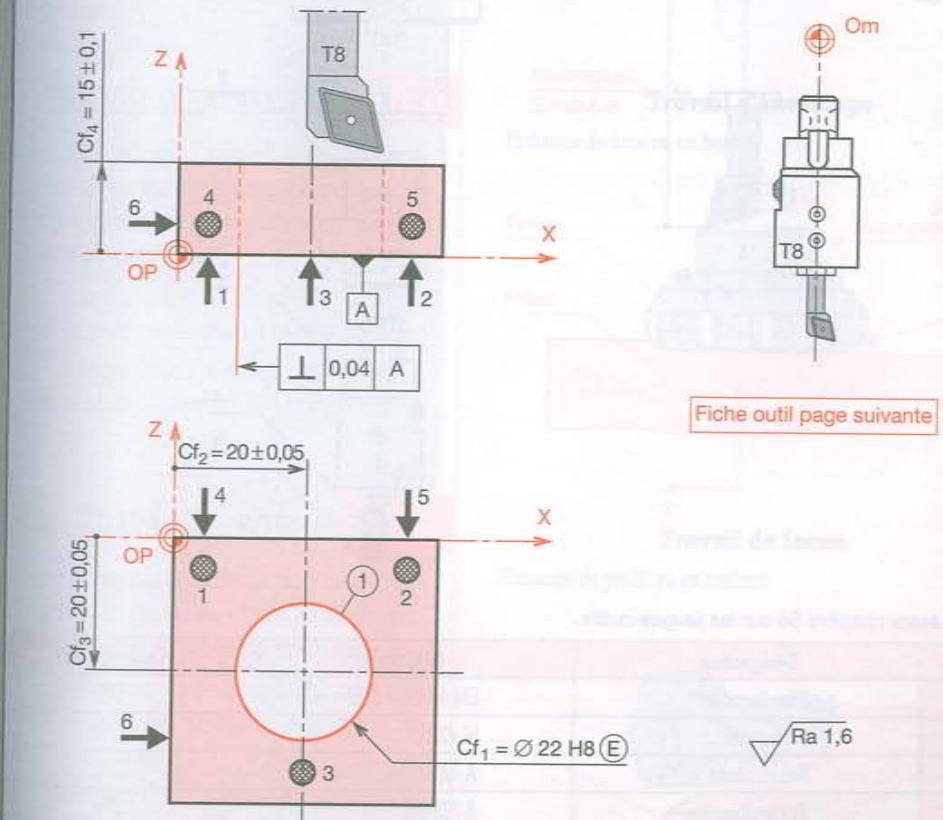
### EXEMPLE

Soit à aléser avec un alésoir en acier rapide une pièce en acier C 35 ( $R = 570 \text{ MPa}$ )\*\*\* de  $\varnothing 25$ .

La première partie du tableau donne  $V_c = 16 \text{ m/min}$ .

La deuxième partie donne  $f = 0,2 \text{ à } 0,3 \text{ mm/tr}$  et la surépaisseur au rayon  $0,3$ .

PHASE: 200 S/P <sub>H</sub> : 210		CONTRAT DE PHASE FRAISAGE					NOM : _____				
ENSEMBLE : Monture équatoriale							DATE : _____				
PIÈCE : Entretoise		MACHINE : Fraiseuse CN NUM 750					N° PROG : % 2006				
MATIÈRE : EN-GJL 200		PORTE-PIÈCE : Étau					N° DOC : FAB - ME 13				
NOMBRE : 100		BRUT : Phase 100					ATELIER : UF 1				
Opérations d'usinage		Éléments de coupe		Éléments de passe		Outilage					
N°	Rep.	Désignation	$V_c$	$f_z$	n	$a_p$	$n_p$	$V_f$	Lub	Fabrication	Vérification
213	T8	Aléser ① $\varnothing 22 \text{ H8 E}$ Suivant OX $Cf_2 = 20 \pm 0,05$ Suivant OY $Cf_3 = 20 \pm 0,05$ Suivant OZ $Cf_4 = 15 \pm 0,1$	100	0,1	1 450	0,2	1	145	non	Tête à aléser A720 (EPB) Porte-plaque A 728 045 Plaque CCGT 06 02 02 03G2	Calibre à coulisse Tampon lisse $\varnothing 22 \text{ H8}$



Tolérances générales ISO 2768-mK.

**FICHE OUTIL N° FR 12**

PRÉPARATEUR: _____	DATE: _____	MACHINE: Fraiseuse CN NUM 750	
NUMÉRO D'OUTIL: T8	CORRECTEUR D'OUTIL: D8		
<b>CORRECTIONS D'OUTILS</b>			
Jauge-outil en X	Jauge-outil en Z	Rayon outil	Orientation nez outil
	L = 154,68	R = 22,016	

Voir aussi chapitre 56 sur les jauge-outsils.

Rep.	Désignation	Références	Observations
1	Attachement	EM 4464 401 2855	EPB
2	Réduction	M 403 53	EPB
3	Tête à clés	A 720	EPB
4	Porte-plaquette	A 728 045	EPB
5	Plaquette	COGT 06 02 02 03G3	EPB

# FRAISAGE - GÉNÉRATION DES SURFACES

Le fraisage est une opération d'usinage permettant d'obtenir des surfaces planes et des surfaces de formes quelconques sous l'action d'un outil coupant appelé « fraise ».

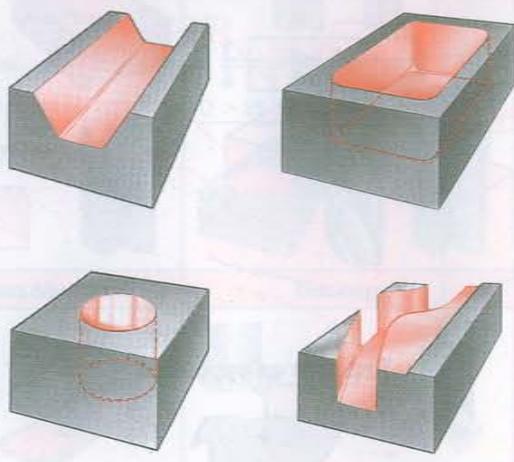
On distingue deux principes fondamentaux de génération, d'une surface :

- le travail d'enveloppe,
- le travail de forme.

L'enlèvement des copeaux est obtenu par la combinaison de deux mouvements :

- un mouvement de coupe  $M_c$  obtenu par la rotation de l'outil fraise,
- un mouvement d'avance  $M_f$  de la pièce ou de l'outil.

## Exemples des surfaces obtenues par fraisage



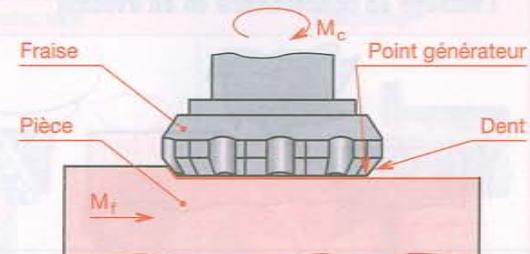
### TRAVAIL D'ENVELOPPE 43.1

Lors de l'usinage, l'ensemble des positions successives du « point génératrice » de chaque dent de la fraise détermine la forme de la surface obtenue\* :

- Le mouvement de coupe  $M_c$  impose à chaque point génératrice de décrire un cercle.
- Le mouvement d'avance  $M_f$  permet à chaque point génératrice de parcourir toute la surface.

#### Travail d'enveloppe

Fraisage de face ou en bout



### TRAVAIL DE FORME 43.2

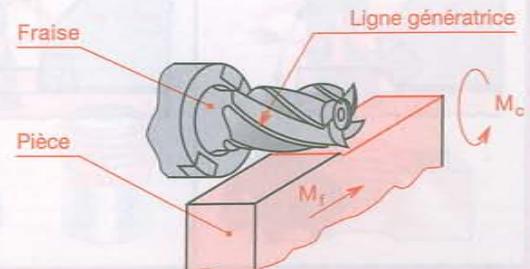
Lors de l'usinage, la forme de l'arête tranchante de la fraise, ou « ligne génératrice », détermine le profil de la surface obtenue\*.

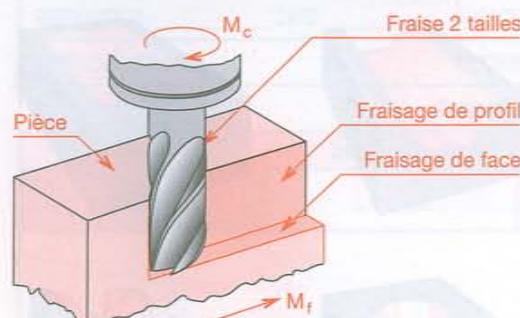
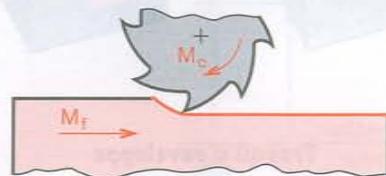
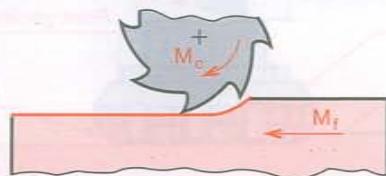
- Le mouvement de coupe  $M_c$  impose à chaque point de la ligne génératrice de décrire un cercle.
- Le mouvement d'avance  $M_f$  permet à la ligne génératrice de parcourir toute la surface.

\* États de surface : voir chapitres 76 et 77.

#### Travail de forme

Fraisage de profil ou en roulant



**Travail mixte****Fraisage de face et fraisage de profil****Fraisage en opposition****Fraisage en concordance ou en avalant****REMARQUE**

Les fraises « deux tailles » ou « trois tailles » (deux ou trois arêtes tranchantes) peuvent usiner simultanément en travail d'enveloppe et en travail de forme.

**43.3 MODES DE FRAISAGE****43.3.1 FRAISAGE EN OPPOSITION**

Dans la zone d'usinage, le mouvement d'avance  $M_f$  et le mouvement de coupe  $M_c$  sont de sens contraire.

L'épaisseur du copeau est minimale à l'attaque d'une dent et croissante pendant toute la coupe.

**43.3.2 FRAISAGE EN CONCORDANCE****OU EN AVALANT**

Dans la zone d'usinage, le mouvement d'avance  $M_f$  et le mouvement de coupe  $M_c$  sont de même sens.

L'épaisseur du copeau est maximale à l'attaque d'une dent et décroissante pendant toute la coupe.

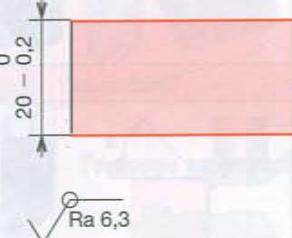
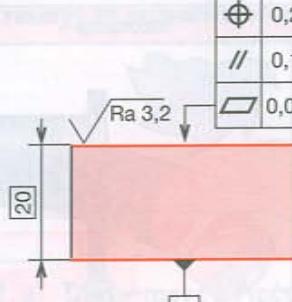
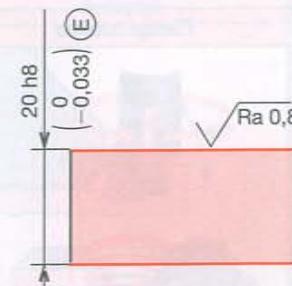
Ce mode de fraisage ne peut être utilisé que sur les machines à commande numérique ou sur les machines à rattrapage de jeu.

**43.4 PRINCIPALES OPÉRATIONS**

Surfaçage	Surfaçage et dressage	Fraisage latéral ou de profil

Fraisage en poche	Fraisage en pente*	Perçage*
Rainurage débouchant	Rainurage non débouchant	Chanfreinage
Profilage - Copiage	Contournage	Tronçonnage
Alésage de cylindre	Filetage extérieur	Filetage intérieur

### 43.5 IDENTIFICATION DES SURFACES\*

Exemple	Spécification	Signification
	0 20 - 0,2 GPDT 15 et 17.1**	Toute distance, ou dimension locale, entre les deux plans tolérancés doit être comprise entre 20 et 19,8.
	ISO 2768-K  Ra 6,3 GPDT 15.812**	Tolérances géométriques générales : <ul style="list-style-type: none"> <li>K : classe de précision pour les tolérances géométriques.</li> <li>Tolérance de parallélisme : 0,2</li> </ul> En prenant chaque surface à tour de rôle comme référence, la surface contrôlée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,2 et parallèles à la surface choisie comme référence (GPDT 16.6). <ul style="list-style-type: none"> <li>Tolérance de planéité : 0,1</li> </ul> La surface doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,1 (GPDT 16.5).
	GPDT 17.3**  Ra 3,2 GPDT 13.2**	Limite supérieure de rugosité Ra 6,3 µm, valable pour toutes les surfaces de la pièce.  Le plan tolérancé doit être compris entre deux plans parallèles distants de 0,2 et disposés symétriquement par rapport à la position théorique spécifiée 20.
	GPDT 16.7**  Ra 0,8 GPDT 13.2**	Le plan tolérancé doit être compris entre deux plans parallèles distants de 0,1 et parallèles à la surface A choisie comme référence.  La surface doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,05.
	GPDT 16.4 et 16.5**  Ra 3,2 GPDT 13.2**	La surface doit être comprise entre deux plans parallèles distants de 0,1 et parallèles à la surface A choisie comme référence.  Limite supérieure de rugosité Ra 3,2 µm.
	20 h8 (0 - 0,033) (E) GPDT 17.21**	Exigence de l'enveloppe : <ul style="list-style-type: none"> <li>l'enveloppe de forme parfaite à la dimension au maximum de matière ne doit pas être dépassée, c'est-à-dire que les deux plans parallèles de la pièce doivent passer dans un calibre de contrôle « entre » de cote 20 théoriquement exacte ;</li> <li>aucune des dimensions locales ne doit être inférieure à 19,067.</li> </ul> Limite supérieure de rugosité Ra 0,8 µm.

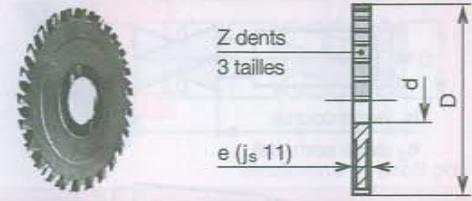
\* Ou analyse des spécifications de dimensions, de formes, de positions et d'états de surfaces.

\*\* Voir l'illustration de la zone de tolérance dans le GPDT au paragraphe indiqué.

### FRAISES SCIÉS - DENTURE ALTERNÉE - DENTURE HELLER

D	d	e	D	d	e
63	16-22		150	25,4	
80	22-27	1-1,2-1,6-2-2,5	160	32	1-1,2-1,6-2-2,5
100	22-27	3-3,5-4,5-6	175	32	3-3,5-4,5-6
125	22-27		200	32	

La denture alternée convient particulièrement pour les métaux tendres et facilite le tronçonnage à grand débit.



DÉSIGNATION : Fraise-scie 3 tailles, denture alternée : D × d, e.

### FRAISES CYLINDRIQUES 2 TAILLES

#### À queue cylindrique NF E 66-211 - ISO 1641

D	d	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Z	D	d	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Z
2	4	7	10		8	8	19	38	
2,5	4	8	12		10	10	22	45	
3	4	8	12		12	12	26	53	
4	4	11	19		(14)	12	26	53	
5	5	13	24		16	16	32	63	
6	6	13	24		20	20	38	75	

#### À queue cône Morse NF E 66-212 - ISO 1641

D	CM	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Z	D	CM	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Z
6	1	13	24	3	20	3	38	75	4
8	1	19	38		25	3	45	90	
10	1	22	45		(28)	3	45	90	
12	1	26	53		32	3	53	106	
12	2	26	53		32	4	53	106	
16	2	32	63		40	4	63	125	6
20	2	38	75		50	4	75	150	8

#### À queue cylindrique filetée

D	d	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Z	D	d	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	Z
2,5	6	7	-		12	12	26	51	
3	6	11	18		16	16	30	64	4
4	6	13	24		20	16	35	76	
5	6	16	30		25	25	44	99	5
6	6	18	30		32	32	51	102	6
8	10	22	33		40	32	60	102	6
10	10	24	44		45	32	63	102	8

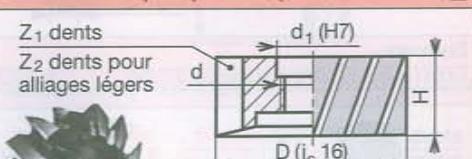
#### À trou tarouillé et centrage arrière NF E 66-213

D	d	d <sub>1</sub>	H	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	D	d	d <sub>1</sub>	H	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>
25	M12	14	25	6	-	63	M24	26	40	8	5
32	M12	14	28	6	-	80	M30	32	45	10	6
40	M16	18	32	6	4	100	M30	32	50	12	8
50	M20	22	36	8	5	125	M36	38	56	12	10

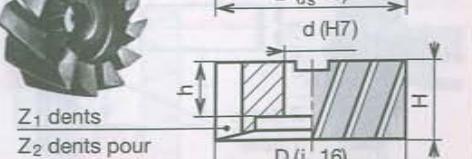
#### Entraînement par tenons NF E 66-214 - ISO 2586

D	d	H	h	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	D	d	H	h	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>
40	16	32	18	6	4	80	27	45	22	10	6
50	22	36	20	8	4	100	32	50	25	12	7
63	27	40	22	8	5	-	-	-	-	-	-

Éviter l'emploi des valeurs entre parenthèses.



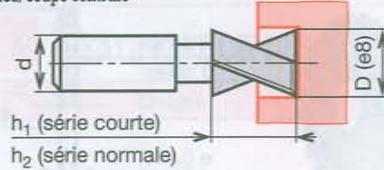
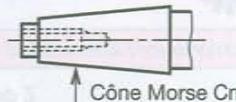
DÉSIGNATION : Fraise cylindrique 2 tailles, D.\*\* ISO 2586



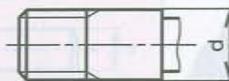
\* La lettre A désigne la série courte ; ne rien mettre pour la série normale.

\*\* Si nécessaire préciser « pour alliages légers ».

2 tailles, coupe centrale

Queue  
Cône Morse

Queue filetée



Ces fraises sont destinées à l'usinage des rainures quand il est impossible de les exécuter avec une fraise 3 tailles.

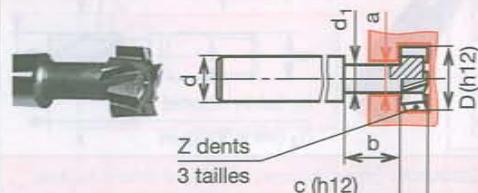
La « coupe centrale » (une des dents a une longueur d'arête de coupe  $L > D$ ) autorise un travail en plongée sans perçage préalable.

DÉSIGNATIONS :

Fraise à rainurer, queue cylindrique,  $D \times d$ , A\*. ISO 1641

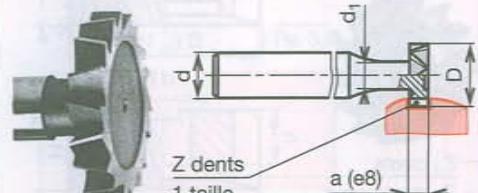
Fraise à rainurer, cône Morse n°\_\_\_\_\_, D. ISO 1641

Fraise à rainurer 2 dents, queue filetée, D, série \_\_\_\_\_. ISO 1641



DÉSIGNATION :

Fraise à queue cylindrique pour rainure à T de a. ISO 3337



DÉSIGNATION :

Fraise pour logement de clavette disque D-a. ISO 12197

## FRAISES À RAINURER 2 DENTS

À queue cylindrique

NF E 66-217 - ISO 1641

D	d	$h_1$	$h_2$	D	d	$h_1$	$h_2$	D	d	$h_1$	$h_2$
2	4	4	7	6	6	8	13	12	12	16	26
2,5	4	5	8	(7)	8	10	16	(14)	12	16	26
3	4	5	8	8	8	11	19	16	16	19	32
(3,5)	4	6	10	(9)	10	11	19	(18)	16	19	32
4	4	7	11	10	10	13	22	20	20	22	38
5	5	8	13	(11)	12	13	22	-	-	-	-

À queue cône Morse

NF E 66-218 - ISO 1641

D	CM	$h_1$	$h_2$	D	CM	$h_1$	$h_2$	D	CM	$h_1$	$h_2$
6	1	8	13	(14)	2	16	26	32	3	32	53
(7)	1	10	16	16	2	19	32	32	4	32	53
8	1	11	19	(18)	2	19	32	(36)	3	32	53
(9)	1	11	19	20	2	22	38	(36)	4	32	53
10	1	13	22	20	3	22	38	40	4	38	63
(11)	1	13	22	(22)	2	22	38	45	4	38	63
12	1	16	26	(22)	3	22	38	50	4	45	75
12	2	16	26	25	3	26	45	56	4	45	75
(14)	1	16	26	(28)	3	26	45	-	-	-	-

À queue filetée

NF E 66-217 - ISO 1641

D	d	$h_1$	$h_2$	D	d	$h_1$	$h_2$	D	d	$h_1$	$h_2$
2	6	5	-	(9)	10	14	22	(22)	25	25	41
2,5	6	7	11	10	10	14	22	25	25	27	45
3	6	8	11	(11)	12	17	22	(28)	25	30	45
4	6	10	13	(12)	12	19	25	32	32	38	51
5	6	10	16	(14)	12	21	29	(36)	32	40	54
6	6	11	16	16	16	21	32	40	32	46	57
(7)	10	11	16	(18)	16	24	35	(45)	32	51	57
8	10	13	19	20	16	25	38	-	-	-	-

## FRAISES POUR RAINURES À T

NF E 66-229 - ISO 3337

D	d	b	c	$d_1$	a	D	d	b	c	$d_1$	a
11	10	10	3,5	4	5	25	16	23	11	12	14
12,5	10	11	6	5	6	32	16	28	14	15	18
16	10	14	8	7	8	40	25	34	18	19	22
18	12	17	8	8	10	50	32	42	22	25	28
21	12	20	9	10	12	60	32	51	28	30	36

Elle est utilisée après l'exécution d'une rainure de largeur a, à la fraise 3 tailles ou à la fraise 2 tailles.

## FRAISES pour logement de clavettes-disques

NF E 66-234 - ISO 12197

D	a	d	$d_1$	Z	D	a	d	$d_1$	Z
7	1,5	8	3	16	5	-	-	-	-
7	2	8	3	19	4	6	-	-	-
10	2,5	4	6	16	6	-	-	-	-
10	3	4	12,5	19	5	12,5	11	10	10
13	3	12,5	4,5	22	7	-	-	-	-
16	4,5	10	22	8	-	-	-	-	-
13	4	5	25	6	9	-	-	-	-

Éviter l'emploi des valeurs entre parenthèses.

## FRAISES D'ÉBAUCHE

## Denture brise-coopeaux

À queue cylindrique

Denture alternée

D	8	10	12	(14)	16	(18)	20
d	10	10	12	12	16	16	16
h	19	22	26	26	32	32	38
Z	4	4	4	4	4	4	4

À queue cône Morse

Denture alternée

D	h1	h2	Z	CM	D	h1	h2	Z	CM
12	26	53	4	28	45	90	5	3	4
(14)	26	53	4	32	53	106	5	4	4
16	32	63	4	40	63	125	6	4	4
(18)	32	63	4	45	63	125	7	5	5
20	38	75	3	50	75	125	7	5	5
(22)	38	75	3	-	-	-	-	-	-
25	45	90	5	-	-	-	-	-	-

## Entrainement par tenons

Denture alternée

D	40	50	63	80	100	125
d	16	22	27	27	32	40
H	32	36	40	45	50	56
Z	6	7	8	10	12	14

Ces fraises se caractérisent par

un grand débit de copeaux.

Elles sont à profil rond pour les

travaux d'ébauche et à profil

plat pour les travaux de semi-

finition.

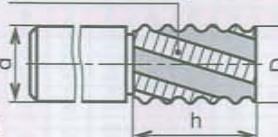
Profil rond

Profil plat

Rainure

brise-coopeaux

## Z dents - 2 tailles



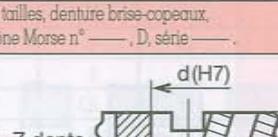
Profil rond ou profil plat

## Cône Morse CM



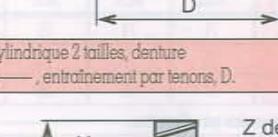
Profil rond ou profil plat

## Z dents - 2 tailles



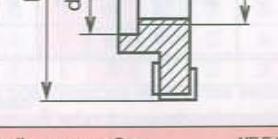
Profil rond ou profil plat

## Z dents 3 tailles à moyeu



Denture alternée

## Train de fraises



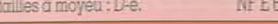
Bague d'espacement

## Z dents 3 tailles



e(k11)

## Denture alternée



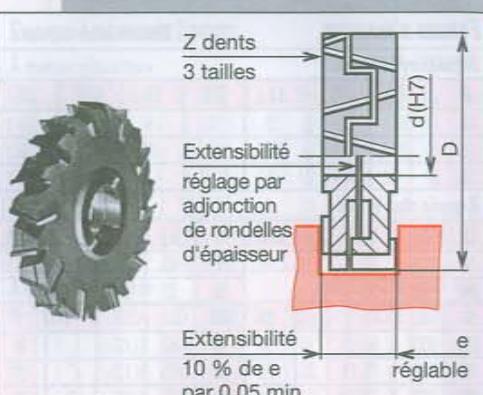
## Denture alternée



\* La lettre A désigne la série courte, ne rien mettre pour la série normale.

## FRAISES EXTENSIBLES 3 tailles denture alternée NF E 66-224 - ISO 2587

D	d	e	Z	D	d	e	Z	D	d	e	Z
80	27	10	18		20	16	125	32	22	16	
		12	16	100	27	22	16		25	16	
		14	16		25	16		16	24		
		16	16		14	20		18	20		
100	27	14	16	125	32	16	18	160	32	20	20
		16	16		16	18			22	20	
		18	16		20	18			25	20	



L'extensibilité de cette fraise est intéressante pour l'exécution de rainures à une cote précise.

Le réglage de l'épaisseur est obtenu en plaçant des rondelles intercalaires entre les 2 parties de la fraise.

## FRAISES CONIQUES

## À queue cylindrique - 1 ou 2 tailles NF E 66-231

D	d	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	Z
16	12	4	6,3	12
20	12	5	8	14
25	16	6,3	10	14
32	16	8	12,5	16

## À trou taraudé et centrage arrière NF E 66-227

D	40	50	63	80	100
d	M12	M12	M16	M20	M24
d <sub>1</sub>	14	14	18	22	26
H	10	13	16	20	25
Z	14	16	18	20	22

## Entrainement par clavettes NF E 66-243

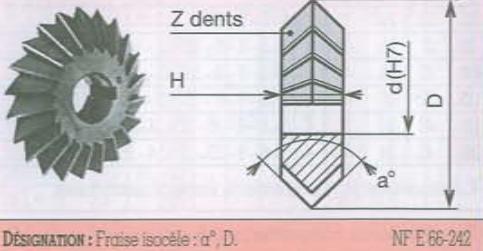
D	d	Z	H	a	D	d	Z	H	a
80	27	20	16	45°					65°
				50°	80	27	20	16	70°
				55°					75°
				60°					80°

Ces fraises sont utilisées notamment pour réaliser des queues d'arondis et tailler des roues à rochet. En principe, ces fraises sont employées après l'exécution d'une rainure rectangulaire d'ébauche.

## FRAISES ISOCÈLES NF E 66-242

D	80	80	80	100	100
d	27	27	27	27	27
H	13	13	13	25	32
a	45°	60°	90°	60°	90°

Ces fraises sont utilisées pour l'exécution de rainures en V, les dégagements d'angles ou de portées.



R	D	d	Z	R	D	d	Z	R	D	d	Z
1	50	16	16	3	63	22	12	10	100	32	12
1,25	50	16	16	4	63	22	12	12	100	32	10
1,6	50	16	16	5	63	22	12	16	125	32	10
2	50	16	14	6	80	27	12	20	125	32	10
2,5	63	22	14	8	80	27	12	-	-	-	-

FRAISES CONVEXES POUR 1/2 CERCLE NF E 66-220 - ISO 3860

R	D	d	Z	R	D	d	Z	R	D	d	Z
1	50	16	14	3	63	22	14	10	100	32	10
1,25	50	16	14	4	63	22	16	12	100	32	12
1,6	50	16	14	5	63	22	16	16	125	32	10
2	50	16	14	6	80	27	14	20	125	32	8
2,5	63	22	14	8	80	27	12	-	-	-	-

FRAISES CONCAVES POUR 1/2 CERCLE NF E 66-219 - ISO 3860

R	D	d	Z	R	D	d	Z	R	D	d	Z
1	50	16	14	3	63	22	14	10	100	32	10
1,25	50	16	14	4	63	22	16	12	100	32	12
1,6	50	16	14	5	63	22	16	16	125	32	10
2	50	16	14	6	80	27	14	20	125	32	8
2,5	63	22	14	8	80	27	12	-	-	-	-

FRAISES CONCAVES POUR 1/4 CERCLE NF E 66-232

Mêmes dimensions que le tableau ci-dessus.

Applications

Pour ces fraises à profil constant, la dépollage est obtenue par « détaillonnage » en spirale. L'affûtage se faisant sur la face de coupe, le profil est conservé.

FRAISES À CHANFREINER

Coniques à queue cylindrique NF E 66-250 - ISO 3294			
D	d	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>
8	1,6	16	12
10	2	18	14
12,5	2,5	20	16

D	d	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	d <sub>1</sub>
16	3,2	24	20	10
20	4	28	24	10
25	7	33	29	10

Coniques à noyer 3 dents

D	d	h	d <sub>1</sub>	D	d	h	d <sub>1</sub>
4,3	1,5	10	4	9,4	2,5	12	6
5,3	1,5	10	5	10,4	2,5	12	6
6,3	1,5	10	6	12,4	3	17	8
7,3	2	12	6	14,4	3,5	20	8
8,3	2	12	6	16,5	4	20	8

Ces fraises permettent des chanfreinages précis ainsi que l'exécution soignée des logements pour têtes de vis à têtes fraîssées.

Les fraises à noyer 3 dents se distinguent par un grand rendement et une coupe particulièrement équilibrée.

## FRAISES À SURFACER

## CoroMill 245

D <sub>c</sub>	D	d	l	z	D <sub>c</sub>	D	d	l	z
50	62,5	22	40	4	100	112,5	32	50	7
63	75,5	22	40	5	125	137,5	40	63	8
80	92,5	27	50	6	160	172,5	40	63	10

## Machines-outils :

Centre d'usinage, petites fraiseuses, machines transfert.

## Matières :

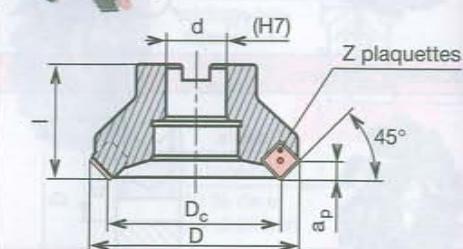
Aciers, aciers inoxydables, fontes, alliages d'aluminium, alliages de cuivre, alliages de titane.

## DÉSIGNATION :

Fraise à surfacer, CoroMill 245, pas réduit, D<sub>c</sub>-d.



Plaquettes de 12 mm  
Profondeur de coupe maximale : a<sub>p</sub> = 6



## FRAISES À SURFACER-DRESSER CoroMill 290

D <sub>c</sub>	d	l	z	D <sub>c</sub>	d	l	z
50	22	40	4	100	32	50	7
63	22	40	5	125	40	63	8
80	27	50	6	160	40	63	12

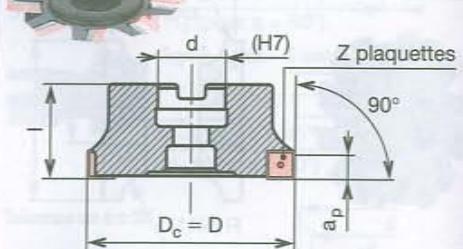
## Machines-outils : tous types.

## Matières : tous types.

Fraise à surfacer-dresser universelle, elle présente l'avantage de donner sur la pièce une pression axiale très faible par rapport à la fraise à surfacer.



Plaquettes de 12 mm  
Profondeur de coupe maximale : a<sub>p</sub> = 10,7



## DÉSIGNATION :

Fraise à surfacer-dresser, CoroMill 290, pas réduit, D<sub>c</sub>-d.

## FRAISES UNIVERSELLES CoroMill 200

## Queue cylindrique Montage sur mandrin

D	D <sub>c</sub>	d	l	z	D	D <sub>c</sub>	d	l	z
32	20	25	35	2	63	47	22	50	4
40	28	32	63	3	80	64	27	50	5
50	38	32	63	4	100	84	32	50	6
-	-	-	-	-	125	109	32	50	6

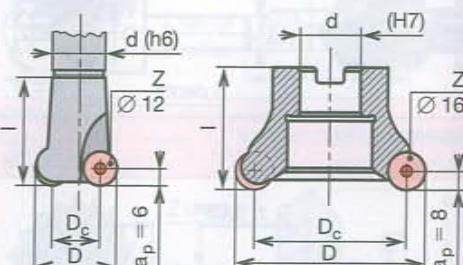
## Machines-outils : tous types.

## Matières : tous types.

Fraise universelle à haute productivité pour le fraisage général. Elle permet un usinage dans toutes les directions.



Z : nombre de plaquettes  
a<sub>p</sub> : profondeur de coupe maximale



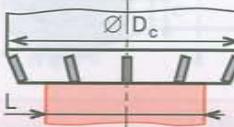
## DÉSIGNATION :

Fraise CoroMill 200, pas réduit, D-d.

## CHOIX DU DIAMÈTRE DE FRAISE

En surface, on prend : D ≈ l,3 L.

Pièces de faible largeur : on déporte la fraise afin de permettre à plusieurs dents de travailler en même temps.



L Déport

D<sub>c</sub>

## FRAISES À RAINURER U-MAX R 215.44

D <sub>c</sub>	d	l	z	a <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	d	l	z	a <sub>p</sub>
12	16	16	1	—	25	25	32	2	—
16	16	20	2	—	32	32	40	3	—
20	20	25	3	9	32	32	40	2	15
20	20	25	2	—	40	32	50	4	—
25	25	32	3	—	40	32	50	3	—

## Machines-outils : tous types.

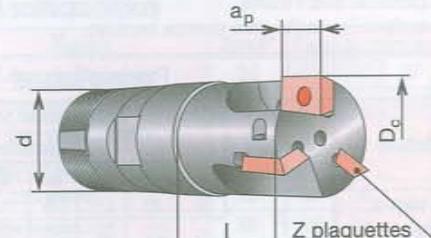
## Matières : tous types.

Ces fraises s'utilisent pour le fraisage latéral et pour l'usinage de rainures débouchantes.

Si la coupe est non continue, prendre le plus grand rayon de bec possible pour une meilleure durée de vie des plaquettes.



a<sub>p</sub> : profondeur de coupe maximale



## DÉSIGNATION :

Fraise à rainurer, U-Max R 215.44, queue cylindrique, D.

## FRAISES À RAINURER À DENT PERÇANTE U-MAX R 216.2

D <sub>c</sub>	d	CM	l	z	a <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	d	CM	l	z	a <sub>p</sub>
12	16	2	20	1	8	25	25	3	39,9	2	15
16	16	2	25	1	10	32	32	3	39,9	2	15
20	20	2	39,7	1	15	40	32	3,4	39,9	2	15

## Machines-outils : tous types.

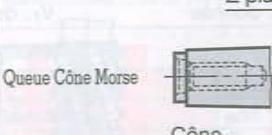
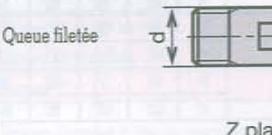
## Matières : tous types.

Les fraises à dent percante sont particulièrement utiles pour l'usinage des rainures non débouchantes et poches ne justifiant pas l'utilisation successive d'un foret et d'une fraise à rainurer.

Les fraises à dent percante sont des outils polyvalents capables de travailler dans toutes les directions pour le perçage et le fraisage.



Z plaquettes



## DÉSIGNATION :

Fraise à rainurer à dent percante, queue \_\_\_\_\_, U-Max R 216.2, D.

## FRAISES DISQUES 3 TAILLES CoroMill N 331.32

D <sub>c</sub>	d	a <sub>t</sub>	z	a <sub>p</sub>	D <sub>c</sub>	d	a <sub>t</sub>	z	a <sub>p</sub>
80	27	19,5	6	7,2-10	125	40	34	10	10-12
			6	10-12				10	12-15
			6	12-15				8	15-17,5
			8	7,9-10				8	17,5-20,5
100	32	25,5	8	10-12	160	40	51,5	12	7,9-10
			8	12-15				12	10-12
			6	15-17,5				12	12-15
			10	7,9-10				10	15-17,5

## Machines-outils : tous types.

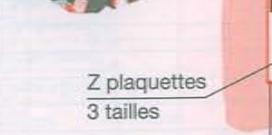
## Matières : tous types.

## DÉSIGNATION :

Fraise disque 3 tailles, CoroMill N 331.32, D<sub>c</sub>-a<sub>p</sub>.



Z plaquettes



## 46.1 FRAISES EN ACIER RAPIDE

Afin d'obtenir un rendement optimal des fraises, il est nécessaire d'adapter la vitesse de coupe et l'avance en fonction de nombreux facteurs, notamment :

- la matière à usiner, sa structure et sa dureté,
- la quantité de métal à enlever,
- la rigidité de l'ensemble : pièce, montage, machines,

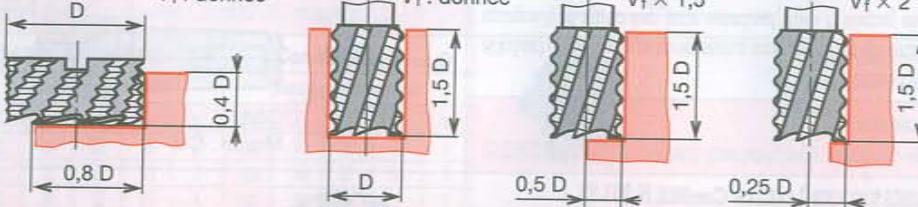
- la puissance et le type de machine,
- la précision et l'état de surface désiré,
- le type et le diamètre de la fraise utilisée,
- la lubrification.

C'est pourquoi les valeurs suivantes ne sont données qu'à titre de première estimation.

### FRAISES D'ÉBAUCHE Denture brise-copeaux

Matière	Vitesse de coupe m/min	V <sub>f</sub> **	Entraînement par tenons						Queue cylindrique ou conique							
			Diamètre						Diamètre							
			40	50	63	80	100	125	10	12	16	20	25	32	40	50
Aciers jusqu'à 600 MPa*	32	V <sub>f</sub>	80	110	125	140	160	180	50	56	63	71	80	90	100	112
		n	250	200	160	125	100	80	1 000	850	630	500	400	315	250	200
Aciers jusqu'à 800 MPa*	28	V <sub>f</sub>	50	63	80	100	125	140	40	45	50	56	63	71	80	90
		n	224	180	140	112	90	71	900	750	560	450	355	280	224	180
Aciers jusqu'à 1 000 MPa*	25	V <sub>f</sub>	40	50	63	80	100	125	32	36	40	45	50	56	63	71
		n	200	160	125	100	80	63	750	630	500	400	315	250	200	160
Aciers jusqu'à 1 200 MPa*	18	V <sub>f</sub>	36	40	50	63	80	100	25	28	32	36	40	45	50	56
		n	140	112	90	71	56	45	560	500	355	280	224	180	140	112
Aciers jusqu'à 1 400 MPa*	12	V <sub>f</sub>	31,5	36	40	50	63	80	20	22	25	28	32	36	40	45
		n	100	80	63	50	40	31,5	400	315	250	200	160	125	100	80
Fonte EN-GJL-200	25	V <sub>f</sub>	63	80	100	125	140	160	40	45	50	56	63	71	80	90
		n	200	160	125	100	80	63	750	630	500	400	315	250	200	160
Fonte EN-GJL-250	16	V <sub>f</sub>	40	50	63	80	100	125	32	36	40	45	50	56	63	71
		n	125	100	80	63	50	40	500	450	315	250	200	160	125	100

Conditions de travail V<sub>f</sub> : donnée



Matière Vitesse de coupe m/min Avance f<sub>z</sub> en mm par dent

Matière	Vitesse de coupe m/min	Avance f <sub>z</sub> en mm par dent						Types de fraises					
		A	B	C	D	E	F						
Fonte EN-GJL-200	20-35	0,25	0,20	0,25	0,10	0,25	0,10	A	1 taille à surfacer				
Fonte EN-GJL-300	10-20	0,15	0,12	0,15	0,06	0,15	0,07	B	2 tailles à queue cylindrique ou conique				
Fonte malléable	20-40	0,15	0,12	0,15	0,06	0,15	0,07	C	2 tailles à trou taraudé ou lisse				
Aciers jusqu'à 600 MPa*	20-40	0,15	0,12	0,15	0,06	0,15	0,07	D	2 tailles à rainurer (2 dents et coniques)				
Aciers de 600 à 1 000 MPa*	20-40	0,15	0,12	0,12	0,08	0,20	0,07	E	3 tailles à denture alternée				
Aciers de 1 000 à 1 200 MPa*	15-30	0,12	0,10	0,10	0,05	0,13	0,05						
Aciers de 1 200 à 1 400 MPa*	12-20	0,10	0,07	0,07	0,04	0,10	0,05						
Aciers inoxydables	8-15	0,07	0,05	0,05	0,04	0,10	0,05						
Laitons et bronzes tendres	30-70	0,20	0,20	0,20	0,08	0,20	0,10						
Laitons et bronzes durs	15-30	0,15	0,12	0,15	0,06	0,15	0,07						
Alliages d'aluminium	60-300	0,35	0,30	0,35	0,08	0,15	0,15						
Aluminium pur et alliages légers tendres	300-600	0,35	0,30	0,35	0,10	0,20	0,15	F	À profil constant				

\* MPa = mégapascal (GPDT 56). \*\* V<sub>f</sub>: avance en millimètres par minute - n : nombre de tours par minute. D'après Astra. 93502-Pantin.

## 46.2 CONDITIONS DE COUPE DES FRAISES EN CARBURE

### Profondeur de passe

Pour avoir la meilleure économie d'outil, choisir la plus grande profondeur de passe possible.

### Avance

L'avance doit être choisie de façon que l'épaisseur moyenne du copeau soit au moins égale à 0,1 mm par dent.

### FRAISES À SURFACER ET À SURFACER-DRESSER

Matière	Dureté*	Vitesse de coupe en m/min	Matière	Dureté*	Vitesse de coupe en m/min
Aciers au carbone non alliés	c < 0,25 %	110	300	200	250
	c < 0,8 %	150	180	120	250
	c < 1,4 %	310	165	110	150
Faiblement alliés	Recuit	225	200	120	200
	Trempé	450	130	75	150
	Hautement alliés	250	170	115	150
Aciers rapides	Recuit	250	160	105	95
	Trempé	350	-	-	70
	Ferr. mart.	270	180	150	200
Inoxydables recuits	Non alliés	150	180	120	140
	Faibl. all.	250	150	100	115
	Haut. all.	200	110	70	80
Aciers moulés	Ferr. mart.	150	-	-	70
	Non alliés	200	110	70	80
	Faibl. all.	250	150	100	115
Inoxydables moulés	Ferr. mart.	150	-	-	70
	Non alliés	200	110	70	80
	Faibl. all.	250	150	100	115
Avance en mm/dent			0,2		
Nuance***			GC-A	GC235	CT350
			SIP		

Valeurs données à titre de première estimation.

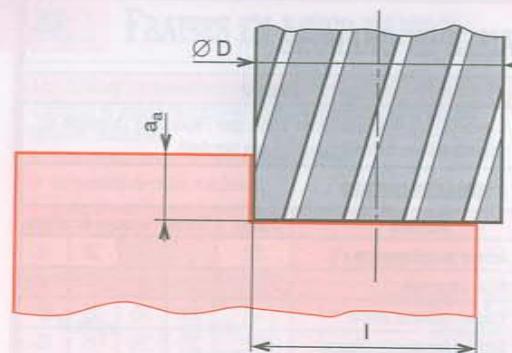
### FRAISES À RAINURER

Matière	Dureté*	Vitesse de coupe** en m/min	Matière	Dureté*	Vitesse de coupe** en m/min
Aciers non alliés	150	200	150	140	120
	225	200	150	140	110
	250	170	120	100	90
Inoxydables	270	190	160	130	100
	150	170	-	110	100
	200	110	70	-	60
Moulés non alliés	150	170	-	110	100
	225	200	150	140	120
	250	170	120	100	90
Avance en mm/dent	0,08			Avance en mm/dent	
	GC-A	GC235	SM30	S6	Nuance***
					GC-A GC320 SM30 H1A Rm

### FRAISES 3 TAILLES

Matière	Dureté*	Vitesse de coupe** en m/min	Matière	Dureté*	Vitesse de coupe** en m/min
Aciers non alliés	150	255	165	250	150
	225	250	165	400	150
	300	225	225	250	135
Inoxydables recuits	220	280	220	400	-
	150	225	150	-	135
	200	170	170	350	105
Moulés non alliés	150	225	150	-	110
	225	225	150	350	105
	300	225	225	400	90
Nuance***	GC-A	GC235	CT350	SM30	Nuance***
					GC-A GC320 SM30 H13A

\* Dureté Brinell maximale (HB max). \*\* V<sub>e</sub> maximale. \*\*\* Sandvik.



Matière	K**	
	Fraisage en bout	Fraisage en roulant
Aciers R ≤ 60 daN/mm²	0,050	0,055
Aciers 60 < R ≤ 110 daN/mm²	0,060	0,070
Aciers R > 110 daN/mm²	0,080	0,110
Aciers inoxydables	0,060	0,070
Fonte EN-GJL-200	0,035	0,040
Fonte EN-GJL-250	0,055	0,065
Laitons et alliages d'aluminium	0,017	0,020
Bronzes	0,035	0,040

#### Application (signification des unités GPDT 56)

Largeur de coupe  $l = 63 \text{ mm}$ .  
 Profondeur de passe  $a_p = 10 \text{ mm}$ .  
 Avance  $f_z = 0,1 \text{ mm/dent}$ .  
 Fraise 2 tailles  $\emptyset D = 100 \text{ mm}$ .  
 Nombre de dents  $Z = 12$ .  
 Vitesse de coupe  $V_c = 32 \text{ m/min}$ .  
 $K = 0,05$ . (Matière C 35)

$\eta_e = 0,8$ .

Puissance en travail

$$P_e = \frac{K \cdot l \cdot a_p \cdot f_z \cdot Z \cdot V_c \cdot 10^3}{\pi D}$$

$$P_e = \frac{0,05 \times 63 \times 10 \times 0,1 \times 12 \times 32 \times 1000}{\pi \times 100} = 3850 \text{ W}$$

Puissance consommée par le moteur :

$$P_{cm} = \frac{P_e}{\eta_e}$$

$$P_{cm} = \frac{3850}{0,8}$$

$$P_{cm} = 4812 \text{ W} = 4,812 \text{ kW}$$

#### 47.1 PUISSEANCE EN TRAVAIL ( $P_e$ )

La puissance nécessaire à la coupe est sensiblement proportionnelle au débit de matière enlevée.

$$P_e \approx K \cdot Q$$

$P_e$  : puissance en travail en watts (W).

$Q$  : débit en  $\text{mm}^3/\text{min}$ .

$K$  : coefficient déterminé expérimentalement.

Suivant les éléments donnés pour le calcul du débit, on a les expressions suivantes :

$$P_e \approx K \cdot l \cdot a_p \cdot f_z \cdot Z \cdot n \quad P_e \approx \frac{K \cdot l \cdot a_p \cdot f_z \cdot Z \cdot V_c \cdot 10^3}{\pi D}$$

$$P_e \approx K \cdot l \cdot a_p \cdot V_f$$

$P_e$  : puissance en travail en watts (W).

$K$  : coefficient (voir tableau).

$l$  : largeur de coupe en mm.

$a_p$  : profondeur de passe en mm.

$f_z$  : avance en mm par dent.

$Z$  : nombre de dents.

$n$  : fréquence de rotation en tr/min.

$V_c$  : vitesse de coupe en m/min.

$D$  : diamètre de la fraise en mm.

$V_f$  : avance en mm/min ( $V_f = f_z \cdot Z \cdot n$ ).

#### 47.2 PUISSANCE CONSOMMÉE PAR LE MOTEUR ( $P_{cm}$ )

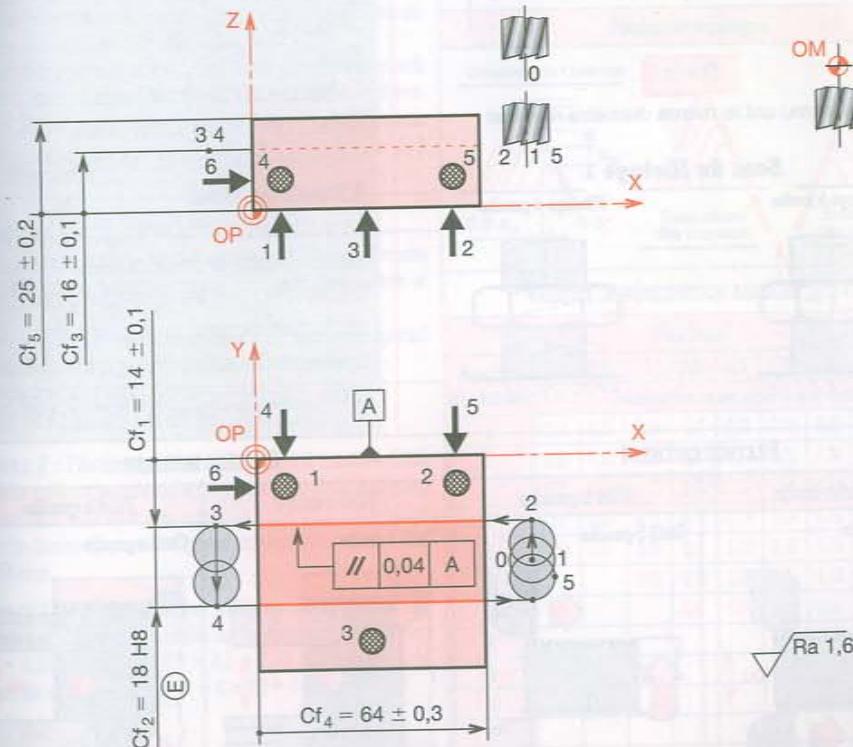
$$P_{cm} = \frac{P_e}{\eta_e}$$

$\eta_e$  : rendement de la machine (de 0,65 à 0,85 environ).

##### REMARQUE

Lorsque la puissance calculée est supérieure à la puissance disponible, on peut réduire la vitesse de coupe et l'avance. Toutefois, afin de conserver une bonne formation du copeau, il vaut mieux abaisser la vitesse de coupe que l'avance. Pour les fraises à plaquettes amovibles, il peut être intéressant d'enlever une plaquette sur deux. Un outil usé consomme environ 25 % de puissance en plus qu'un outil neuf.

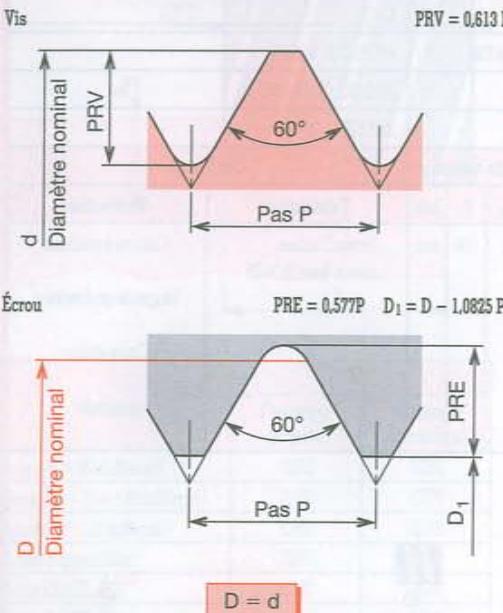
PHASE : 300 S/P <sub>H</sub> : 310		CONTRAT DE PHASE FRAISAGE						NOM : _____			
ENSEMBLE : Monture équatoriale								DATE : _____			
PIÈCE : Butée		MACHINE : Fraiseuse CN NUM 750						N° PROG : % 2008			
MATIÈRE : EN-GJL-200		PORTE-PIÈCE : Étau						N° DOC : FAB - ME II			
NOMBRE : 50		BRUT : Phase 100						ATELIER : UF I			
Opérations d'usinage		Éléments de coupe		Éléments de passe		Outilage					
N°	Rep.	Désignation	$V_c$	$f_z$	$n$	$a_p$	$n_p$	$V_f$	Lub	Fabrication	Vérification
312	T3	Reinforcer ① Suivant OZ $Cf_3 = 16 \pm 0,1$ Suivant OY $Cf_1 = 14 \pm 0,1$ $Cf_2 = 18 \text{ HB } \textcircled{E}$ État de surface $Ra 1,6$	25	0,05	500	0,5	1	100	non	Fraise 2 tailles queue lisse 16 × 16	Calibre à coulisse Jauge de profondeur Cales étalon



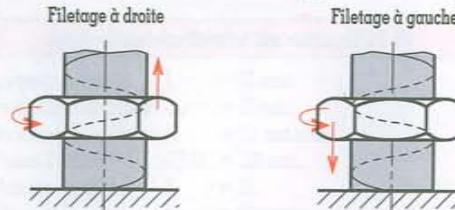
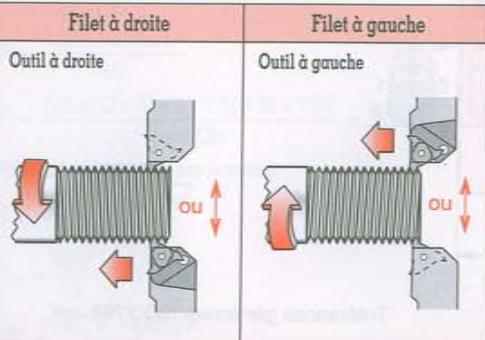
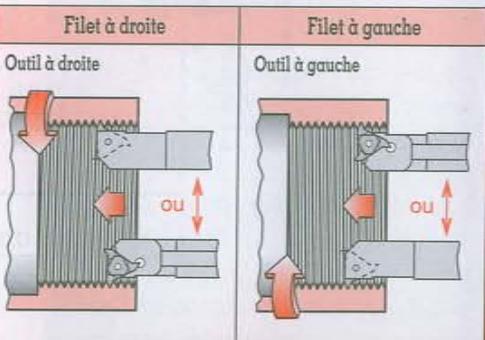
Tolérances générales ISO 2768-mK.

\* Prononcer « éta indice e ».

\*\* Valeurs données à titre de première estimation.

**Profil métrique ISO**

\* La vis et l'écrou ont le même diamètre nominal

**Sens du filetage****FILETAGE EXTÉRIEUR****FILETAGE INTÉRIEUR**

\* Voir aussi GPDT chapitre 31 (§ 31.3).

**49.1 GÉNÉRALITÉS**

Un filetage est une surface hélicoïdale obtenue par la combinaison d'un mouvement d'avance et d'un mouvement de rotation. Il est caractérisé par le diamètre nominal, la forme, le pas et le sens.

**DIAMÈTRE NOMINAL**

C'est un diamètre théorique, non affecté de tolérance, utilisé pour la désignation. Le diamètre usiné correspondant est affecté d'une tolérance.

**FORME**

Elle est donnée par l'outil (profil triangulaire ISO, trapézoïdal, rond, carré, gaz, etc.)

**PAS**

Il est défini comme étant la distance comprise entre deux sommets consécutifs. Pour la fabrication, cela correspond à l'avance de l'outil pour un tour de broche.

**SENS**

Le filetage est dit « à droite » si le sens d'enroulement de l'hélice est à droite ; il est dit à « gauche » si le sens de l'hélice est à gauche.

**MÉTHODE DE TRAVAIL**

La méthode de travail est fonction notamment du sens de filetage et des possibilités de la machine utilisée. Pour que les porte-plaquettes assurent un support maximal de la plaquette, choisir de préférence des outils à droite pour les filets à droite et des outils à gauche pour des filets à gauche.

**49.2 MODES DE PÉNÉTRATION****49.2.1 CHOIX DU MODE DE PÉNÉTRATION**

La réalisation d'un filetage peut se faire selon trois modes de pénétration : radiale, oblique, ou incrémentale.

Le choix entre ces trois méthodes dépend de la machine utilisée, de la matière à usiner, de la géométrie de la plaquette et du pas du fillet.

**PÉNÉTRATION RADIALE**

C'est la méthode la plus courante et la seule possible sur de nombreuses machines-outils. Elle engendre une formation de copeaux sans à-coups.

Elle convient pour des pas fins mais risque d'entraîner des vibrations pour les grands pas. Elle convient parfaitement pour le filetage de matières écrouissables.

Voir le tableau des valeurs de pénétration radiale par passe.

**PÉNÉTRATION OBLIQUE**

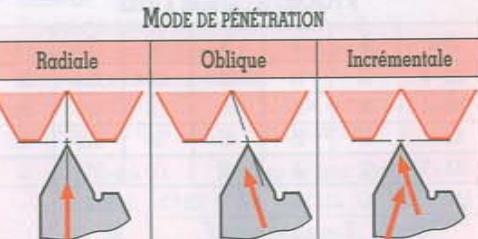
Cette méthode assure un très bon contrôle des copeaux lesquels peuvent être évacués d'un côté ou de l'autre.

Elle convient particulièrement pour l'usinage de filets à grands pas et pour le filetage intérieur en cas de problèmes d'évacuation des copeaux ou de vibrations. Pour éviter un mauvais état de surface l'angle de pénétration doit être inférieur de 3 à 5° à l'angle du filet.

**PÉNÉTRATION INCRÉMENTALE**

Principalement utilisée pour l'usinage de filets de grande dimension, cette méthode assure une usure homogène et une longue durée de vie des plaquettes.

Cette méthode de pénétration requiert un programme spécial de filetage sur les machines à commande numérique.

**49.2.2 VALEURS DE PÉNÉTRATION****VALEURS DE PÉNÉTRATION RADIALE\* (PRV)**

Nombre de passes	Pénétration radiale par passe (mm)								
	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3
1	0,11	0,17	0,19	0,2	0,22	0,22	0,25	0,27	0,28
2	0,09	0,15	0,16	0,17	0,21	0,21	0,24	0,24	0,26
3	0,07	0,11	0,13	0,14	0,17	0,17	0,18	0,20	0,21
4	0,07	0,07	0,11	0,11	0,14	0,14	0,16	0,17	0,18
5	0,34	0,5	0,08	0,1	0,12	0,12	0,14	0,15	0,16
6			0,67	0,08	0,08	0,1	0,12	0,13	0,14
7				0,8	0,94	0,1	0,11	0,12	0,13
8					0,08	0,08	0,11	0,12	0,13
9						1,14	1,28	0,11	0,12
10							0,08	0,11	
11								1,58	0,1
12									0,08

\* Profil à 60° métrique extérieur.

\*\* Formule valable pour les pas  $\geq 1,5$ .

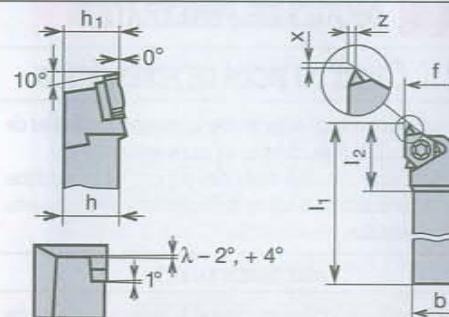
## 49.23 OUTILS À FILETER D'EXTÉRIEUR ET D'INTÉRIEUR

### Outils à fileter extérieurement à plaque carbure à jeter\*

Pas	$\Delta$	h	b	$l_1$	$l_2$	f
0,5 - 3	16	16	16	100	21,4	20
0,5 - 3	16	20	16	125	21,6	20,5
0,5 - 3	16	25	25	150	21,6	20,5
3,5 - 6	22	25	25	150	28,6	32

## EMPLOI:

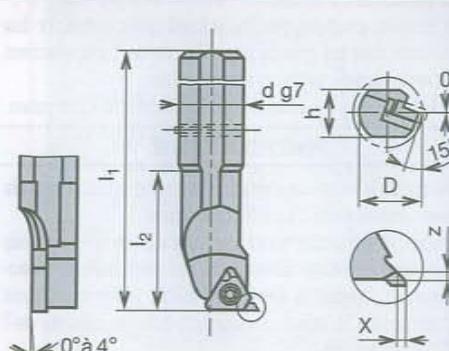
Filetage extérieur à droite ou à gauche sur machines à commande numérique.



### Outils à fileter intérieurement

#### Porte-outils à fileter intérieurement à pastille à jeter en carbure T-MAX U-LOCK\*

Pas	$\Delta$	d	h	$l_1$	$l_2$	f	D min	D*mod
0,75 à 3	16	16	15	200	30,5	12	20	15,5
		20	18	250	35	14	25	-
		25	23	300	36,5	17	32	-
3,5 à 6	22	20	18	250	36,5	15	25	21,5
		25	23	300	39	19	32	-



## 49.3 FILETAGE - CONDITIONS DE COUPE

Les conditions de coupe varient en fonction de nombreux paramètres liés à la machine, à la pièce et à l'outil.

Le tableau ci-dessous permet de choisir la vitesse de coupe  $V_c$  en fonction des caractéristiques du matériau usiné et de la nuance de carbure de l'outil.

## EXEMPLE

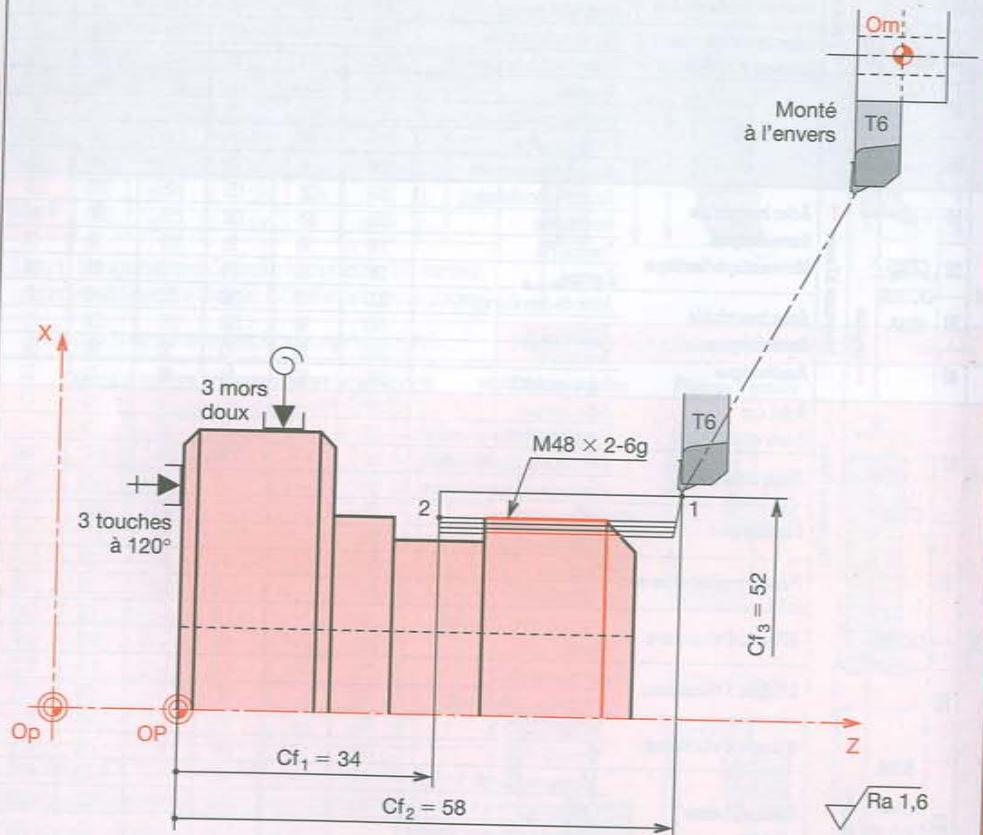
Soit à fileter une pièce en acier non allié C 35 (% de carbone = 0,35) avec un outil carbure. L'intersection des deux entrées : Acier non allié ( $C = 0,25 - 0,55\%$ ) et de la nuance à choisir en priorité GC 1020\*\* donne  $V_c = 155 \text{ m/min}$ .

Code ISO	Nuance Sandvick	Matière	Dureté	Nuances de base Sandvik						
			Brinell HB	CT 525	S10	GC 225	GC 1020	H13A		
P	CT525	Acier non allié	Résistance à l'usure ↑	C = 0,1-0,25 %	125	185	220	265	185	160
				C = 0,25-0,55 %	150	155	175	220	155	130
				C = 0,55-0,80 %	170	145	160	205	145	125
	GC1020	Acier faiblement allié (éléments d'alliage = 5 %)	Ténacité ↓	Recuit	180	125	135	175	125	110
				Trempé et revenu	275	95	105	135	95	80
				Acier fortement allié (éléments d'alliage > 5 %)	350	75	85	110	75	65
	GC525	Acier à outils trempé	Résistance à l'usure ↑	Recuit, acier rapide	200	110	120	155	110	95
				Acier à outils trempé	325	80	85	115	80	70
				Non allié	180	200	175	280	200	170
	S30	Acier coulé	Ténacité ↓	Faiblement allié	200	110	115	155	110	95
				Fortement allié	225	100	105	145	110	85
				Acier au manganèse	250	-	45	55	35	35
M	CT525	Acier inoxydable Barres/forgées Martensitique/ferritique	Résistance à l'usure ↑	Acier de décolletage	200	135	155	195	170	115
				Non trempé	200	105	120	150	130	90
				Trempé PH	330	90	95	120	90	70
	GC1020	Acier inoxydable Barres/forgées Austénitique	Ténacité ↓	Trempé	330	85	75	110	85	65
				Acier de décolletage	200	110	120	155	140	95
				Austénitique	180	90	100	125	130	75
	H13A	Austénitique Super austénitique	Résistance à l'usure ↑	Trempé PH	330	70	75	95	80	60
				Super austénitique	200	60	65	85	70	50
				Acier dur	59 HRC	-	65	75	45	45
K	CT525	Fonte en coquille Fonte malléable	Résistance à l'usure ↑	Forgeé ou forgée et vieilli	400	-	25	20	15	-
				Ferritique (à copeaux courts)	130	-	145	190	135	95
				Perlitique (à copeaux longs)	230	-	105	140	100	70
	GC1020	Fontes grises	Ténacité ↓	Faible résistance	180	-	150	170	130	85
				Forte résistance	260	-	125	155	110	80
				Ferritique	160	-	145	180	125	110
	H13A	Alliages d'aluminium Alliages d'aluminium Alliages d'aluminium	Résistance à l'usure ↑	Perlitique	250	-	95	120	90	50
				Travaillé à froid, non vieilli	60	-	1400	-	1400	500
				Vieilli	100	-	490	-	490	450
L	GC1020	Alliages d'aluminium	Ténacité ↓	Forgé, non vieilli	75	-	455	-	455	425
				Forgé ou forgé et vieilli	90	-	280	-	280	250
				Moulé Si 13-15 %	130	-	245	-	245	210
	H13A	Alliages bronze et laiton	Résistance à l'usure ↑	Moulé Si 16-22 %	130	-	245	-	245	210
				Alliages cuivre et plomb, $\Delta 1\% Pb$	110	-	420	-	420	370
				Laiton rouge $\approx 1\% Pb$	90	-	245	-	245	210
G	Rush	Désignation : Outil à fileter intérieurement D... Rush	Ténacité ↓	Bronze et cuivre sans plomb y compris cuivre électrolytique	100	-	175	-	175	150

\* Il faut réduire les conditions de coupe lorsque le pas et le rayon de bec sont petits.

\*\* La nuance GC 1020 est une nuance polyvalente qui convient à la fois aux 3 nuances P, M, K.

PHASE : 200	SPH : 20	CONTRAT DE PHASE					NOM : _____			
ENSEMBLE : Monture équatoriale		TOURNAGE					DATE : _____			
PIÈCE : Support G		MACHINE : Tour CN NUM 750					N° PROG : % 2005			
MATIÈRE : C 35		PORTE-PIÈCE : Madrin mors doux					N° DOC : FAB - ME I2			
NOMBRE : 50		BRUT : Phase 110					ATELIER : UF I			
Opérations d'usinage			Éléments de coupe		Éléments de passe		Outilage			
N°	Rep.	Désignation	V <sub>c</sub>	f	n	a <sub>p</sub>	n <sub>p</sub>	Lub	Fabrication	Vérification
224	T6	Fileter Cf <sub>1</sub> = 34 Cf <sub>2</sub> = 58 Cf <sub>3</sub> = 52	125	2	800	-	-	oui	Porte-plaque R 166-4 FG 1616-16 Plaque R 116-0G16 MM01-200 GC I020	Bague filetée M 48 x 2-6g



Tolérances générales ISO 2768-mK.

## TARAUDS 51.1

## DESCRIPTION (fig. 1)

Les tarauds comportent trois parties principales ; (1) entrée ; (2) guidage ; (3) queue. Les tarauds coupent avec les arêtes formées par l'intersection du cône d'entrée avec les goujures.

## DÉFAUTS D'USINAGE

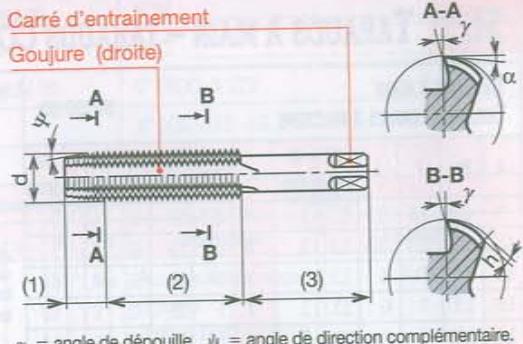
Causes possibles : vitesse de coupe, angle d'affûtage, lubrifiant, dureté du matériau, variation de dureté d'une pièce à une autre.

## TARAUDAGE HORS TOLÉRANCE

Causes possibles : défaut d'alignement du taraud, faux rond du taraud, affûtage.

## PERÇAGE DE L'AVANT TROU

Ø perçage = Ø nominal - Pas.



## CHOIX DU TYPE DE TARAUDS\*

Taraudages	Tarauds	Caractéristiques
Débouchants	Goujures droites	Entrée hélicoïdale « Gun »
	Goujures hélicoïdales à gauche	Hélice à gauche, entrée normale
Borgnes	Filets alternés, entrée hélicoïdale « Gun »	Filets alternés, entrée hélicoïdale « Gun »
	Hélice à gauche, queue allongée	Hélice à gauche, queue allongée
	Entrée « Gun », queue allongée	Entrée « Gun », queue allongée
	Coupe droite	Coupe droite
	Tarauds à hélice à droite et entrée normale	Tarauds à hélice à droite et entrée normale
	Tarauds à hélice à droite à 45°	Tarauds à filets alternés, coupe droite
	Tarauds à filets alternés, coupe droite	Tarauds à hélice à droite, queue allongée

## CONDITIONS D'UTILISATION DES TARAUDS\*

Matière (R <sub>r</sub> en MPa**)	Angle de coupe γ	Angle de débouille α	Vitesse de coupe (m/min)	Lubrifiants
Aciers R <sub>r</sub> < 500	15°	10°	15 à 18	Huile de coupe - Émulsion
Aciers 500 < R <sub>r</sub> < 700	12°	10°	12 à 15	Huile de coupe - Émulsion
Aciers 700 < R <sub>r</sub> < 900	10°	8°	6 à 10	Huile de coupe soufrée - Émulsion
Aciers R <sub>r</sub> > 900	8°	6°	3 à 6	Huile de coupe soufrée - Émulsion
Aciers inoxydables	11°	8°	2 à 6	Huile de coupe soufrée - Émulsion
Fonte tendre	3°	4°	10 à 12	Pétrole - À sec - Air comprimé
Fonte alliée (dure)	4°	4°	3 à 6	Huile de coupe - À sec - Air comprimé
Fonte malléable	10°	6°	10 à 15	Huile de coupe - Air comprimé
Laiton	5 à 10°	10°	12 à 25	Huile de coupe soufrée - À sec
Bronze dur	4°	10°	6 à 10	Huile de coupe - Émulsion
Cuivre rouge	15° à 20°	10°	20 à 25	Huile de coupe
Cuivre électrolytique	9°	10°	8 à 12	Huile de coupe
Zinc	13°	10°	10 à 15	Huile de coupe - Émulsion
Aluminium	19°	9°	15 à 25	Émulsion - Pétrole
Matières plastiques tendres	13°	10°	8 à 10	À sec - Air comprimé
Matières plastiques dures (Bakélite)	3° à 6°	10°	3 à 5	À sec - Air comprimé

\* D'après Astra. 93502 - Panfin. \*\*MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>.

## 51.2 TARAUDS À MAIN - TARAUDS COURTS À MACHINE\*

### TARAUDS À MAIN TARAUDS COURTS À MACHINE NF ISO 529

d	Pas	I	L	$\varnothing$ queue	S/ plats	d	Pas	I	L	$\varnothing$ queue	S/ plats
1	0,25	5,5	38,5	2,5	2	6	0,75	19	66	6,3	5
1,2	0,25	5,5	38,5	2,5	2	6	1	19	66	6,3	5
1,4	0,30	7	40	2,5	2	7	1	19	66	7,1	5,6
1,5	0,30	7	41	2,5	2	8	1	22	72	8	6,3
1,6	0,30	7	41	2,5	2	8	1,25	22	72	8	6,3
1,6	0,35	7	41	2,5	2	10	1	24	80	10	8
1,8	0,35	7	41	2,5	2	10	1,5	24	80	10	8
1,8	0,40	7	41	2,5	2	12	1,5	29	89	9	7,1
2	0,40	8	41	2,5	2	12	1,75	29	89	9	7,1
2	0,45	8	41	2,5	2	14	1,25	30	95	11,2	9
2,2	0,45	9,5	44,5	2,8	2,24	14	1,5	30	95	11,2	9
2,5	0,45	9,5	44,5	2,8	2,24	14	2	30	95	11,2	9
2,5	0,50	9,5	44,5	2,8	2,24	16	1,5	32	102	12,5	10
3	0,50	11	48	3,15	2,5	16	2	32	102	12,5	10
3,5	0,60	13	50	3,55	2,8	18	1,5	37	112	14	11,2
4	0,70	13	53	4	3,15	18	2,5	37	112	14	11,2
5	0,80	16	58	5	4	20	1,5	37	112	14	11,2
5	1	16	58	5	4	20	2,5	37	112	14	11,2

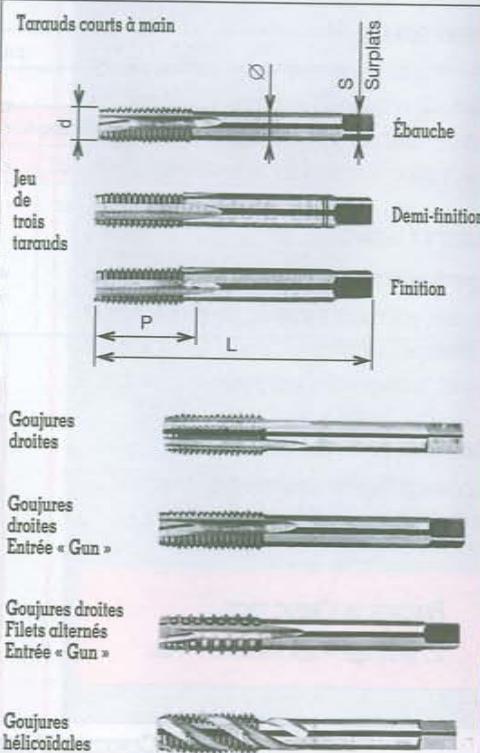
EMPLOI : taraudage sur machines.

Pour le choix du type de goujures et de l'entrée, voir § 51.1.

## 51.3 TARAUDS POLYGON\*\*

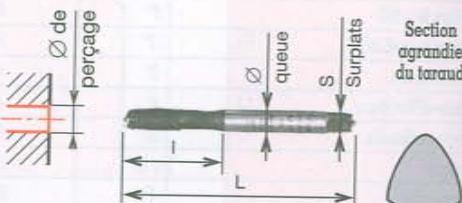
d	Pas	I	L	$\varnothing$ queue	S/ plats	$\varnothing$ perçage
2	0,4	14	40	3	2,3	1,8
2,5	0,45	16	44	3	2,3	2,3
3	0,5	18	48	3	2,3	2,75
3	0,6	18	48	3	2,3	2,70
4	0,7	20	52	4	3	3,70
5	0,8	22	56	5	4	4,60
6	1	24	60	6	4,5	5,40
8	1,25	26	66	8	6	7,30
10	1,5	30	72	7,6	6	9,20
12	1,75	33	80	9	7	11,20

EMPLOI : ce taraud refoule le métal, il n'y a pas de copeaux. Il autorise des vitesses de coupe élevées.



DÉSIGNATION

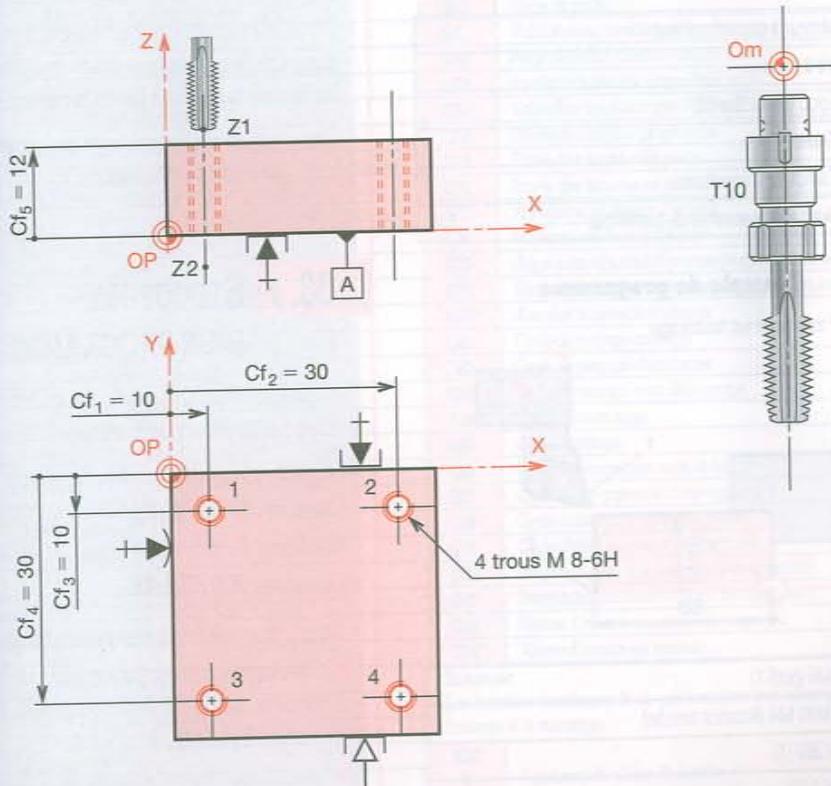
- Jeu de 3 tarauds à main M 6 - pas I, NFE 66-103.
- Taraud court à machine, goujure M 6 x 1, NFE 66-103.



Le diamètre de perçage est différent du diamètre de perçage des tarauds ordinaires.

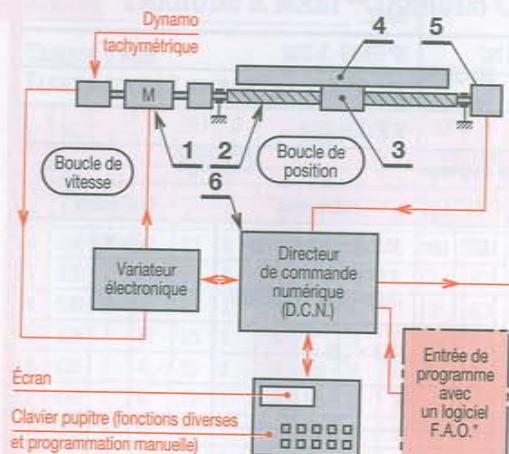
Il est employé pour les métaux ductiles tels que le laiton, le cuivre, l'aluminium, le zamoc, le zinc, le fer pur, les aciers doux et alliés recuits.

PHASE : 200 S/PH : 210		CONTRAT DE PHASE FRAISAGE						NOM : _____				
ENSEMBLE : Monture équatoriale		MACHINE : Fraiseuse CN NUM 750						DATE : _____				
PIÈCE : Entretise		N° PROG : % 2020						N° DOC : FAB-ME 13				
MATIÈRE : EN GJL 200		BRUT : Phase 100						ATELIER : UF 1				
NOMBRE : 100		Opérations d'usinage						Outilage				
N° Rep.		Désignation		V <sub>c</sub>	t <sub>x</sub>	n	a <sub>p</sub>	n <sub>p</sub>	V <sub>f</sub>	Lub	Fabrication	Vérification
215	T10	Tarauder ① ② ③ ④ Cl <sub>1</sub> = 10 Cl <sub>2</sub> = 30 Cl <sub>3</sub> = 10 Cl <sub>4</sub> = 30 Cl <sub>5</sub> = 12		10	-	400	-	-	500*	non	Mandrin de taraudage à pinces. Taraud court à machine goujure droite M 8 x 1,25	Vis M 8



Tolérances générales ISO 2768-mK.

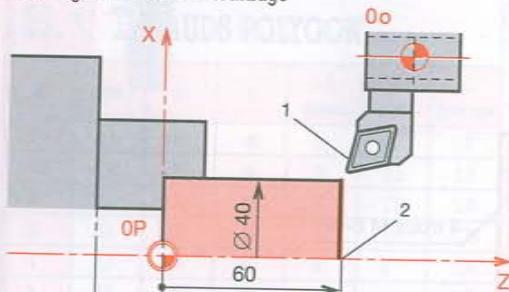
### Schéma de principe d'un tour CN



1	Moteur à courant continu
2	Vis à billes
3	Écrou (lié au chariot)
4	Chariot
5	Compteur d'impulsions
6	Directeur de commande numérique

### Exemple de programme

Dressage d'une face en tournage



N40 T1 D1 M6 (outil 1)

N50 S1500 M40 M4 (Rotation broche)

N60 G0 X42 Z60 (1)

N70 G1 X0 F.1 (2)

N80 G0 M5 G52 X Z

Une machine est commandée numériquement lorsque les déplacements des organes mobiles sont effectués à partir d'instructions numériques codées dont l'ensemble forme un programme.

### 53.1 PRINCIPE GÉNÉRAL

Le moteur à courant continu 1 entraîne sans jeu la vis à billes 2 dont l'écrou 3 est lié au chariot 4.

À l'extrémité de la vis, un compteur d'impulsions 5 vérifie constamment la position exacte du chariot 4 en additionnant le nombre de fractions, très petites, des tours de vis.

Cette information transmise au directeur de commande numérique 6 est comparée avec les positions prévues par le programme.

Cette action de contrôle et d'ajustement est appelée « boucle de position ».

### 53.2 STRUCTURE D'UN PROGRAMME

Un programme comporte toutes les informations utiles à la machine pour réaliser l'usinage.

Un programme est formé de lignes ou blocs.

Exemple : N70 G1 X0 F.1

Une ligne est formée de mots.

Exemples : N70 ; G1 ; X0...

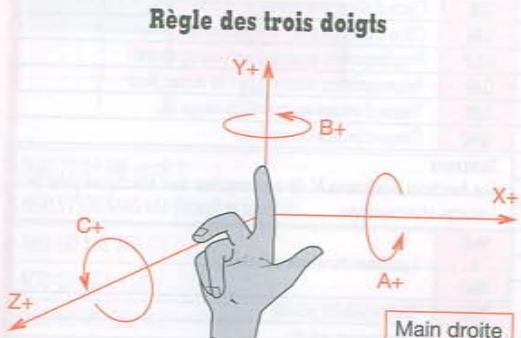
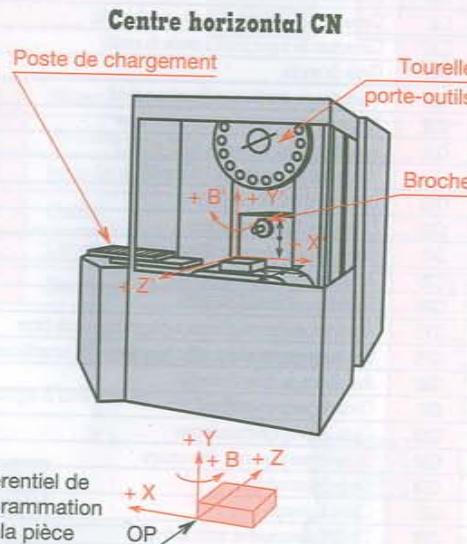
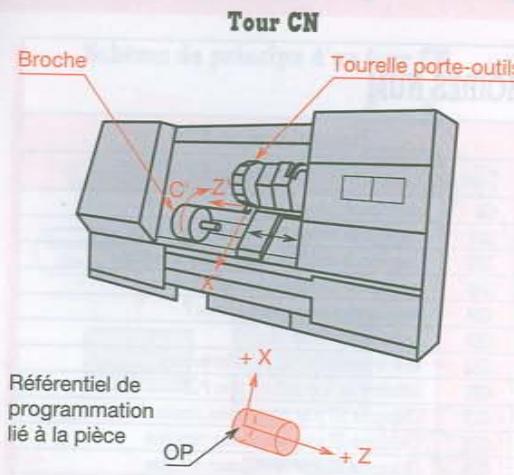
Un programme comporte principalement :

- des fonctions préparatoires (G), des fonctions d'appel de mode d'interpolation (G0, G01) ou de cycles (G84, G81...);
- des coordonnées de points (X, Y, Z, I, K);
- des fonctions de vitesses, d'avances (S, F...);
- des fonctions auxiliaires (M...).

\*F.A.O. : fabrication assistée par ordinateur.

### 53.3 FONCTIONS G ET M POUR ARMOIRES NUM

Tournage (Armoires NUM)		Fraisage (Armoires NUM)	
Code	Désignation	Code	Désignation
G0	Interpolation linéaire en rapide	G0	Interpolation linéaire en rapide
G01*	Interpolation linéaire à la vitesse programmée	G01*	Interpolation linéaire à la vitesse programmée
G02	Interpolation circulaire sens anti-trigonométrique	G02	Interpolation circulaire sens anti-trigonométrique
G03	Interpolation circulaire sens trigonométrique	G03	Interpolation circulaire sens trigonométrique
G04	Temporisation programmable avec F	G04	Temporisation programmable avec F
G09	Arrêt précis en fin de bloc	G09	Arrêt précis en fin de bloc
G33	Cycle de filetage à pas constant	G10	Arrêt d'usinage (signal butée fin de bloc)
G38	Filetage enchainé sur cône	G16	Définition de l'axe de l'outil avec PQR
G40*	Annulation de la correction de rayon	G17*	Choix plan XY pour interpolation circulaire
G41	Correction de rayon d'outil à gauche du profil	G18	Choix plan ZX pour interpolation circulaire
G42	Correction de rayon d'outil à droite du profil	G19	Choix plan YZ pour interpolation circulaire
G52	Programmation absolue (origine mesure)	G40*	Annulation de la correction de rayon
G53	Suspension du zéro programme / au zéro machine	G41	Correction de rayon (outil à gauche du profil)
G54	Validation du zéro programme / au zéro machine	G42	Correction de rayon (outil à droite du profil)
G59	Décalage d'origine programme	G45	Cycle de poche
G64	Cycle d'ébauche paraxial	G51	Validation ou invalidation (fonction miroir)
G65	Cycle d'ébauche de gorge	G52	Programmation absolue (origine mesure)
G66	Cycle de défonçage	G53	Invalidation des décalages PRÉF et DEC1
G70	Entrée des données en pouce	G54	Validation des décalages PRÉF et DEC1
G71*	Entrée des données en métrique	G59	Décalage d'origine programme
G75	Validation d'un sous-programme de dégagement d'urgence	G70	Entrée des données en pouce
G77	Appel inconditionnel d'un sous-programme ou de blocs	G71	Entrée des données en millimètre
G79	Saut à une séquence sans retour (conditionnel ou inconditionnel)	G73	Annulation du facteur d'échelle
G80	Annulation de cycle d'usinage	G74	Validation du facteur d'échelle
G83	Cycle de déburrage	G77	Appel inconditionnel d'un sous-programme ou de blocs
G87	Cycle de perçage avec brise-coapeux	G79	Saut à une séquence sans retour (conditionnel ou inconditionnel)
G90*	Programmation absolue / à l'origine programme	G80*	Annulation de cycle d'usinage
G91	Programmation relative / au point de départ du bloc	G81	Cycle de perçage-centrage
G92**	Limitation de la vitesse de broche (avec S)	G82	Cycle de perçage-chambrage
G92	Présélection de l'origine programme (avec X ou Z)	G83	Cycle de perçage avec déburrage
G94*	Vitesse d'avance exprimée en mm/min	G84	Cycle de taraudage
G95	Vitesse d'avance exprimée en mm/tr	G85	Cycle d'alésage
G96	Vitesse de coupe constante	G86	Cycle d'alésage avec arrêt de broche
G97	Révocation de la vitesse de coupe constante	G87	Cycle de perçage avec brise-coapeux
M00	Arrêt programmé	G88	Cycle d'alésage et dressage de face
M01	Arrêt optionnel	G89	Cycle d'alésage avec arrêt temporaire
M02	Fin de programme de la pièce	G90*	Programmation absolue (origine programme)
M03	Rotation broche sens anti-trigonométrique	G91	Programmation relative (point de départ bloc)
M04	Rotation broche sens trigonométrique	G93	Vitesse d'avance en inverse du temps VL
M05	Arrêt broche	G94*	Vitesse d'avance en mm/min
M06	Changement d'outil	<b>REMARQUE</b>	
M07	Arrosage n°2	Les fonctions auxiliaires M de ces armoires sont identiques pour le fraisage et le tournage.	
M08	Arrosage n°1		
M09	Arrêt des arrosages		
M19	Indexation broche		
M40 à M42	3 gammes de broche		
* Fonctions initialisées à la mise sous-tension.		** Fonctions communes pour NUM 720 à 1040T et F.	



## 53.4 AXES NORMALISÉS NF Z 68-020

### 53.4.1 RÉFÉRENTIEL

Le référentiel est lié à la pièce placée sur la machine. Il est désigné par les lettres **X**, **Y**, **Z** non munies du signe (''). Les axes sont parallèles aux glissières de la machine.

**Le sens positif du mouvement d'un chariot de la machine est celui qui provoque une augmentation sur la pièce de la dimension correspondante.**

Sur la machine, les axes sont désignés par des lettres munies du signe ('') lorsqu'il y a déplacement de la pièce (outil fixe). Le sens positif de ce mouvement est opposé à celui désigné par la lettre munie du signe (''). Le choix de l'origine O du référentiel est arbitraire.

### 53.4.2 AXE Z

C'est l'axe de la broche, que celle-ci fasse tourner l'outil ou la pièce.

#### REMARQUE

Pour les machines possédant plusieurs broches, l'une d'elles est choisie comme broche principale.

### 53.4.3 AXE X

C'est un axe correspondant à un mouvement de la machine. Il est perpendiculaire à l'axe Z.

### 53.4.4 AXE Y

C'est un axe qui forme, avec les axes X et Z, un trièdre de sens direct (voir figure ci-contre).

### 53.4.5 MOUVEMENTS DE ROTATION

Les symboles **A**, **B**, **C** désignent les mouvements de rotation effectués respectivement autour d'axes parallèles à **X**, **Y** et **Z**.

\* Lire « Prime ».

## 53.5 MODE ABSOLU G90 | 53.5 MODE RELATIF G91

Le système d'axes de coordonnées de la pièce est défini par les axes OX, OY, OZ, formant un trièdre direct.

Un déplacement de l'outil peut être programmé :

- soit en absolu G90,
- soit en relatif G91.

En programmation absolue G90, la cote est réalisée par rapport à l'origine programme.

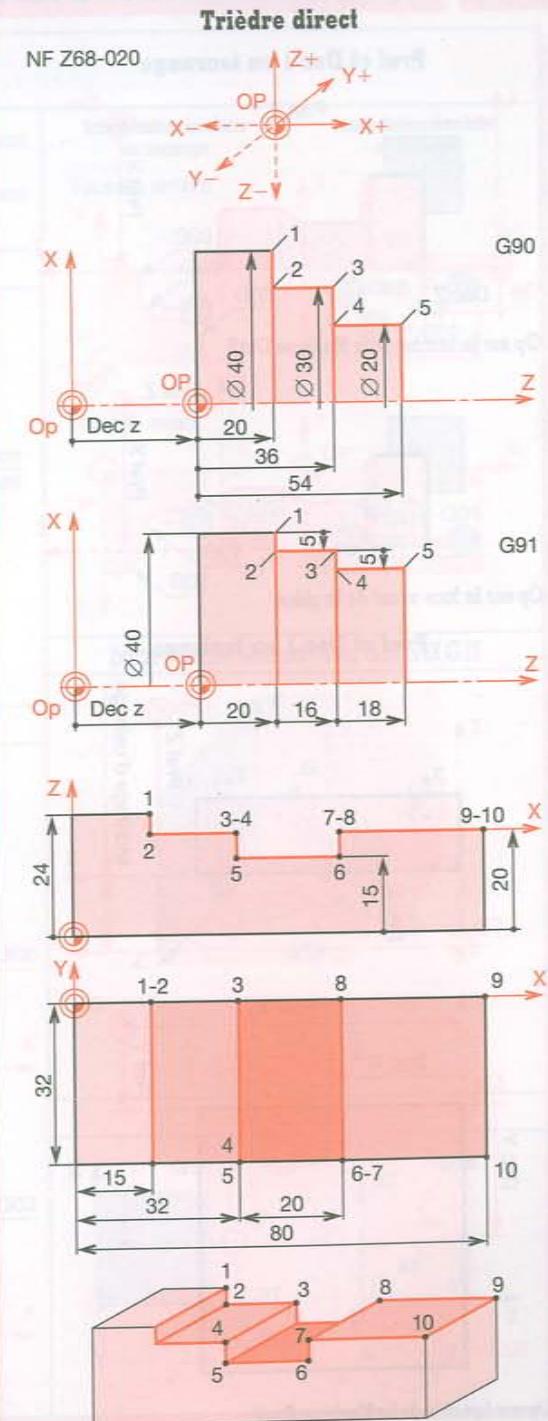
En programmation relative G91, la cote est réalisée par rapport à la position précédente.

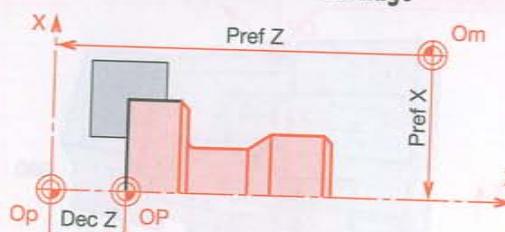
#### EXEMPLE DE TOURNAGE

Rep	G90	Rep	G91
1	G90 X40 Z20	1	G90 X40 Z20
2	X30	2	G91 X-5 Z0
3	Z36	3	X0 Z16
4	X20	4	X-5 Z0
5	Z54	5	X0 Z18

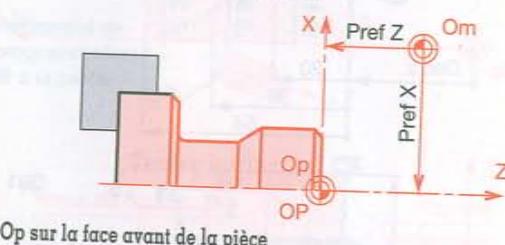
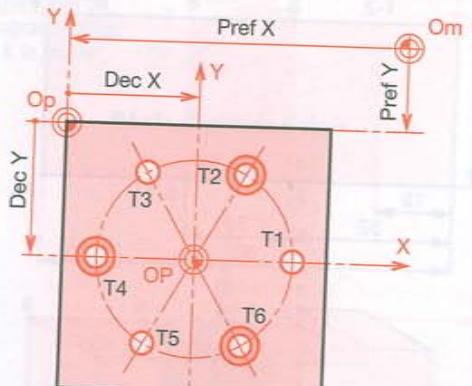
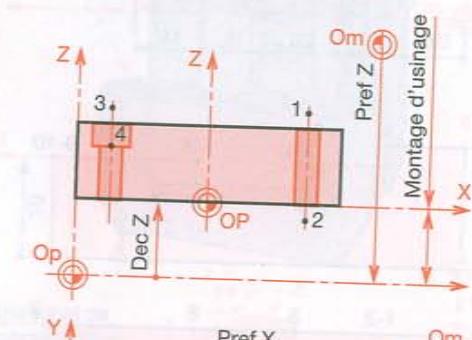
#### EXEMPLE DE FRAISAGE

Rep	G90	Rep	G91
1	G90 X15 Y0 Z24	1	G90 X15 Y0 Z24
2	Z20	2	G91 Y0 X0 Z-4
3	X32	3	X17 Y0 Z0
4	Y-32	4	X0 Y-32 Z0
5	Z15	5	X0 Y0 Z-5
6	X52	6	X20 Y0 Z0
7	Z20	7	X0 Y0 Z5
8	Y0	8	X0 Y32 Z0
9	X80	9	X28 Y0 Z0
10	Y-32	10	X0 Y-32 Z0



**Pref et Dec 1 en tournage**

Op sur la broche de la Machine Outil

**Pref et Dec 1 en fraisage**

Op sur la table de la Machine Outil

**Origine mesure : Om**

C'est un point préférentiel défini sur chaque axe (au moyen d'un paramètre) par le constructeur machine. Il permet de fixer l'origine absolue de la mesure.

**Origine pièce : Op**

Indépendante du système de mesure, l'origine pièce (Op) est définie par un point de la pièce, ou du porte-pièce, sur lequel on peut se positionner facilement.

**Origine Programme : OP\***

Indépendante du système de mesure, l'OP est l'origine du triède de référence qui sert à établir le programme, il appartient à la pièce.

**PREF ET DEC 1**

**Prise de référence (Pref)** : distance entre l'origine mesure Om et l'origine pièce Op.

**Décalage d'origine (Dec 1)** : distance entre l'origine pièce Op et l'origine programme OP.

Le **Dec 1** peut être introduit au clavier du directeur de commande (D.C.N.) ou programmé (G59 X.. Y.. Z..).

**EXEMPLE DE DÉCALAGE (DEC)  
EN TOURNAGE (FIG. 1)**

```
% 1 (Tour)
N10 G0 G90 G95 G80 G40 M5 M9
N20 G92 S3 500
N30 G52 XZ
N40 G59 Z22
N50 G79 N120
...
```

\* Op et OP peuvent être confondues.

**55.1 TYPES DE TRAJECTOIRES**

Toutes les trajectoires ayant une définition mathématique sont réalisables en CN.

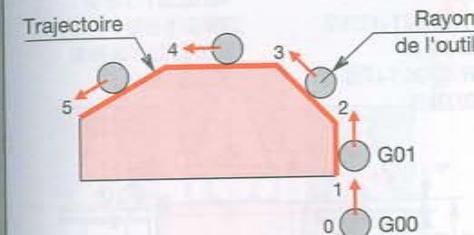
Cependant, pour les machines usuelles, les trajectoires sont des droites ou des cercles.

**TRAJECTOIRE LINÉAIRE**

La trajectoire est une portion de droite dans le plan.

G0 : interpolation linéaire en rapide.

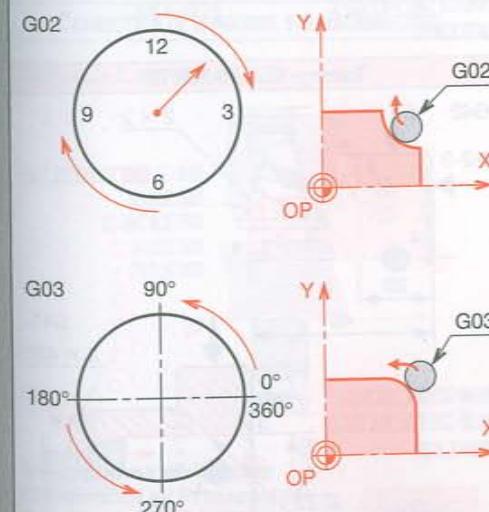
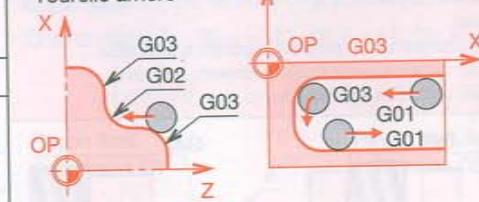
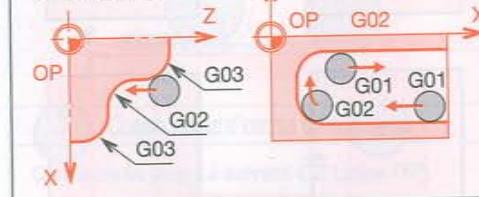
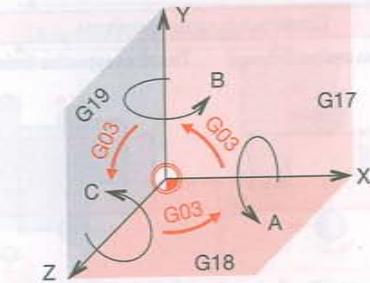
G01 : interpolation linéaire en vitesse programmée.

**TRAJECTOIRE CIRCULAIRE**

La trajectoire est un cercle ou une portion de cercle.

G02 : correspond au sens des aiguilles d'une montre.

G03 : correspond au sens trigonométrique.

**Interpolation circulaire en tournage****Tourelle arrière****Interpolation circulaire en fraîssage****Tourelle avant****INTERPOLATION DANS LES PLANS G17 G18 G19****APPLICATION**

## 55.2 POSITION DE L'OUTIL PAR RAPPORT À LA TRAJECTOIRE

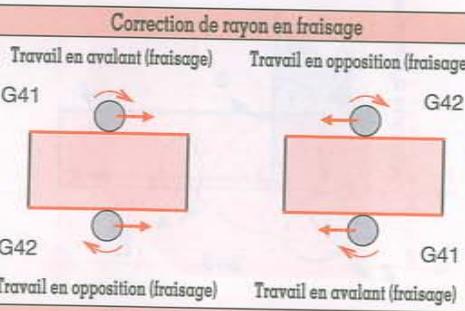
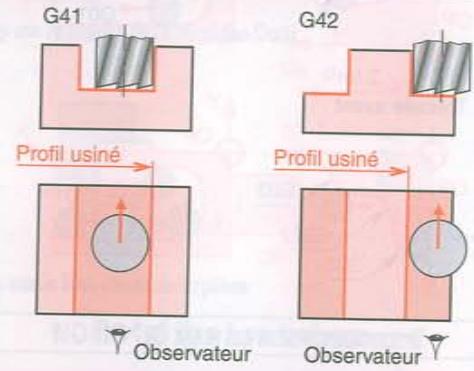
### RÈGLE

Un observateur placé en arrière de la trajectoire et regardant devant lui, situe la position de la trajectoire de l'outil par rapport au profil usiné.

G41 : correction de rayon d'outil à gauche du profil usiné.

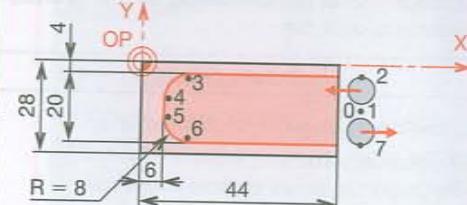
G42 : correction de rayon d'outil à droite du profil usiné.

G40 : annulation de la correction de rayon.



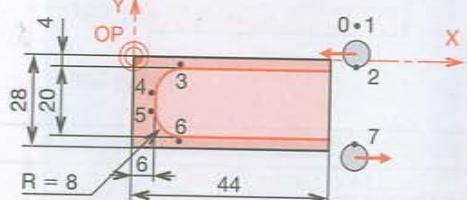
### EXEMPLES D'APPLICATION

#### Fraisage NUM 750-NUM 720



%41  
N40 G0 X52 Y-14 Z18 (0)  
N50 Z12 (1)  
N60 G1 G41 Y-4 F120 (2)  
N70 X14 (3)

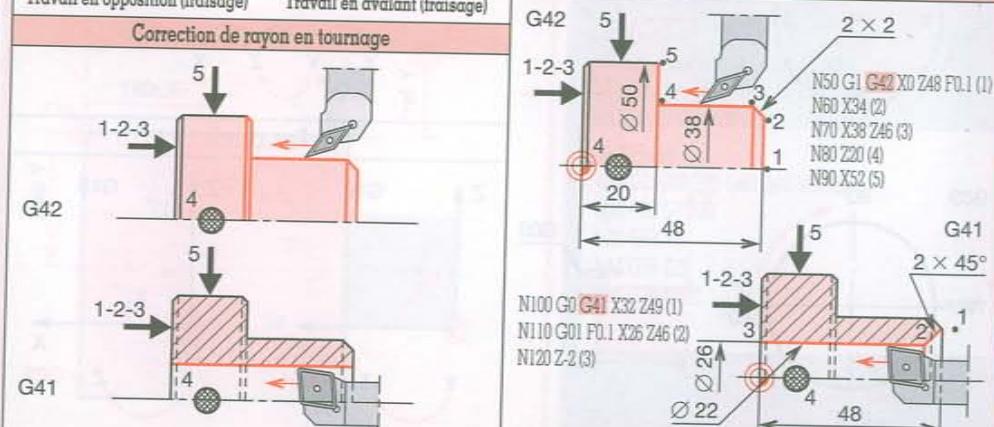
N80 G3 X6 Y-12 R8 (4)  
N90 G1 Y-16 (5)  
N100 G3 X14 Y-24 R8 (6)  
N110 G1 X60 (7)



%41  
N40 G0 X56 Y10 Z18 (0)  
N50 Z12 (1)  
N60 G1 G42 Y-4 F120 (2)  
N70 X14 (3)

N80 G3 X6 Y-12 R8 (4)  
N90 G1 Y-16 (5)  
N100 G3 X14 Y-24 R8 (6)  
N110 G1 X68 (7)

#### Tournage NUM 750-NUM 720

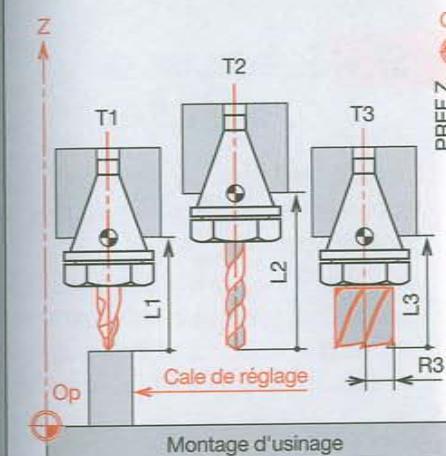


La jauge-outil est la distance entre le point considéré de l'arête et le référentiel lié à l'outil ou au porte-outil.

Deux méthodes de mesure sont utilisées :

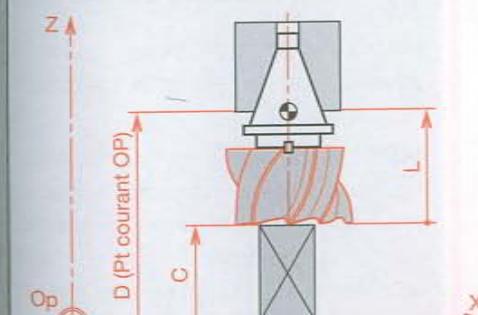
- la première consiste à mesurer les longueurs d'outils L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, ... et les rayons R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ... à l'aide d'un banc de préégale,\*
- la deuxième consiste à utiliser la machine à commande numérique comme machine à mesurer.

### CORRECTEUR D'OUTIL EN FRAISAGE SUR MACHINE-OUTIL



### CORRECTEUR DE LONGUEUR SUR MACHINE-OUTIL

#### Calcul de L en manuel



L = correcteur de longueur  
D = distance au Pt courant OP  
C = longueur de la cale

$$L = D - C$$

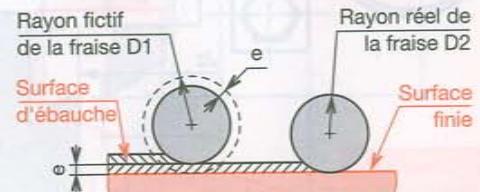
### CORRECTION DE RAYON EN FRAISAGE

Le principe de correcteur de rayon permet d'effectuer avec un même outil une ébauche et une finition sans modifier le programme. Il est également utile pour compenser l'usure de la fraise.

**EXEMPLE :** fraise T1 = R8 e = 0,3\*\* ; D1 : R = 8,3 ; D2 : R = 8.

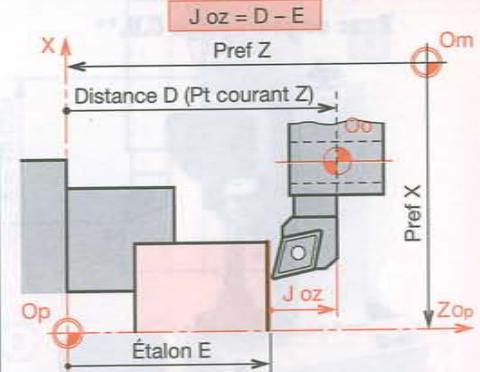
$$D1 = R + e$$

$$D2 = R$$

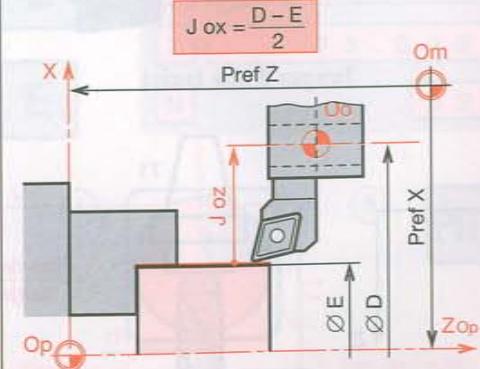


### CORRECTEURS D'OUTILS EN TOURNAGE

#### Calcul de la jauge J suivant OZ (page OP)



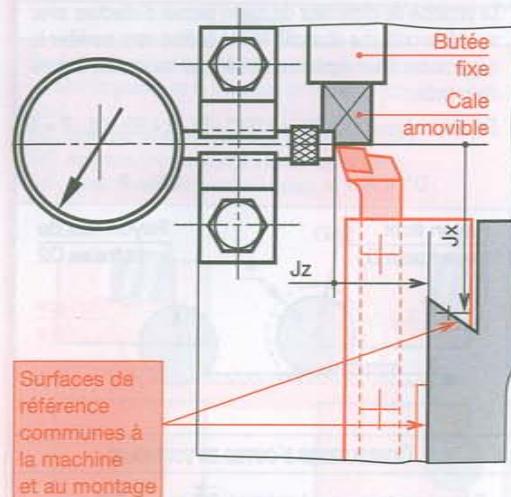
#### Calcul de la jauge J suivant OX (page OP)



\* Voir chapitre 57.

\*\* La valeur de e est introduite en correction dynamique.

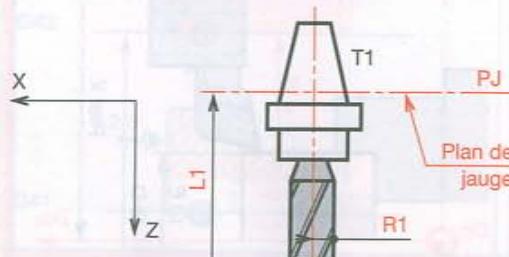
### Préréglage en conventionnel (outil de tour)



Banc de préréglage C.N.\*\*



Jauge d'une fraise



\*\* SAPAM Linas-Monlhéry.

Le préréglage des outils est indispensable pour l'usage en série afin de réduire les temps, en particulier le temps  $T_s^*$  d'équipement du poste. Le préréglage consiste à positionner et à mesurer l'arête tranchante d'un outil par rapport à la référence du porte-outil.

Cette manipulation se fait en « externe », c'est-à-dire en dehors de la machine-outil afin de ne pas l'immobiliser.

### 57.1 PRÉRÉGLAGE EN CONVENTIONNEL

Les montages de préréglage sont très divers en fonction des outils, des porte-outils et de la précision recherchée.

Soit l'exemple ci-contre d'un outil à charioter-dresser. Le dispositif permet de déterminer les cotes  $J_x$  et  $J_z$  par rapport aux surfaces de référence du porte-outil. Ces surfaces sont communes avec le tour utilisé.

### 57.2 PRÉRÉGLAGE EN COMMANDE NUMÉRIQUE

Des procédures sont prévues pour mesurer les jauge-ouils directement sur les commandes numériques.

Les bancs de préréglage sont à utiliser systématiquement en commande numérique non seulement pour réduire les temps d'équipement mais pour faciliter la gestion des outils en intégrant la F.A.O. (Fabrication assistée par ordinateur) et la G.P.A.O. (Gestion de production assistée par ordinateur).

\*  $T_s$  : temps série.

### 57.21 JAUGES-OUTILS

Soit pour une fraise deux tailles associée à un porte-fraise :

- jauge suivant  $Z = L_1$  (distance séparant l'extrémité de l'outil à la face de référence).
  - jauge suivant  $X = R_1$  (distance séparant la génératrice de la fraise à l'axe (rayon)).
- Soit pour un outil à charioter-dresser associé à son porte-outil :
- jauge suivant  $Z = J_{z2}$  (distance séparant l'arête de l'outil de la référence).
  - jauge suivant  $X^* = J_{x2}$  (distance séparant l'arête de l'outil de la référence).

### 57.22 MESURE DES JAUGES

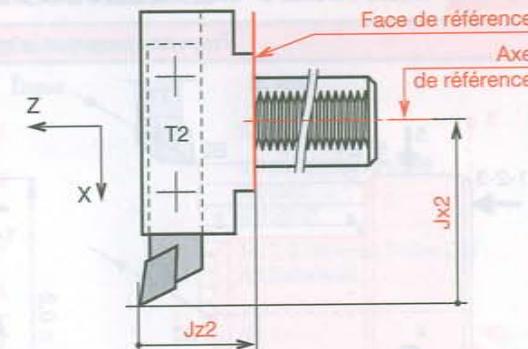
Soit à mesurer les jauge d'un outil à charioter-dresser associé à son porte-outil sur un banc de préréglage\*\*. La manipulation est la suivante :

- 1 Étaloner l'adaptateur (le point de référence [2] est mis en mémoire).
- 2 Sélectionner le point [2] (référence).
- 3 Déplacer le chariot de mesure jusqu'à l'affichage de « Display affiche ».
- 4 Faire tangenter le bec de l'outil aux axes du réticule. (Les compteurs affichent la valeur des jauge :  $Z = 50.000$ ;  $X = 75.000$ ).
- 5 Sélectionner la sortie des données [PRT]. Les jauge peuvent être immédiatement téléchargées dans le directeur de commande numérique du tour.

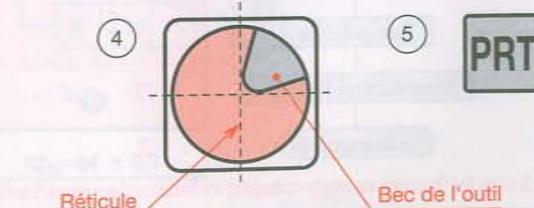
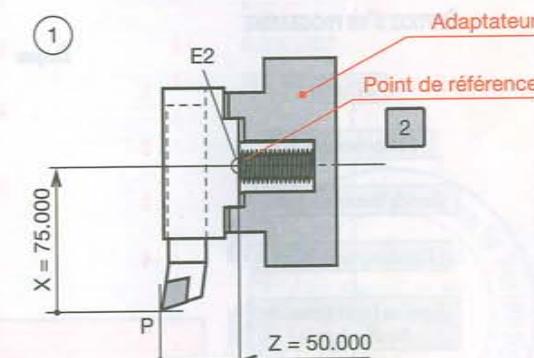
\* Pour un outil à alésage dont l'arête est située de l'autre côté de l'axe, la jauge  $X$  est négative.

\*\* SAPAM Linas-Monlhéry.

### Jauge d'un outil à charioter-dresser

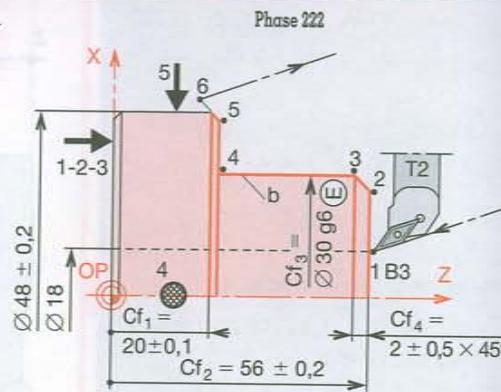
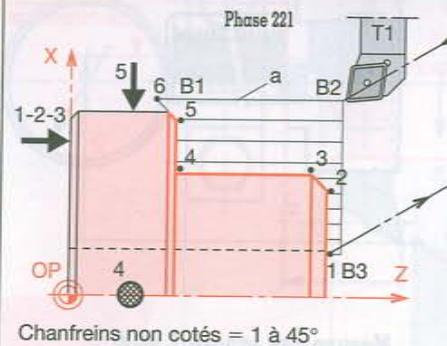


Mesure des jauge Z et X



## 58.1 STRUCTURE D'UN PROGRAMME DE TOURNAGE

Programme comportant un cycle d'ébauche G64



## SYNTAXE D'UN PROGRAMME

## Étapes

Début	1
3 blocs de sécurité	2
Saut de blocs sans retour	3
Définition du profil fini	4
Appel de l'outil d'ébauche Rotation broche	5
Point d'approche V <sub>cc</sub>	6
Cycle d'usinage Définition du profil brut	7
Retour aux blocs de sécurité	8
Appel de l'outil de finition Rotation broche	9
Point d'approche V <sub>cc</sub>	10
Usinage finition	11
Retour aux blocs de sécurité	12
Fin de programme	13

Seules les données en rouge changent en fonction des pièces à usiner.

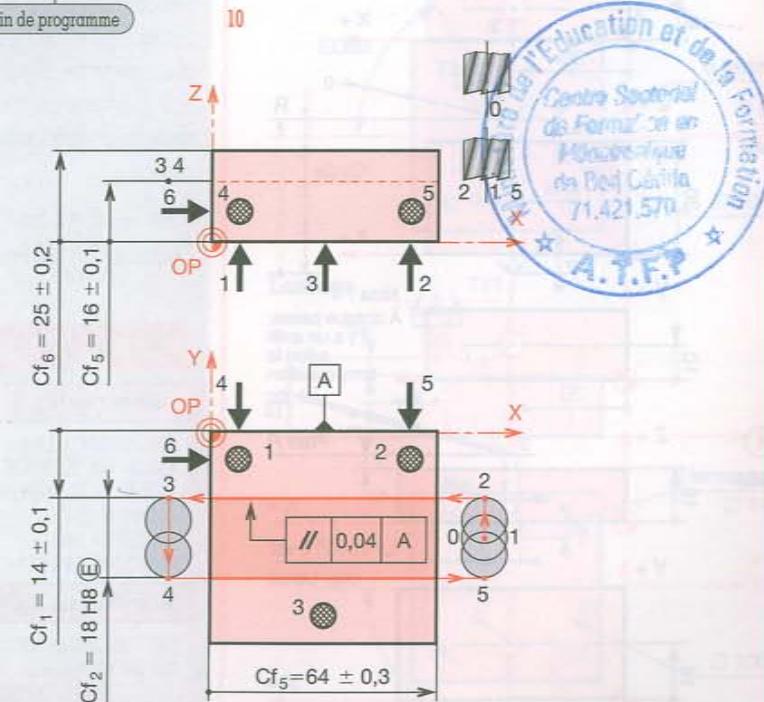
## 58.2 STRUCTURE D'UN PROGRAMME DE FRAISAGE

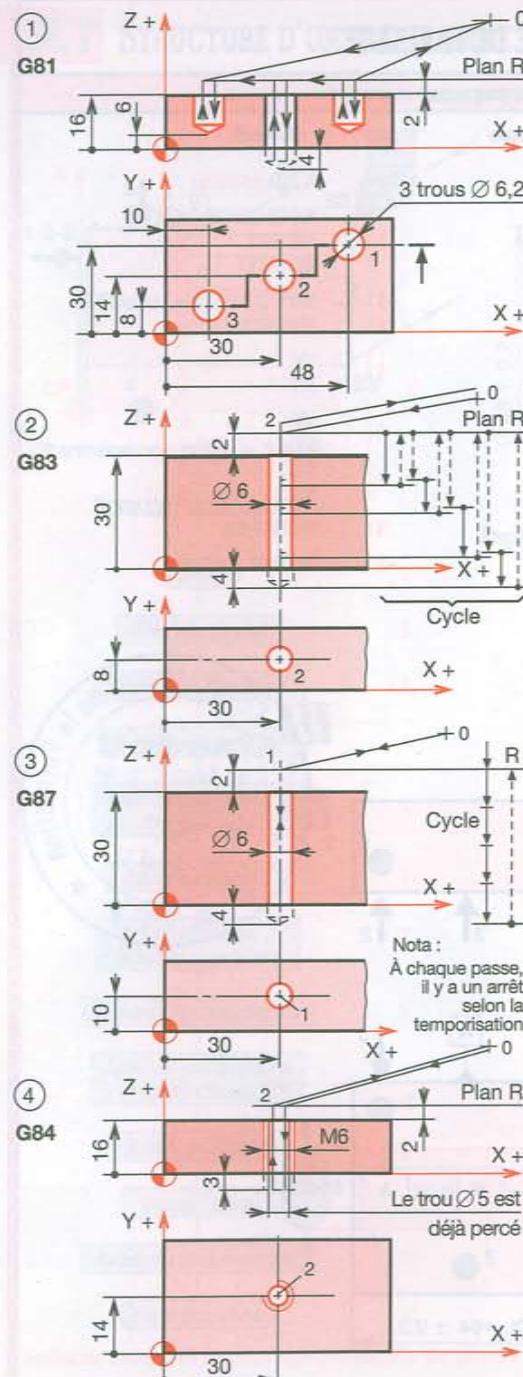
Syntaxe d'un programme

## Étapes

1	1	% 2100 (RAINURE)
2	2	N10 G0 G90 G80 G40 M5 M9
3	3	N20 G52 Z
4	4	N30 G52 XY
5	5	N40 T3 D3 M6 (Fraise 2 tailles Ø 16)
6	6	N50 S500 M40 M3
7	7	N60 X74 Y-23 Z30 (pt 0)
8	8	N70 Z16 (1)
9	9	N80 G41 Y-14 (2)
10	10	N90 G1 F100 X-18 (3)
11	11	N100 Y-32 (4)
12	12	N110 X82 (5)
13	13	N120 N10 N30
14	14	N130 M02

Seules les données en rouge changent en fonction des pièces à usiner.





\* Modale : la fonction reste active jusqu'à son annulation.

\*\* S'il y a des obstacles à éviter, d'abord G52 Z puis G52 XY.

Les cycles d'usinage sont ceux de la série G80. Ils sont appelés par une fonction G de G81 à G89 et sont annulés par G80.

La fonction est modale\*.

#### ■ Structure d'un cycle

G8... cycle d'usinage.

X... Y... cotes de positionnement.

Z... cote de fond de trou.

ER... cote du plan de remontée.

F... vitesse d'avance en mm/min.

EF... tempérisation exprimée en secondes (utilisée en G82, G87, G89).

P... profondeur de première passe (utilisée en G83 et G87).

Q... profondeur de dernière passe (utilisée en G83 et G87).

#### REMARQUES

Les adresses EF, P et Q sont facultatives. Les cycles G83 et G87 s'exécutent à des profondeurs de passe dégressives de P à Q.

Si P n'est pas programmé ou Q programmé, seule la pénétration sera égale à la profondeur du trou.

Pour G84, F = S (en t/min), X Pas (en mm).

Exemple : S = 500 Pas = 1 F = 500X1 F = 500.

#### PROGRAMMATION

##### G81 perçage (fig. 1)      G83 débourage (fig. 2)

N40 S1000 M40 M3 M7 N50 G81 X48 Y22 ER18 Z6 F160 (1) N60 X10 Y8 (3) N70 X30 Y14 Z-4 (2) N80 G0 G80 G52 X Y Z**	N40 S1000 M40 M3 M7 N50 G83 X30 Y8 ER32 Z-4 P12 Q6 F160 N60 G0 G80 G52 X Y Z
---	---

##### G87 brise-coupeau (fig. 3)      G84 taraudage (fig. 4)

N40 S1000 M40 M3 M7 N50 G87 X30 Y10 ER32 Z-2 P12 Q6 F160 N60 G0 G80 G52 X Y Z	N40 S500 M40 M3 M7 N50 G84 X30 Y14 ER18 Z-3 F500 N60 G0 G80 G52 X Y Z
--	--

Si une pièce comporte des éléments régulièrement répartis, par exemple 6 trous, il est possible, grâce au décalage angulaire de ne programmer que la figure élémentaire.

Adresse : ED

Format : degrés et l/1 000 de degré

Valeur modale\* annulée par Raz ou M02.

Fonction programmée en G90 ou G91.

Annulation de la valeur angulaire par ED 0.

#### DÉCALAGE ANGULAIRE EN G1

% 22 \$\*\* ED

N10 G0 G90 G80 M5 M9 G52 Z

N20 G52 X Y

N30 T10 D10 M6 (foret D9)

N40 S1200 M40 M3

N50 G79 N80

N60 G90 G83 X50 Y0 Z-5 ER22 P15 F180 (1, 2; T1)

N70 G80 G91 ED 60 (décalage angulaire)

N80 G77 N60 N70 S6

N90 ED 0 (fin du décalage angulaire)

N100 G77 N10 N20

N110 T11 D11 M6 (fraise 3 dents coupe au centre)

N120 S680 M40 M3

N130 G79 N160

N140 G90 G82 X-50 Y0 Z11 ER22 F100 EF1 (3, 4; T4)

N150 G80 G91 ED 120 (décalage angulaire)

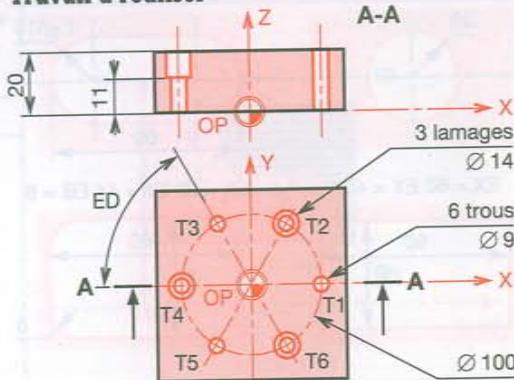
N160 G77 N140 N150 S3

N170 ED 0 (fin du décalage angulaire)

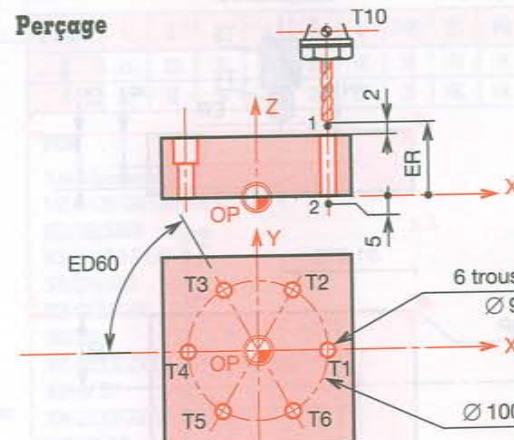
N180 G77 N10 N20

N190 M02

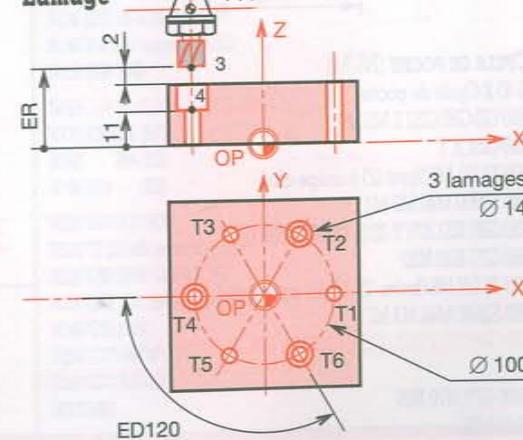
#### Travail à réaliser



#### Perçage

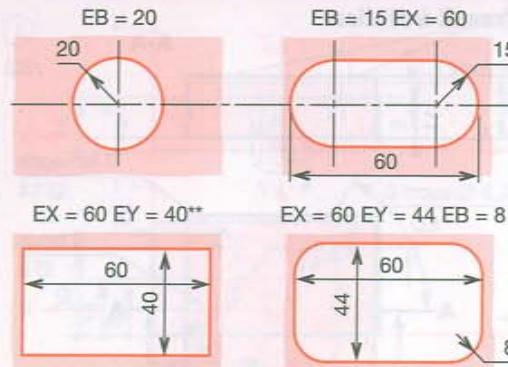
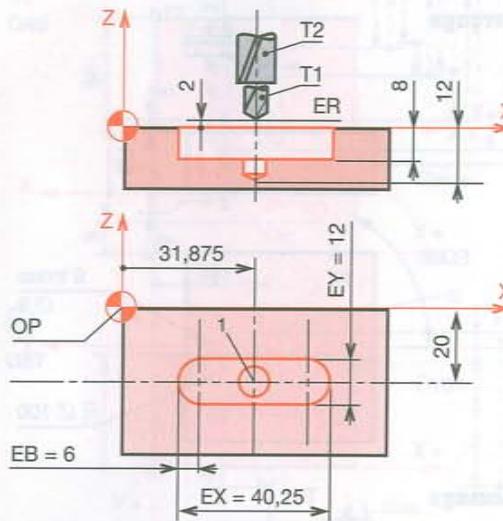


#### Lamage



\* Modale : la fonction reste active jusqu'à son annulation.

\*\* \$ : Dollar (remplace la parenthèse).

**Programmation****CYCLE DE POCHE (NUM)**

% 45 \$ Cycle de poche  
N10 G0 G80 G52 Z M5 M9  
N20 G52 X Y  
N30 T1 D1 M6 (foret Ø 8 coupe alu)  
N40 S3800 M40 M3 M7  
N50 G81 X31,875 Y-20 Z-12 ER2 F380 (1)  
N60 G77 N10 N20  
N70 T2 D2 M6 (fraise 2T, Ø 10, coupe alu)  
N80 S3500 M40 M3 M7  
N90 G45 X31,875 Y-20 Z-8 EX40,25 EB6 P3,5 Q1 I0,2 J0,2  
EP150 EQ200 EI150 EJ200

N100 G77 N10 N20  
N110 M02

Le cycle de poche permet d'usiner des poches de formes simples, par exemple :

- poche circulaire,
- poche oblongue,
- poche rectangulaire\*,
- poche rectangulaire avec congé aux coins.

L'utilisateur a la possibilité de programmer :

- une ébauche seule ;
- une ébauche suivie de passes de finition (dans ce cas l'ébauche et les finitions sont effectuées avec le même outil) ;
- une finition axiale ou une finition latérale pour une poche dont l'ébauche a été programmée séparément.

Ces différents choix s'effectuent par la programmation ou la non programmation de certains paramètres.

**PROGRAMMATION**

**G45** : fonction préparatoire non modale.

**PROGRAMMATION**

X, Y, Z	Coordonnées du centre et du fond de la poche en absolu G90
ER	Plan d'approche
EB	Rayon
EX	Longueur suivant X
EY	Longueur suivant Y
P	Passe axiale ébauche
Q	Passe latérale ébauche
I	Passe axiale finition
J	Passe latérale finition
EP	Vitesse axiale ébauche
EQ	Vitesse latérale ébauche
EI	Vitesse axiale finition
EJ	Vitesse latérale finition

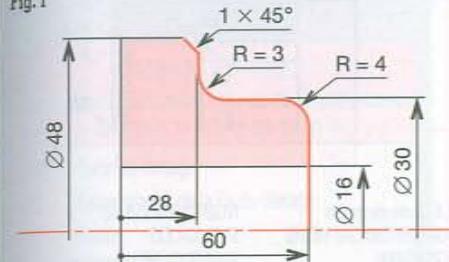
\* Dans ce cas le rayon est celui de l'outil.  
\*\* EB = rayon de la fraise utilisée.

Le cycle d'ébauche, permet, à partir de la définition d'un profil fini et d'un profil brut, d'effectuer l'ébauche d'une pièce suivant l'axe X ou Z.

Soit à réaliser la programmation de la pièce fig. 1

**DESSIN**

Fig. 1

**Syntaxe de la programmation**

G64 NnNm L... K... P (ou R) F...

X... Z... (B1)

X... Z... (B2) Définition du brut

X... Z... (B3)

G80 (Annulation du cycle)

NnNm : bornes du profil fini

P : pénétration de la passe en X

R : pénétration de la passe en Z

I : surépaisseur en X

K : surépaisseur en Z

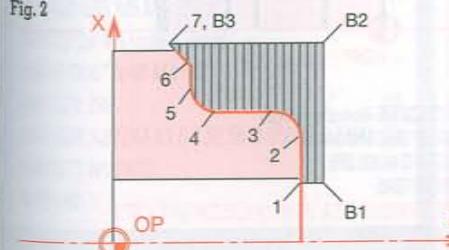
F : avance en mm/tr si G95

Le profil fini doit comporter moins de 50 blocs.

Le premier et le dernier bloc du profil fini doivent comporter les cotes X et Z.

**CYCLE D'ÉBAUCHE RADIAL**

Fig. 2

**Ébauche en Z (fig. 2) NUM 750 NUM 720**

N160 G64 N50 N10 R214 K.15 F.4

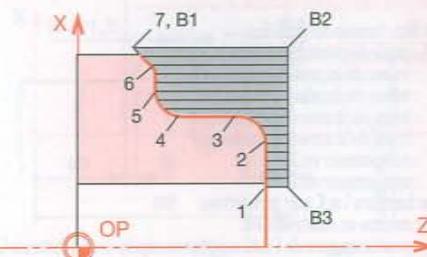
N170 X14 Z64 (B1)

N180 X50 (B2)

N190 Z26 (B3)

**CYCLE D'ÉBAUCHE PARAXIAL\***

Fig. 3

**COORDONNÉES**

Points	1	2	3	4	5	6	7/B1	B2	B3
X	14	22	30	30	36	46	50	50	14
Z	60	60	56	31	28	28	26	64	64

**NUM**

% 64 \$ Épaulement

N10 G G90 G95 G80 G40 M5 M9

N20 G92 S3500

N30 G52 X 5 Z-150

N40 G79 N120

N50 G1 X14 Z60 (1)

N60 X22 (2)

N70 G3 X30 Z56 R4 (3)

N80 G1 Z31 (4)

N90 G2 X36 Z28 R3 (5)

N100 G1 X46 (6)

N110 X50 Z26 (7)

N120 T1 D1 M6 (outil ébauche)

N130 G97 S800 M40 M4 M7

N140 X50 Z64 (approche B2)

N150 G96 S245

N160 G64 N110 N50 P214 K.15 F.4

N170 X50 Z26 (B1)

N180 Z64 (B2)

N190 X14 (B3)

N200 G77 N10 N30

N210 T2 D2 M6 (outil finition)

N220 G97 S800 M40 M4 M7

N230 G42 X14 Z64 (approche B3)

N240 G96 S330

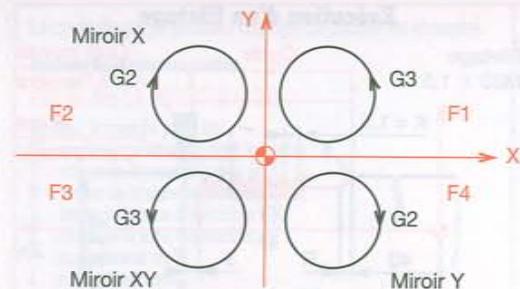
N250 G77 N50 N10 F.1

N260 G77 N10 N30

N270 M02

| Rappel du profil fini



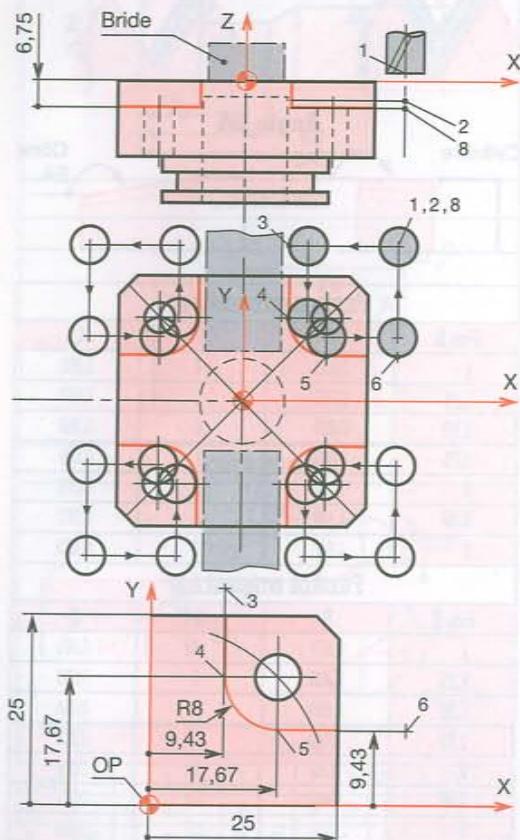
**La fonction MIROIR affecte**

Les cotes programmées (inversion)

Les décalages en G59 (décalage d'origine programmé)

La correction de rayon G41 - G42

L'interpolation circulaire G2 - G3



La fonction miroir appliquée aux axes X, Y, Z permet de réaliser des usinages symétriques à partir d'un programme définissant la moitié ou le quart de la pièce.

**FORMAT**

Validation	Annulation
G51 X-	G51 X+
G51 Y-	G51 Y+
G51 XY-	G51 XY+

**PROGRAMMATION**

```
% 51 $ Flasque AR NUM 720 F
N10 G0 G40 G52 Z M5 M9
N20 G52 X Y
N30 T1 D1 M6 $ Fraise 2T, Ø 12 coupe alu
N40 S2000 M41 M3 M8
N50 X33 Y33 Z60 (saut de bride) (1)
N60 Z-6.25 (2)
N70 G1 G41 F200 X9.43 (3)
N80 Y17.67 (4)
N90 G3 X17.67 Y9.43 R8 (5)
N100 G1 X39 (6)
N110 G0 G40 Y33 (2)
N120 Z-6.75 (8)
N130 G77 N70 N100
N140 G0 G40 X33 Y33 Z60 (1)
N150 G51 X- (fonction miroir suivant X-)
N160 G77 N50 N140
N170 G51 Y- (fonction miroir suivant Y-)
N180 G77 N50 N140
N190 G51 X+ (suppression fonction miroir suivant X-)
N200 G77 N50 N140
N210 G51 Y+ (suppression fonction miroir suivant Y-)
N220 G77 N10 N20
N230 M02
```

**PERÇAGE**

La fonction compteur permet d'effectuer une suite d'opérations identiques.

Soit à réaliser :

10 trous Ø 8 espacés de 20 mm.

**NUM 750 NUM 720**

% 18 \$ Compteur

N10 G0 G90 G80 M5 M9 G52 Z0

N20 G52 X0 Y0

N30 T1 D1 M6

N40 S800 M40 M3 M7

N50 L100 = 1

| Initialisation du compteur

N60 G83 X30 Y-30 Z-5 ER22 P15 F112 (I)

N70 L100 = L100 + 1 | Comptage

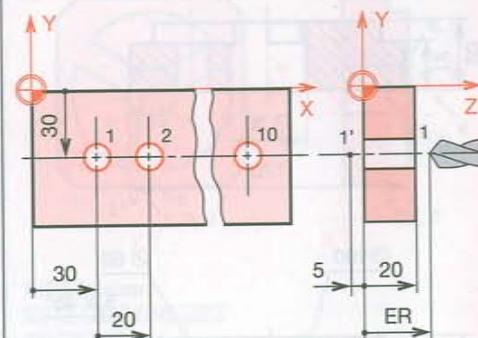
N80 L100 &gt; 10 G79 N110

N90 G91 X20 | Déplacement

N100 G79 N70

N110 G77 N10 N20

N120 M02



Initialisation du compteur au bloc N50 (L100 = 1). Tant que la variable L100 reste inférieure à 10, le bloc N100 exécute la suite des perçages grâce au bloc N90 G91 X20 (déplacement en relatif de 20 mm).

Lorsque L 100 = 10 le cycle se termine.

**TOURNAGE**

Soit à réaliser :

6 gorges de 2,15 espacées de 4 mm.

**NUM 750 NUM 720**

% 19 \$ Compteur T

N10 G0 G90 M5 M9 G52 X Z

N20 T1 D1 M6

N30 S1000 M40 M4

N40 L100 = 1

| Initialisation du compteur

N50 X42 Z30 M7 (1)

N60 G90 G1 X36 F.1 (2)

N70 X42 F.5 (1)

N80 L100 = L100 + 1 | Comptage

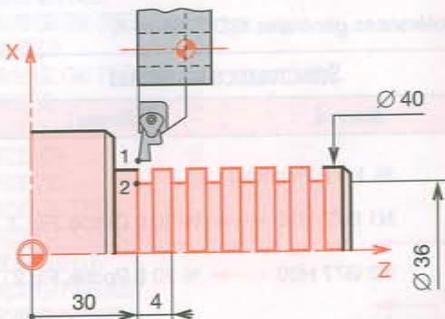
N90 L100 &gt; 6 G79 N120

N100 G91 Z4 | Déplacement

N110 G79 N60

N120 G77 N10 N10

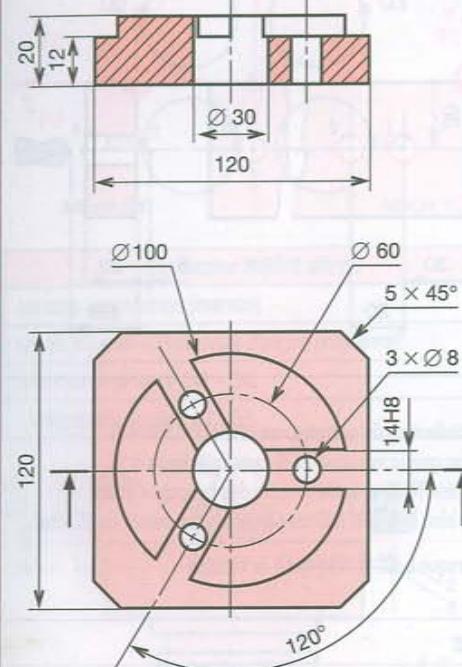
N130 M2

**REMARQUES**

- Le déplacement de l'outil se réalise en programmation relative (G91).

- Ne pas oublier d'écrire G90 en début de cycle.

## Pièce à usiner



Tolérances générales ISO 2768 m-K

## STRUCTURATION PAR NIVEAUX

Niveau 0	Niveau 1
----------	----------

## % 1 \$ P Principal

N1 G77 H10 → % 10 \$ Cercle. Fig. 1  
 N2 G77 H20 → % 20 \$ Poche. Fig 2  
 N3 G77 H30 → % 30 \$ Rainures Fig. 3  
 N4 G77 H40 → % 40 \$ Perçages Fig. 4  
 N5 G77 M02

La programmation structurée permet une meilleure lisibilité du programme. La décomposition des différentes opérations est plus visible que dans un programme long et complexe.

## Structuration par niveaux

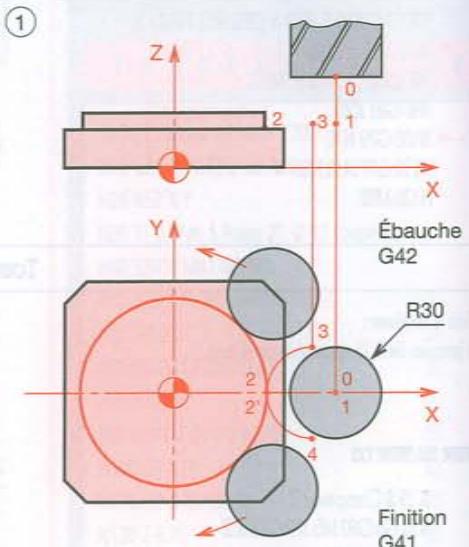
La structure peut être établie sur plusieurs niveaux.  
L'appel des sous-programmes se fait par :  
G77 H... suivi du numéro du programme.

## Application

À partir d'un brut de  $120 \times 120 \times 20$  en EN-GI-L-200, on effectue :

- 1<sup>o</sup> le profil extérieur Ø 100 (fig. 1),
- 2<sup>o</sup> la poche Ø 30 (fig. 2),
- 3<sup>o</sup> les trois rainures 14 H8 à 120° (fig. 3),
- 4<sup>o</sup> les trois trous Ø 8 à 120° (fig. 4).

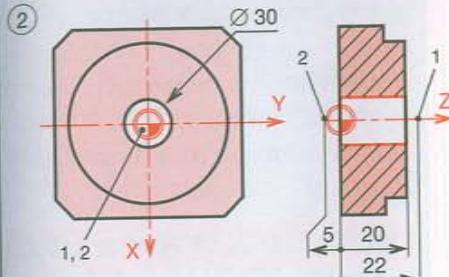
## PROGRAMMATION DU CERCLE



% 10 \$ Cercle  
 N10 G0 G40 M5 G52 Z  
 N20 G52 X Y  
 N30 T1 D1 M6 (f Ø 40 Eb)  
 N40 S300 M40 M3  
 N50 X82 Y0 Z22 (0)  
 N60 Z12 (1)  
 N70 G1 G42 X50 F120 (2)  
 N80 G3 X50 Y0 J0 (2)  
 N90 G2 X80 Y30 R30 (3)  
 N100 G77 N10 N20  
 N110 T2 D2 M6 (f Ø 40 finition)

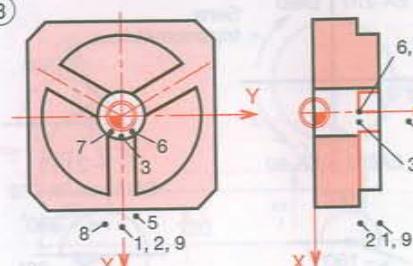
N120 G77 N40 N60  
 N130 G1 G41 X80 Y30 F120 (3)  
 N140 G3 X50 Y0 R30 (2)  
 N150 G2 X50 Y0 J0 J0 (2)  
 N160 G3 X80 Y-30 R30 (4)  
 N170 G77 N10 N20  
 N180 (fin de l'usinage)

## PROGRAMMATION DE LA POCHE



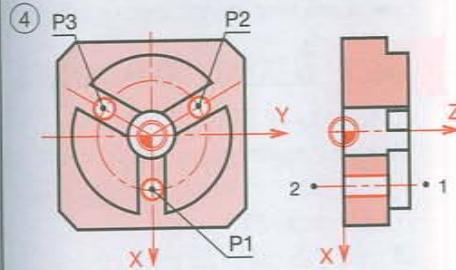
% 20 \$ Poche  
 N10 G0 G80 G40 G52 Z M5  
 N20 G52 X Y  
 N30 T7 D7 M6 (f Ø 14)  
 N40 S700 M40 M3  
 N50 G83 X Y Z-5 P12 ER22 F150 (1, 2)  
 N60 G77 N10 N20  
 N70 T3 D3 M6 (fr 2T Ø 12)  
 N80 S800 M40 M3  
 N90 G45 X0 Y0 Z-2 ER22 EB15 P6 Q5 J4 EP80 EQ160 (1, 2)  
 N100 G77 N10 N20  
 N110 \$ fin de la poche

## PROGRAMMATION DES RAINURES

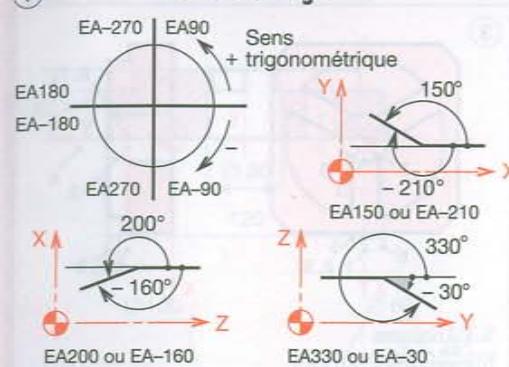
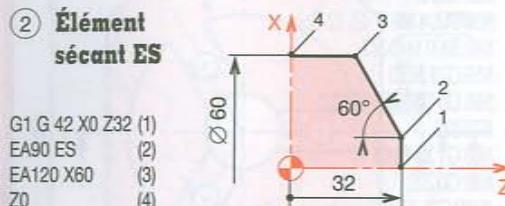
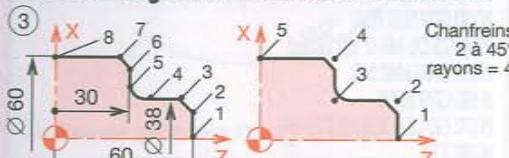


% 30 \$ Rainures  
 N10 G0 G80 G40 M5 G52 Z  
 N20 G52 X Y  
 N30 T4 D4 M6 (f Ø 12 Eb)  
 N40 S800 M40 M3  
 N59 G79 N110  
 N60 G0 G90 X68 Y0 Z22 (1)  
 N70 Z12 (2)  
 N80 G1 X5 F160 (3)  
 N90 G0 Z22 (4)  
 N100 G91 ED120 (décalage angulaire)  
 N110 G77 N60 N100 S3  
 N120 G90 ED0 (fin de décalage angulaire)

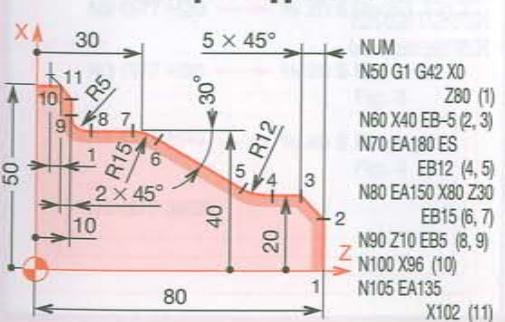
## PROGRAMMATION DES PERÇAGES



% 40 \$ Perçages  
 N10 G0 G80 G90 M5 G52 Z  
 N20 G52 X Y  
 N30 T8 D8 M6 (f Ø 8)  
 N40 S1200 M40 M3  
 N50 G79 N80  
 N60 G90 G83 X30 Y0 Z-5 ER22 P15 F180 (1, 2)  
 N70 G80 G91 ED120 (décalage angulaire)  
 N80 G77 N60 N70 S3  
 N90 G90 ED0 (fin de décalage angulaire)  
 N100 G77 N10 N20  
 N110 (fin de perçage)

**1 Élément d'angle EA****2 Élément sécant ES****Élément congé EB + Élément chanfrein EB -**

Programmation sans P.G.P.				Programmation avec P.G.P.			
G1 G42 X0 Z60 (1)		G1 X56 (6)		G1 G42 X0 Z60 (1)			
X34 (2)		X60 Z28 (7)		X38 EB-2 (2)			
X38 Z58 (3)	Z0 (8)	Z30 EB4 (3)		Z30 EB-2 (4)			
Z34 (4)		X60 EB-2 (5)		Z0 (5)			
G2 X46 Z30 R4 (5)							

**Exemple d'application****PRINCIPE GÉNÉRAL**

La programmation géométrique de profil (P.G.P.) permet :

- d'écrire le programme de la pièce en utilisant directement les cotes du dessin de définition,
- d'éviter le calcul des points de raccordement, de contact et d'intersection non définis.

**FONCTION P.G.P. CARACTÉRISANT UN ÉLÉMENT**

Élément d'angle	EA	Discriminant
Élément congé	EB+	
Élément chanfrein	EB-	ET
Élément tangent	ET	ES
Élément sécant	ES	E+ ; E-

**68.1 CONDITIONS D'APPLICATION**

La P.G.P. nécessite la correction de rayon G41 ou G42. Elle s'effectue en mesure absolue G90 et s'applique dans l'un des trois plans d'interpolation XY, ZX, YZ. Le premier et le dernier point de la trajectoire doivent être parfaitement définis.

**68.2 ÉLÉMENTS GÉOMÉTRIQUES****Élément d'angle EA**

EA définit la position angulaire en degrés d'une droite par rapport à un axe de référence (fig. 1).

**Élément sécant ES**

ES permet de définir un point d'intersection entre deux éléments droite-droite, droite-cercle ou cercle-cercle (fig. 2). La fonction ES doit toujours être accompagnée d'une fonction EA.

**Élément congé EB +**

EB+ permet de raccorder deux éléments sécents par un arc de cercle tangent aux deux éléments.

**Élément chanfrein EB -**

EB- permet de raccorder deux droites sécantes par un chanfrein (fig. 3). EB- n'est valable que si les points du chanfrein sont équidistants du point programmé.

**Élément tangent ET**

L'élément géométrique ET rend tangent deux éléments, droite et cercle ou cercle et cercle. Le bloc dans lequel est programmé cette fonction et le bloc suivant sont tangents (fig. 4).

ET est obligatoire lorsque c'est la seule fonction du bloc qui caractérise l'élément géométrique.

**Élément discriminant E+, E-**

Lorsque la programmation d'un bloc, ou d'un ensemble de blocs, laisse le choix entre deux solutions possibles, le discriminant E+ ou E- permet de lever l'indétermination.

■ La programmation du discriminant peut être incluse dans les fonctions ET et ES.

ET- est équivalent à ET E-.

ES+ est équivalent à ES E+.

■ Le discriminant donne la position du centre par rapport à la droite orientée D (fig. 5).

■ Les points caractérisant les deux solutions se trouvent de part et d'autre de la droite D (fig. 6). E+ définit le point à gauche de (D). E- définit le point à droite de (D).

■ Les points caractérisant les deux solutions se trouvent sur la droite orientée D (fig. 7) : E+ définit le point le plus proche de  $+\infty$  sur D. E- définit le point le plus proche de  $-\infty$  sur D.

**NOTA**

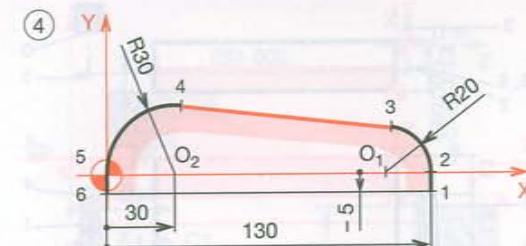
Le système choisit, par défaut, la solution qui comporte le plus petit arc de cercle.

**Programme (fig. 8) NUM 750**

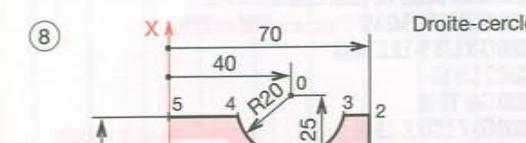
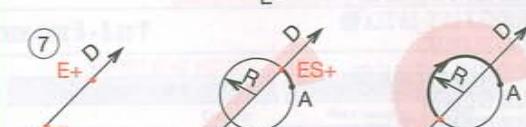
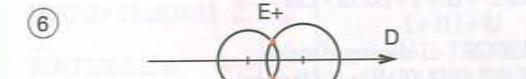
N50 G0 X0 Z70 (1)	N80 G2 I50 K40** R20 ES+ (4)
N60 G1 X40 (2)	N90 G1 EA180 X40 Z0
N70 EA180 ES- (3)	

**Programme (fig. 9)**

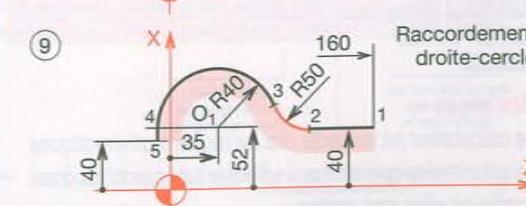
N50 G1 X80 Z160 (1)	
N60 EA+180 ES- EB50 (2, 3)	
N70 G3 I104 K35 R40 (4)	
N80 G1 X80 Z-5 (5)	

**Élément tangent ET**

NUM N50 G1 X130 Y-5 Z0 (1)	N80 G1 ET (4)
N60 Y0 (2)	N90 G3 I30 J0 X0 Y0 (5)
N70 G3 I110 J0* R20 (3)	N100 G1 Y-5

**Élément discriminant E+ ; E-**

Droite-cercle

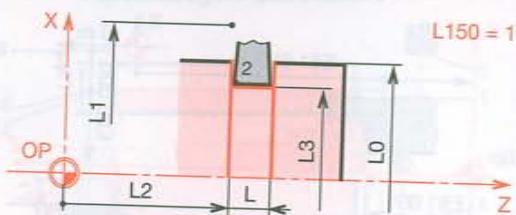
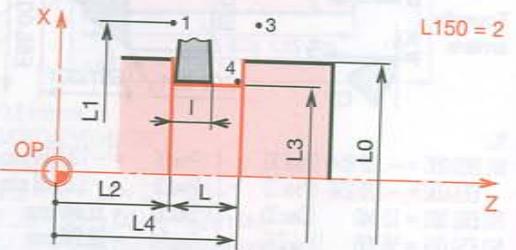
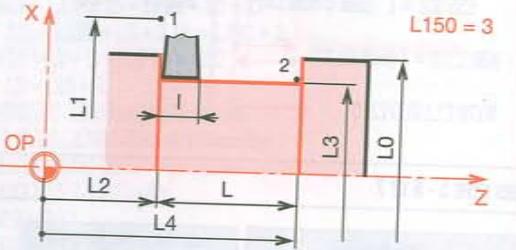


Raccordement droite-cercle

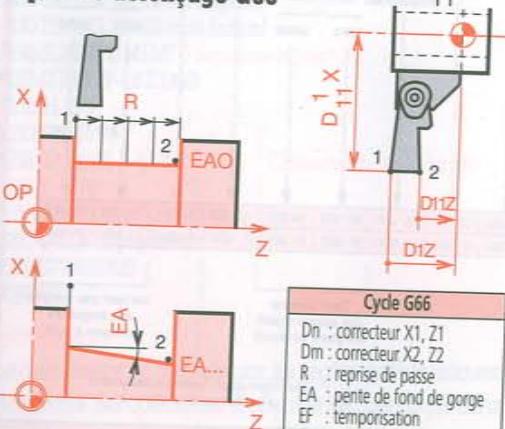
\* IJ : coordonnées du centre du cercle O<sub>1</sub> par rapport au référentiel (en fraisage).

\*\* I, K : coordonnées du centre de rayon 20 par rapport au référentiel (en tournage).



Paramètres de la gorge  $L = 1$ Paramètres de la gorge  $L > 2L$ 

## Cycle de défonçage G66



## Cycle G66

Dn : correcteur X1, Z1  
Dm : correcteur X2, Z2  
R : reprise de passe  
EA : pente de fond de gorge  
EF : temporisation

Cette programmation permet la réalisation de dimensions variables dans un seul programme. Exemple : usiner des gorges de largeurs et de diamètres différents dans une famille de pièces.

## MOYENS

## Saut inconditionnel

G79 N... saut à la séquence désirée.

## EXEMPLE

N160 G79 N260

## Saut conditionnel

Utilisation d'une variable programme et d'une condition ( $>$ ,  $<$ ,  $=$ ,  $>=$ ,  $<=$ ).

## EXEMPLE

N60 L150 = 2 (variable)

N80 G79 L150 = 2 N170 (condition).

Si L150 = 2 alors saut à la séquence N170 sinon enchaînement sur le bloc suivant.

% 1 \$ choix multiples

N10 G0 G80 G40 G95 M5 M9

N20 G92 S3500

N30 G52 X-5 Z-100

N40 L0 = L2 = L3 = L4 =

N50 L1 = L0 + 2

N60 L150 = (1 à 3) (Choix)

N70 G79 L150 = 1 N100 Fig. 1

N80 G79 L150 = 2 N170 Fig. 2

N90 G79 L150 = 3 N230 Fig. 3

N100 T1 D1 M6

N110 S800 M40 M4

N120 G XL1 ZL2 (I)

N130 G96 S200

N140 G01 XL3 F1 G04 F1 (2)

N150 XL1 F.4 (I)

N160 G79 N250

N170 G77 N100 N150 (I2)

N180 D11

N190 ZL4 (3)

N200 XL3 F.1 G04 F1 (4)

N210 XL1 F.4 (3)

N220 G79 N250

N230 G77 N100 N130 (I)

N240 G66 D11 XL3 ZL4 R2 EA0 EP1 (2)

N250 G77 N10 N30

N260 M02

## Famille de pièces

C'est un regroupement de pièces ayant des similitudes de forme, de dimension ou de cheminement. Ce regroupement est effectué à partir d'une codification\*. Il comporte les étapes suivantes :

- Étude de la morphologie et des dimensions de la pièce.
- Classement des pièces à partir de critères de forme, de dimensions, de matières, de traitements...

## MÉTHODE 71.1

- 1 Classer la pièce à réaliser dans la famille de pièces correspondante (ex. 1000).
- 2 Rechercher sur la MOCN ou sur Ordinateur le programme principal correspondant.
- 3 Introduire les variables.
- 4 Charger ou télécharger le programme.
- 5 Procéder au réglage de la MOCN.
- 6 Usiner.

## 71.11 EXEMPLE D'APPLICATION

## Programme principal

```
% 1000
N10 (épaulement)
N20 L150 = (1 ou 0) (Condition)
N20 G79 L150 = 0 N90
N40 L0 = L1 = L2 = L3 =
N50 L4 = L5 = L6 = L7 = L8 =
N60 L101 = (Vc ébauche)
N70 L102 = (Vc finition)
N80 G77 H1 (S/P épaulement)**
N90 (gorge)
N100 L150 = (1 ou 0) (Condition)
N110 G79 L150 = 0 N150
N120 L9 = L10 = L11 = L12 =
N130 L103 = (Vc) L19 = (R)
N140 G77 H2 (S/P gorge)**
N150 (filetage)
N160 L150 = (1 OU 0) (Condition)→
N170 G79 L150 = 0 N220
N180 L9 = L0 = L13 = L14 =
N190 L15 = (K) L16 = (P) L17 = (S)
N200 L18 = (Q) L104 = (Vc)
N210 G77 H3 (S/P filetage)**
N220 M02
```

Figure 1

Figures 2 et 3

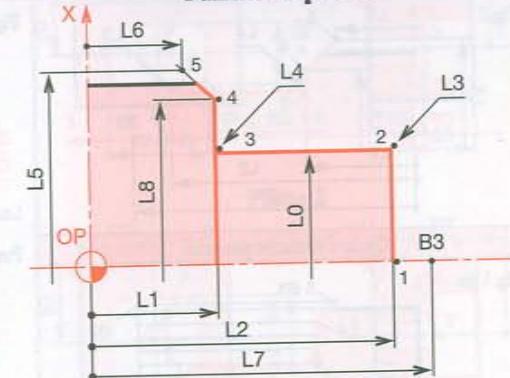
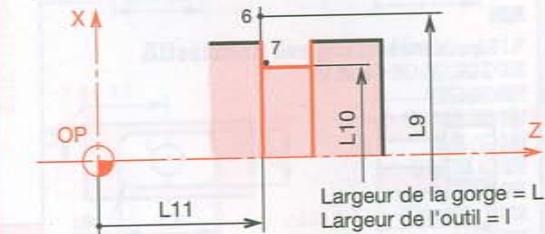
**Le choix des opérations élémentaires se fait aux blocs**

**N20**  
**N100**  
**N160**

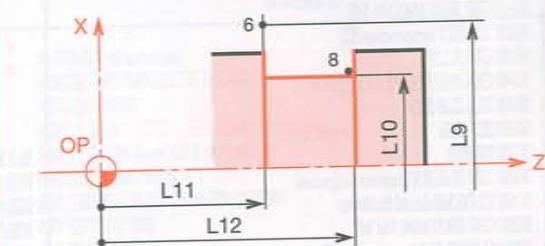
**Exemple :**  
**N100 L150 = 1**  
**Réalisation d'une gorge**

**N100 L150 = 0**  
**Pas de réalisation**

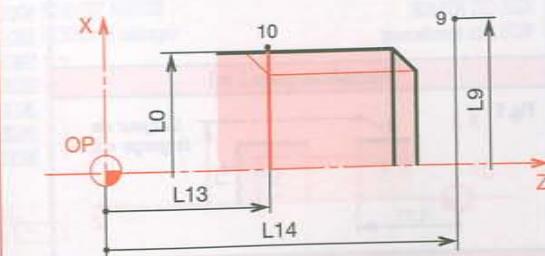
**Programmer L11 pour gorge L=1**  
**L11 et L12 pour gorge L>1**

Paramètres de l'épaulement  
Famille de piècesParamètres de la gorge  $L = 1$ 

Largeur de la gorge = L  
Largeur de l'outil = I

Paramètres de la gorge  $L > 1$ 

## Paramètres du filetage



\* Voir codification chapitre 88. \*\* S/P : sous-programme.



## PRINCIPAUX ÉCARTS EN MICROMÈTRES\*

Alésages	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315
D10	+ 60 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+ 120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 100	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190
F7	+ 16 + 6	+ 22 + 10	+ 28 + 13	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56
G6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17
H6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0
H7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0
H8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0
H9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0
H11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0
H12	+ 100 0	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 300 0	+ 350 0	+ 400 0	+ 460 0	+ 520 0
H13	+ 140 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 270 0	+ 330 0	+ 390 0	+ 460 0	+ 540 0	+ 630 0	+ 720 0	+ 810 0
J7	+ 4 - 6	+ 6 - 6	+ 8 - 7	+ 10 - 8	+ 12 - 9	+ 14 - 11	+ 18 - 12	+ 22 - 13	+ 26 - 14	+ 30 - 16	+ 36 - 16
Js5	± 2	± 2,5	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 7,5	± 9	± 10	± 11,5
Js6	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 8	± 9,5	± 11	± 12,5	± 14,5	± 16
Js9	± 12	± 15	± 18	± 21	± 26	± 31	± 37	± 43	± 50	± 57,5	± 65
Js11	± 30	± 37	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160
Js13	± 70	± 90	± 110	± 135	± 165	± 195	± 230	± 270	± 315	± 360	± 405
K6	0 - 6	+ 2 - 6	+ 2 - 7	+ 2 - 9	+ 3 - 11	+ 4 - 13	+ 4 - 18	+ 4 - 21	+ 5 - 24	+ 5 - 27	
K7	0 - 10	+ 3 - 9	+ 5 - 10	+ 6 - 12	+ 7 - 15	+ 9 - 18	+ 10 - 21	+ 12 - 25	+ 13 - 28	+ 16 - 33	+ 16 - 36
M7	- 2 - 12	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 52	
N7	- 4 - 14	- 4 - 16	- 4 - 19	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33	- 9 - 39	- 10 - 45	- 12 - 52	- 14 - 60	- 14 - 66
N9	- 4 - 29	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130
P6	- 6 - 12	- 9 - 17	- 12 - 21	- 15 - 26	- 18 - 31	- 21 - 37	- 26 - 45	- 30 - 52	- 36 - 61	- 41 - 70	- 47 - 79
P7	- 6 - 16	- 8 - 20	- 9 - 24	- 11 - 29	- 14 - 35	- 17 - 42	- 21 - 51	- 24 - 59	- 28 - 68	- 33 - 79	- 36 - 88
P9	- 9 - 31	- 12 - 42	- 15 - 51	- 18 - 61	- 22 - 74	- 26 - 88	- 32 - 106	- 37 - 124	- 43 - 143	- 50 - 165	- 56 - 186

\* 1 μm = 0,001 mm.

Arbres	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315
d9	- 20 - 45	- 30 - 60	- 40 - 75	- 50 - 93	- 65 - 117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 245	- 170 - 285	- 190 - 320
d11	- 20 - 80	- 30 - 105	- 40 - 130	- 50 - 160	- 65 - 195	- 80 - 240	- 100 - 290	- 120 - 340	- 145 - 395	- 170 - 460	- 190 - 510
e7	- 14 - 24	- 20 - 32	- 25 - 40	- 32 - 50	- 40 - 61	- 50 - 75	- 60 - 92	- 72 - 112	- 85 - 134	- 100 - 185	- 110 - 215
e8	- 14 - 28	- 20 - 38	- 25 - 47	- 32 - 59	- 40 - 73	- 50 - 89	- 60 - 106	- 72 - 126	- 85 - 148	- 100 - 172	- 110 - 191
e9	- 14 - 39	- 20 - 50	- 25 - 61	- 32 - 75	- 40 - 92	- 50 - 112	- 60 - 134	- 72 - 159	- 85 - 185	- 100 - 215	- 110 - 240
f6	- 6 - 12	- 10 - 18	- 13 - 22	- 16 - 27	- 20 - 33	- 25 - 41	- 30 - 49	- 36 - 58	- 43 - 68	- 50 - 79	- 56 - 88
f7	- 6 - 16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 96	- 56 - 106
f8	- 6 - 20	- 10 - 28	- 13 - 35	- 16 - 43	- 20 - 53	- 25 - 64	- 30 - 76	- 36 - 90	- 43 - 106	- 50 - 122	- 56 - 137
g5	- 2 - 6	- 4 - 9	- 5 - 11	- 6 - 14	- 7 - 16	- 9 - 20	- 10 - 23	- 12 - 27	- 14 - 32	- 15 - 35	- 17 - 40
g6	- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25	- 10 - 29	- 12 - 34	- 14 - 39	- 15 - 44	- 17 - 49
h5	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 15	0 - 18	0 - 20	0 - 23
h6	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16	0 - 19	0 - 22	0 - 25	0 - 29	0 - 32
h7	0 - 10	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52
h8	0 - 14	0 - 18	0 - 22	0 - 27	0 - 33	0 - 39	0 - 46	0 - 54	0 - 63	0 - 72	0 - 81
h9	0 - 25	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130
h10	0 - 40	0 - 48	0 - 58	0 - 70	0 - 84	0 - 100	0 - 120	0 - 140	0 - 160	0 - 185	0 - 210
h11	0 - 60	0 - 75	0 - 90	0 - 110	0 - 130	0 - 160	0 - 190	0 - 220	0 - 250	0 - 290	0 - 320
h13	0 - 140	0 - 180	0 - 220	0 - 270	0 - 330	0 - 380	0 - 460	0 - 540	0 - 630	0 - 720	0 - 810
*j6	+ 4 - 2	+ 6 - 2	+ 7 - 2	+ 8 - 3	+ 9 - 4	+ 11 - 5	+ 12 - 7	+ 13 - 9	+ 14 - 11	+ 16 - 13	+ 16 - 16
k5	+ 4 0	+ 6 + 1	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4
k6	+ 6 0	+ 9 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 36 + 4
m5	+ 6 + 2	+ 9 + 4	+ 12 + 6	+ 15 + 7	+ 17 + 8	+ 20 + 9	+ 24 + 11	+ 28 + 13	+ 33 + 15	+ 37 + 17	+ 43 + 20
m6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20
n6	+ 10 + 4	+ 16 + 8	+ 19 + 10	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 17	+ 39 + 20	+ 45 + 23	+ 52 + 27	+ 60 + 31	+ 66 + 34
p6	+ 12 + 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56

\* js = J = π/2 (voir tableau page précédente).

### 73.1 MOYENS DE MESURE CONVENTIONNELS

Une bonne vérification des pièces est fonction de nombreux paramètres, notamment :

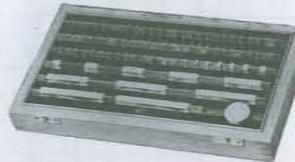
- 1<sup>e</sup> l'interprétation correcte des spécifications de cotations et de tolérance, en particulier la distinction entre le principe de l'**indépendance** et l'**exigence de l'enveloppe** (GPDT 17).
- 2<sup>e</sup> le choix judicieux des moyens de vérification en fonction de la précision exigée, du nombre de pièces, des dimensions, de la masse, du volume...

3<sup>e</sup> une déformation minimale des pièces par une mise en position et un maintien adapté.

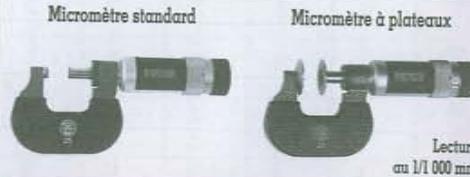
#### REMARQUES

- On doit avoir entre l'incertitude de mesure  $i$  et la tolérance  $t$  :  $i \leq \pm \frac{t}{8}$ .
- Si la tolérance fondamentale  $IT \leq 5$  (GPDT 15.4)  $i \leq \pm \frac{t}{4}$ .

#### CALES ÉTALONS



#### MICROMÈTRES



Lecture  
au 1/1 000 mm

Nb	Épaisseurs	Nb	Épaisseurs
9	1,001 à 1,009	4	1,6 à 1,9
9	1,01 à 1,09	19	0,5 à 9,5
40	1,1 à 1,49	10	10 à 100

#### Capacités

0-25	75-100	150-175	225-250
25-50	100-125	175-200	250-275
50-75	125-150	200-225	275-300

#### TAMPONS LISSES DOUBLES

De 0,75 à 150 mm	
	« Entre »      « N'entre pas »

De 4 à 100 mm	
	« Entre »      « N'entre pas »

#### JAUGES PLATES DOUBLES

De 4 à 130 mm	
	« Entre »      « N'entre pas »

#### CALIBRES À MÂCHOIRES RÉGLABLES

11 calibres pour cotes de 0 à 101,5	

De 4 à 500 mm	

De 2 à 300 mm	

TAMPONS ET BAGUES FILETÉS	

MICROMÈTRES DE FILETAGE	

Jeu de touches amovibles  
en fonction des pas

#### MICROMÈTRES D'ALÉSAGES

De 6 à 300 mm



#### COMPARATEURS MÉCANIQUES À CADRAN

Résolution 0,01 mm

Diamètre du cadran 60

Force de mesure 1 N

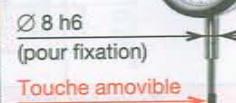
Course 10 et 15

Résolution 0,001 mm

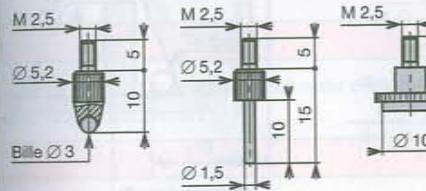
Diamètre du cadran 57

Force de mesure 1 N

Course 1



#### DIFFÉRENTES FORMES DE TOUCHES



#### JAUGES MICROMÉTRIQUES DE PROFONDEUR



De 6 à 300 mm - H = 80 ou 100

#### COMPARATEURS À LEVIER

Résolution	Course dans chaque sens	Diamètre du cadran	Longueur du palpeur
0,01	0,8	28	12,5
0,01	0,8	38	12,5
0,01	0,5	38	36,5
0,002	0,2	28	12,5
0,002	0,2	38	12,5



### 73.2 TERMINOLOGIE\*

#### Précision - Exactitude\*

C'est l'écart minimal entre la valeur mesurée et la valeur vraie de la grandeur mesurée. Dans la pratique, on dit « la précision d'un appareil de mesure » et « l'exactitude du résultat de mesure ».

#### Fidélité\*

C'est la capacité d'un instrument à fournir, dans des conditions identiques, des valeurs très voisines.

#### Justesse\*

C'est l'aptitude d'un instrument à donner, pour une grandeur mesurée, des valeurs proches de la valeur vraie.

#### Répétabilité\*

C'est l'écart observé, lors de mesurages successifs, d'une même grandeur dans des conditions identiques.

#### Sensibilité

C'est l'aptitude de l'instrument à indiquer le moindre écart entre deux cotes mesurées grâce à une amplification pour en faciliter l'observation. Plus l'amplification est grande, plus l'appareil est sensible.

\* Terminologie VIM (Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie).

#### COMPARATEURS ÉLECTRONIQUES À CADRAN

Résolution 0,01 mm

Course 10

Précision  $\pm 0,02$

Répétabilité  $\pm 0,01$

Force de mesure 1,5 N

Autonomie  $\approx 7500$  h

Diamètre du cadran  $\varnothing 60$

Hauteur totale 113

Épaisseur 21,5

Fonction

Signification

Normal Utilisation habituelle. Zéro flottant.

Stop Protection de la cote de départ.

GO Libère ou fige la cote affichée

Max Fige un point haut (bosse).

Min Fige un point bas (creux).



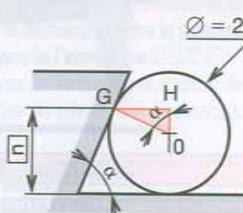
NOTA :  
Associé à un système de M.A.O., permet un traitement statistique du mesurage :  
■ calcul de la moyenne,  
■ étendue,  
■ écart type,  
■ histogramme.

### 73.3 MESURES SUR PIGES

#### SURFACES OBLIQUES

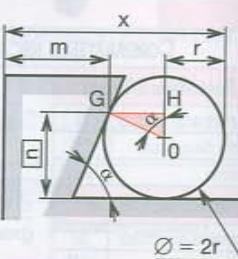
##### Relation entre n et r

$$\begin{aligned}n &= r + OH \\ OH &= r \cos \alpha\end{aligned}$$



##### Position d'un angle

$$\begin{aligned}x &= m + GH + r \\ GH &= r \sin \alpha \\ x &= m + r(1 + \sin \alpha)\end{aligned}$$



##### Mesure d'un angle - 1<sup>re</sup> solution

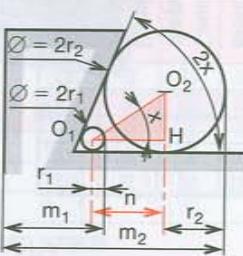
Piges de diamètres différents

$$\tan x = \frac{12 - r_1}{n}$$

$$n = (m_2 - m_1) - (r_2 - r_1)$$

$$\tan x = \frac{r_2 - r_1}{(m_2 - m_1) - (r_2 - r_1)}$$

La table des tangentes donne  
x d'où 2x.

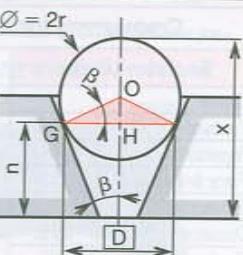


#### SURFACES CONIQUES - POSITION D'UN DIAMÈTRE DE JAUGE

##### Cône contenant

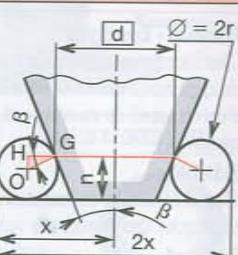
$$\begin{aligned}x &= n + HO + r \\ HO &= r \sin \beta\end{aligned}$$

$$x = n + r(1 + \sin \beta)$$



##### Cône contenu

$$\begin{aligned}\text{Relation entre } n \text{ et } r \\ r &= \frac{n}{1 + \sin \beta} \text{ relation entre} \\ \beta &= 90^\circ - \alpha \rightarrow \sin \beta = \cos \alpha \\ x &= r + HG + \frac{d}{2} \\ HG &= r \cos \beta \\ x &= \frac{d}{2} + r(1 + \cos \beta) \\ 2x &= d + 2r(1 + \cos \beta)\end{aligned}$$



#### FILETAGE - MÉTHODE DES 3 PIGES\*

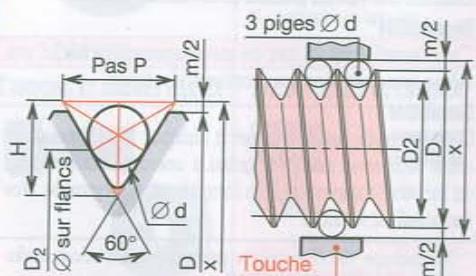
Pas	d	m	Pas	d	m	Pas	d	m
0.25	0.144	0.054	0.7	0.404	0.152	1.75	1.010	0.371
0.35	0.202	0.076	0.8	0.462	0.173	2	1.154	0.433
0.4	0.231	0.087	1	0.577	0.217	2.5	1.443	0.541
0.45	0.260	0.097	1.25	0.721	0.271	3	1.732	0.650
0.5	0.289	1.108	1.5	0.866	0.325	3.5	2.020	0.758

$$d = \frac{2H}{3} = \frac{2}{3} \times 0.866 P$$

$$m^* = \frac{H}{8} \rightarrow m = \frac{2H}{8} = \frac{2}{8} \times 0.866 P$$

$$\text{Effort de mesure : } 2 \text{ à } 3 \text{ newtons.}$$

#### MESURE DU DIAMÈTRE SUR FLANCS D<sub>2</sub>



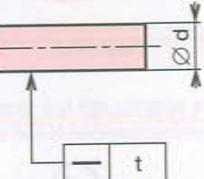
Ce chapitre indique pour les tolérances géométriques une méthode de vérification.

Les solutions données sont indicatives et comportent de nombreuses variantes technologiques en fonction notamment de la précision exigée et du nombre de pièces à vérifier.

On effectue d'abord la vérification dimensionnelle puis la vérification géométrique.

### 74.1 RECTITUDE\*

#### Dessin de définition



#### Illustration de la tolérance



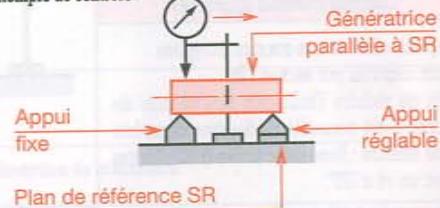
#### Tolérance

Chaque génératrice du cylindre doit rester comprise entre deux droites distantes de t.

#### Contrôle

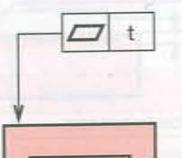
Déplacer le comparateur le long de la génératrice.  
Écart maximal toléré : t.  
Répéter la mesure sur n génératrices (minimum 3).

#### Exemple de contrôle

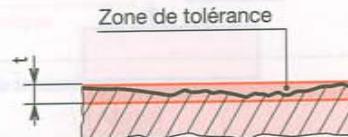


### 74.2 PLANÉITÉ\*

#### Dessin de définition



#### Illustration de la tolérance



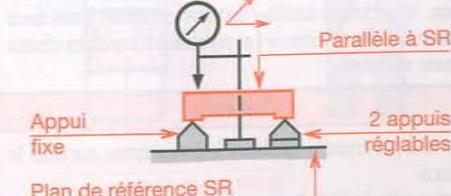
#### Tolérance

La surface doit être comprise entre deux plans distants de t.

#### Contrôle

Déplacer le comparateur sur toute la surface.  
Écart maximal toléré : t.

#### Exemple de contrôle



## 74.3 CIRCULARITÉ\*

Dessin de définition

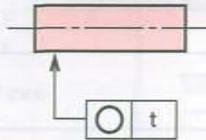
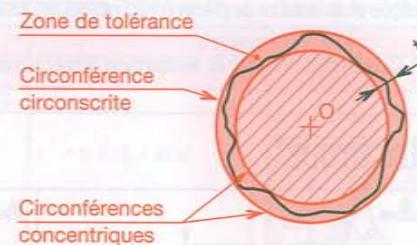


Illustration de la tolérance



Tolérance

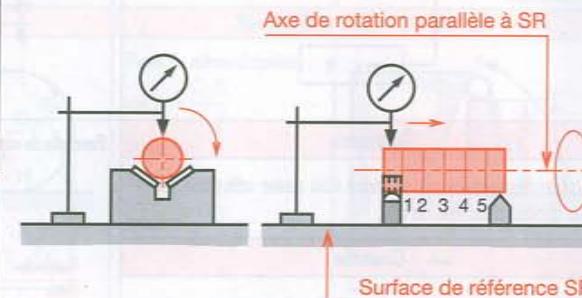
Le profil de chaque section droite doit être compris entre deux circonférences concentriques dont les rayons diffèrent de  $t$ . La circonference extérieure est la plus petite circonference circonscrite.

Contrôle (contrôle approché)

La pièce effectue une rotation complète. Écart maximal par section :  $2t$ .

Afin de réduire l'influence des défauts de forme, il est conseillé d'effectuer deux fois cette mesure : l'une avec un vé à  $90^\circ$ , l'autre avec un vé à  $120^\circ$ .

Exemple de contrôle



## 74.4 PARALLÉLISME\*\*

Dessin de définition

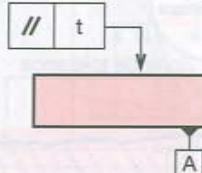
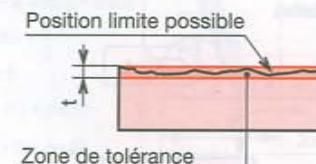


Illustration de la tolérance



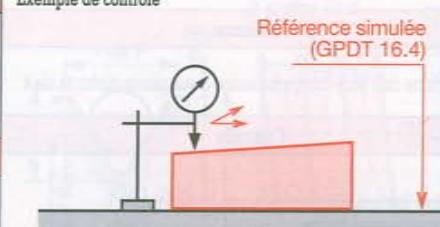
Tolérance (fig. 1)

En prenant chaque surface, à tour de rôle, comme référence, la surface contrôlée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de  $t$  et parallèles à la surface choisie comme référence.

Contrôle

Pour chaque contrôle, déplacer le comparateur sur toute la surface.  
Écart maximal toléré :  $t$ .

Exemple de contrôle



## 74.5 PERPENDICULARITÉ\*\*

Dessin de définition

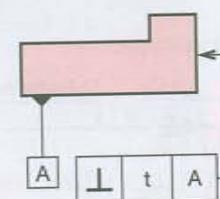
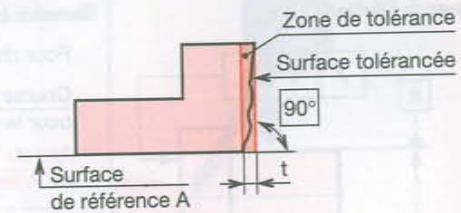


Illustration de la tolérance



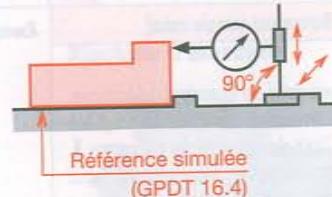
Tolérance

La surface tolérancée doit être comprise entre deux plans parallèles distants de  $t$  et perpendiculaires à la surface de référence A.

Contrôle

Déplacer le comparateur sur toute la surface.  
Écart maximal toléré :  $t$ .

Exemple de contrôle



## 74.6 COAXIALITÉ\*

Dessin de définition

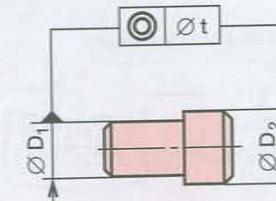
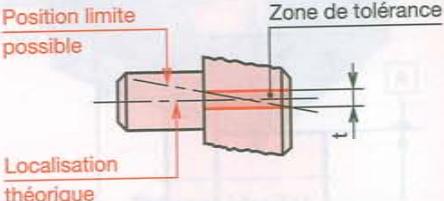


Illustration de la tolérance



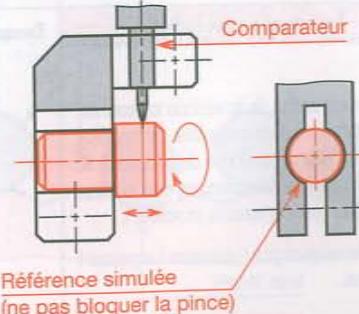
Tolérance

L'axe du cylindre de  $\varnothing D_2$  doit être compris dans une zone cylindrique de  $\varnothing D$  coaxiale à l'axe du cylindre de référence  $D_1$ .

Contrôle

Le centre de la section mesurée doit être dans un cercle de  $\varnothing t$  concentrique au  $\varnothing D_1$ . Répéter la mesure sur plusieurs sections.  
Écart maximal de mesure :  $t$ .

Exemple de contrôle

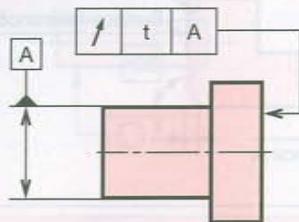


\* Voir GPDT 16.5. \*\* Voir GPDT 16.6.

\* Voir GPDT 16.7.

## 74.7 BATTEMENT\*

Dessin de définition

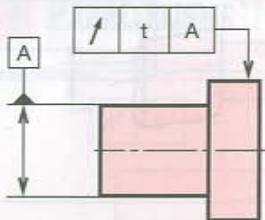


## Battement simple axial

Le battement axial de la surface tolérancée, lors d'une révolution complète de la pièce autour de l'axe du cylindre de référence **A**, ne doit pas dépasser séparément pour chaque diamètre  $d$  du cylindre de mesure, la valeur  $t$ .

Répéter la mesure sur plusieurs diamètres  $d$  différents.

Dessin de définition

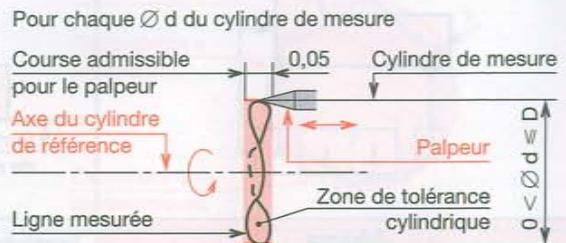


## Battement simple radial

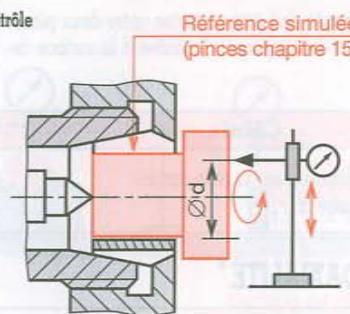
Le battement radial de la surface tolérancée, lors d'une révolution complète de la pièce autour de l'axe du cylindre de référence **A**, ne doit pas dépasser séparément, pour chaque position  $l$  du plan de mesure, la valeur  $t$ .

Répéter la mesure pour plusieurs longueurs  $l$  différentes.

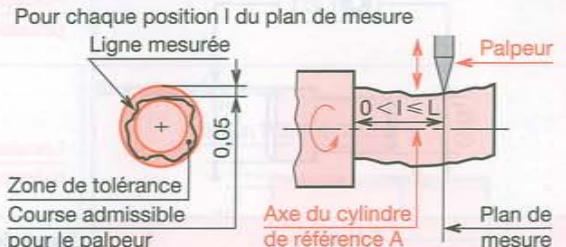
## Illustration de la tolérance



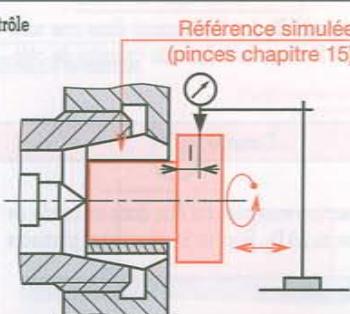
## Exemple de contrôle



## Illustration de la tolérance



## Exemple de contrôle



La mesure en coordonnées permet de contrôler, par mesures successives de points, la forme, les dimensions et la position de surfaces ou de profils quelconques.

## ÉLÉMENT 75.1

C'est la partie constitutive d'une pièce quelle qu'en soit la nature (surface, ligne, point).

- **Élément géométrique** : élément idéal dont la forme et les dimensions sont définies par le dessin.
- **Élément réel** : élément qui limite la pièce et la sépare du milieu qui l'environne.
- **Élément équivalent** : élément géométrique parfait, obtenu après traitement mathématique de la position des divers points palpés.

## POINTS DE MESURE 75.2

La détermination de la forme, des dimensions et de la position d'un élément équivalent nécessite un nombre de points de mesure fonction notamment de la géométrie de l'élément, des dimensions et de la précision recherchée.

À partir d'un élément réel, le tableau ci-dessous donne le nombre minimal de points de mesure.

## NOMBRE MINIMAL DE POINTS

Élément	Nombre théorique	Nombre recommandé
Droite	2	5
Cercle	3	7
Plan	3	9
Sphère	4	9
Cylindre	5	12
Cône	6	12

## Palpage



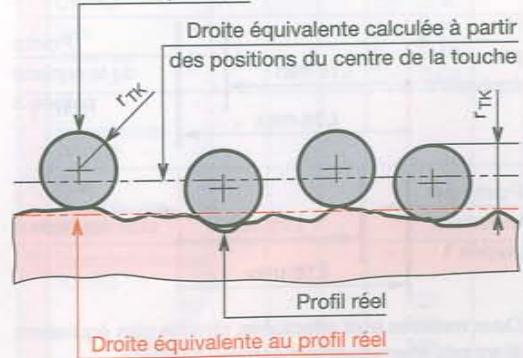
Cl. Renault

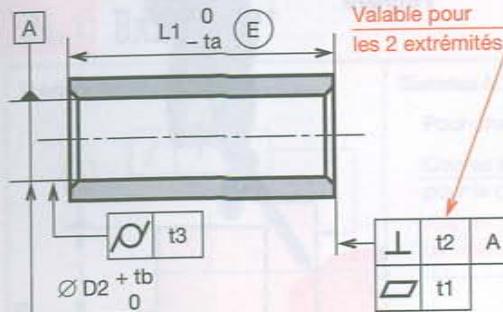
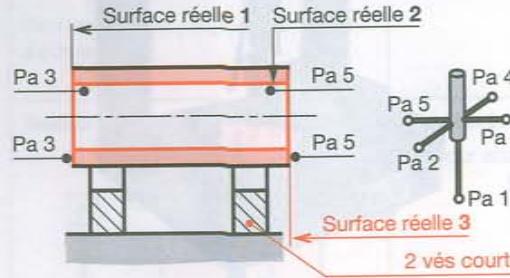
## Machine à mesurer



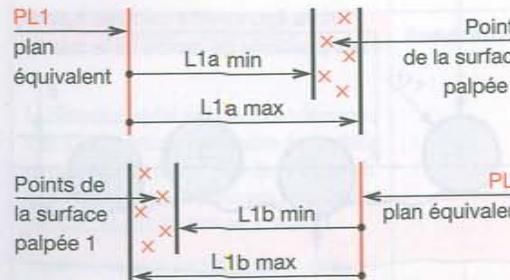
## Élément (droite)

## Touche sphérique



**Dessin de définition partiel****Modèle géométrique****Mise en position - Choix des palpeurs****Interprétation des spécifications**

Exemple : Longueur L1



Deux mesures sont effectuées, chaque plan équivalent étant pris alternativement comme référence.

**75.3 MESURE SUR M.M.T.\***

Soit à mesurer les spécifications suivantes du tube ci-contre :

- Longueur : L1 - ta
- Diamètre : D2 0
- Planéité : t1
- Perpendicularité : t2
- Cylindricité : t3

**75.4 MÉTHODE****1° Analyser le dessin de définition**

Le dessin de définition comporte notamment des spécifications dimensionnelles, de forme, de position et d'orientation qui doivent être interprétées avec rigueur.

**2° Établir un modèle géométrique**

Faire un schéma à partir des éléments à mesurer. Identifier et repérer chacun des éléments : plan 1 et 3 ; cylindre 2.

**3° Définir la mise en position, le maintien en position et choisir les palpeurs**

La mise en position et le maintien en position sont choisis de manière à ne pas gêner le passage des palpeurs.

Le choix des palpeurs est fonction de l'accèsibilité des éléments. Pour un même élément, plusieurs palpeurs peuvent être utilisés.

**4° Palper les éléments**

Les palpeurs étant étalonnés, on procède au palpage des éléments (plan 1 : palpeur Pa 3 ; cylindre 2 : palpeurs Pa 3 et Pa 5, etc.).

Cette opération donne une image de chaque élément constituée par un nuage de points.

\* M. M. T. : Machine à mesurer tridimensionnelle.

**5° Interpréter les spécifications**

Les menus des logiciels ne permettent pas toujours une mesure directe des spécifications. Dans ce cas, il est nécessaire d'effectuer des constructions pour interpréter correctement les spécifications.

**6° Réaliser les constructions**

Pour cette application, la mesure de l'écart de perpendicularité nécessite la construction d'un plan perpendiculaire à CY2 :

- point PT4, intersection de CY2 avec PL1,
- plan PL6 passant par PT4 et  $\perp$  à CY2.

**7° Choisir les menus - Vérifier les spécifications**

Planéité t1 = 0,05

Obtenue directement lors du palpage. On peut appliquer le menu :

« Ensemble de distances Surface PL1/Plan PL1 ».

Perpendicularité t2 = 0,05

« Ensemble de distances Surface PL1/Plan PL6 ».

Cylindricité t3 = 0,01

« Ensemble de distances CY2/CY2 ».

Diamètre D2 = 32  $+0,05$ 

C'est le même menu que pour la cylindricité :

« Ensemble de distances CY2/CY2 ».

Longueur L1 = 142  $-0,1$ 

La détermination de la distance entre deux surfaces nécessite deux mesures, chaque surface étant alternativement prise comme plan de référence. La mesure la plus défavorable est retenue.

« Ensemble de distances Surface PL1/Plan PL3 ».

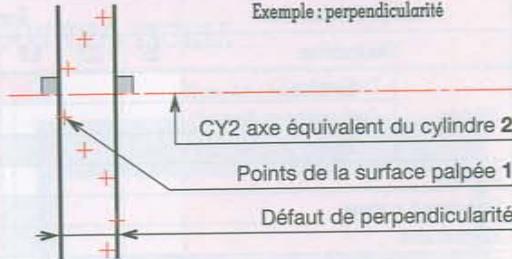
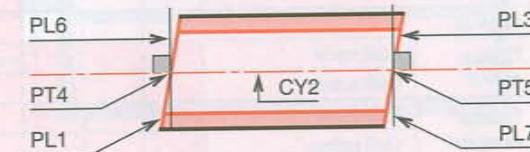
« Ensemble de distances Surface PL3/Plan PL1 ».

\* Df : Défaut.

\*\* Do : diamètre de la sphère de référence.

**Interprétation des spécifications**

Exemple : perpendicularité

**Réalisation des constructions****Compte-rendu de mesure**

N° op.	Opérations	N° él. Cote nom.	Nb Pt. Tol. max	Tol min	Df * Résultats	Écarts
1	Palpeur Pa5	1,965			Df = 0,010 Do = 29,369	
2	Palpeur Pa3	1,834			Df = 0,014 Do** = 29,369	
3	Plan mesuré		1 9		0,016	
4	Cylindre mesuré Diamètre	32,000	11 0,050	0	0,035 32,035	
5	Plan mesuré		3 7		0,04	
6	Point intersection CY2 / PL1		4		X = 98,181 Y = 57,556 Z = 13,393	
7	Point intersection CY2 / PL3		5		X = 93,254 Y = -84,334 Z = 13,453	
8	Plan perpendiculaire PT4 / CY2		6			
9	Plan perpendiculaire PT5 / CY2		7			
10	Ensemble de distances PL1 / PL6		Max Min Etendue		0,021 -0,018 0,039	

Procédé d'élaboration		Écart moyen arithmétique Ra en micromètres										
Désignation		25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05	0,025
Alésage	Outil rapide											
	Outil carbure ou diamant											
	À l'alésoir											
Brochage												
Découpage à la presse												
Électroérosion												
Électropolissage												
Estampage												
Étirage à froid												
Forgeage												
Fraisage en bout	Outil rapide											
	Outil carbure											
Fraisage en roulant	Outil rapide											
	Outil carbure											
Galetage												
Grenailage												
Grattage												
Laminage à chaud												
Laminage à froid												
Matiçage	À chaud											
	À froid											
Meulage	À main											
	Au disque											
Moulage	Électrolytique											
	Au sable											
	Cire perdue											
	Coquille gravité											
Moulage plastique	Coquille pression											
Percage												
Pierrage												
Polissage	Mécanique											
	Électrolytique											
Rectification cylindrique												
Rectification plane												
Rectification à la meule diamantée												
Rodage au rodoir												
Sablage												
Sciage												
Tournage	Outil rapide											
	Outil carbure ou diamant											

Valeurs usuelles

Valeurs exceptionnelles

## 77.1 ÉCHANTILLONS DE COMPARAISON VISO-TACTILE

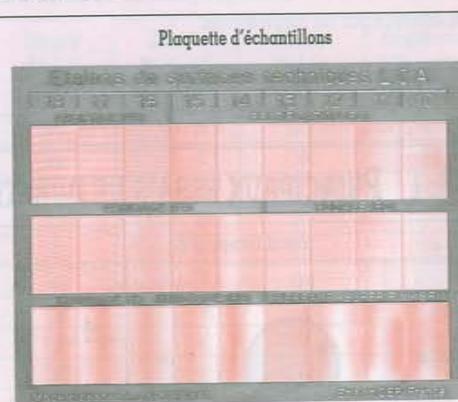
Les échantillons de surface se présentent sous la forme de séries de plaquettes numérotées.

Chaque échantillon matérialise, en fonction d'un critère de rugosité Ra\* et d'un procédé d'usinage, l'état de surface obtenu.

La surface à contrôler est comparée à l'échantillon d'état de surface correspondant à la valeur Ra spécifiée et au mode d'usinage utilisé.

La comparaison peut être :

- visuelle, à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe,
- tactile par toucher avec le bout d'un doigt ou par frottement léger avec l'extrémité d'un ongle.



Cl. Chevalier - Bohan - Molina.

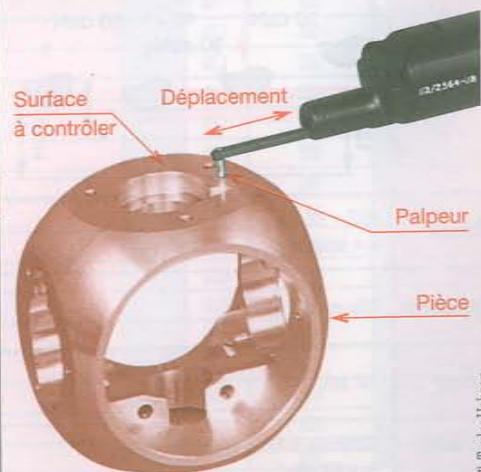
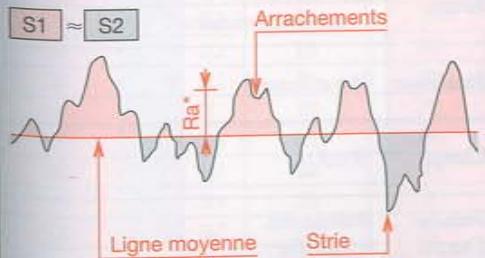
N° échantillon	18	17	16	15	14
Ra en µm**	12,5	6,30	3,60	1,60	0,80
N° échantillon	13	12	11	10	9
Ra en µm**	0,40	0,20	0,10	0,05	0,025

## 77.2 RUGOSIMÈTRE – APPAREILS À CAPTEUR ÉLECTRONIQUE

Le contrôle est fait par palpation de la surface à l'aide d'un palpeur à aiguille (comparable à la lecture d'un disque microsillon).

Le résultat de la mesure est chiffré et le profil de la surface peut être enregistré graphiquement, ce qui permet de conserver une trace écrite.

### Analyse de l'enregistrement

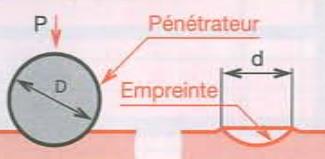
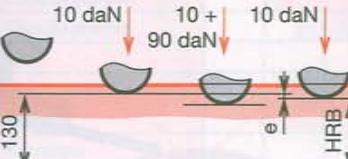
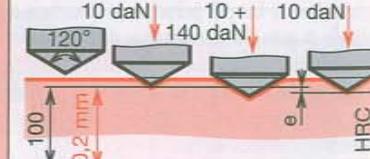


Cl. Taylor Hobson.

\* Voir GPDT chapitre 13. \*\* µm = micromètre.

La dureté est la résistance que présente un solide à sa pénétration par un autre solide.

## 78.1 PRINCIPAUX ESSAIS DE DURETÉ

Essai Brinell (HB)		Essai Vickers (HV)	
Principe	Principe	Principe	Principe
			
HB = $\frac{\text{charge d'essai (daN)}}{\text{aire de l'impression (mm}^2)}$ .	HV = $\frac{\text{charge d'essai (daN)}}{\text{aire de l'impression (mm}^2)}$ .		
HB = $\frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$ .	HV = $\frac{P}{d^2/2 \sin(136/2)} = \frac{1,854 P}{d^2}$ .		
Pénétrateur	Bille en acier Ø 10,5 ; 2,5 ou 1.	Pénétrateur	Pyramide en diamant.
Charge	P = 30 D <sup>2</sup> pour les aciers.	Charge	1,5 ; 10 ; 20 ; 30 ; 50 ; 80 ; 120 daN.
Domaine d'emploi	Matériaux de dureté faible et moyenne. Pièces rigides.	Domaine d'emploi	Matériaux de dureté moyenne et élevée. Pièces réfléchissantes.
Essai Rockwell B (HRB)		Essai Rockwell C (HRC)	
Principe	Principe	Principe	Principe
			
HRB = 130 - e. e = déformation rémanente.		HRC = 100 - e. e = déformation rémanente.	
Pénétrateur	Bille en acier Ø 1,6.	Pénétrateur	Cône en diamant.
Charge	100 daN.	Charge	150 daN.
Domaine d'emploi	Matériaux de faible et moyenne dureté. R <sub>r</sub> < 800 MPa*.	Domaine d'emploi	Matériaux durs. R <sub>r</sub> > 800 MPa*.

## ESSAI DE DURETÉ

L'essai consiste à appliquer une charge P à un pénétrateur en contact avec la pièce. L'empreinte est plus ou moins profonde en fonction de la dureté du matériau.

## 78.2 CONVERSION DE LA DURETÉ ET DE LA RÉSISTANCE À LA TRACTION\*

Dureté Brinell HB**	Dureté Rockwell HRB	Dureté Rockwell HRC	Dureté Vickers HV	Résistance à la traction R en MPa	Dureté Brinell HB**	Dureté Rockwell HRB	Dureté Rockwell HRC	Dureté Vickers HV	Résistance à la traction R en MPa
80	36,4		80	270	275		26,9	275	920
85	42,4		85	290	280		27,6	280	940
90	47,4		90	310	285		28,3	285	950
95	52		95	320	290		29	290	970
100	56,4		100	340	295		29,6	295	990
105	60		105	360	300		30,3	300	1 010
110	63,4		110	380	310		31,5	310	1 040
115	66,4		115	390	320		32,7	320	1 080
120	69,4		120	410	330		33,8	330	1 110
125	72		125	420	340		34,9	340	1 150
130	74,4		130	440	350		36	350	1 180
135	76,4		135	460	359		37	360	1 210
140	78,4		140	470	368		38	370	1 240
145	80,4		145	490	376		38,9	380	1 270
150	82,2		150	500	385		39,8	390	1 290
155	83,8		155	520	392		40,7	400	1 320
160	85,4		160	540	400		41,5	410	1 350
165	86,8		165	550	408		42,4	420	1 380
170	88,2		170	570	415		43,2	430	1 410
175	89,6		175	590	423		44	440	1 430
180	90,8		180	610	430		44,8	450	1 460
185	91,8		185	620			45,5	460	
190	93		190	640			46,3	470	
195	94		195	660			47	480	
200	95		200	670			47,7	490	
205	95,8		205	690			48,3	500	
210	96,6		210	710			49	510	
215	97,6		215	720			49,7	520	
220	98,2		220	740			50,3	530	
225	99		225	760			50,9	540	
230		19,2	230	770			51,5	550	
235		20,2	235	780			52,1	560	
240		21,2	240	800			52,8	570	
245		22,1	245	820			53,3	580	
250		23	250	830			53,8	590	
255		23,8	255	850			54,4	600	
260		24,6	260	870			54,9	610	
265		25,4	265	880			55,4	620	
270		26,2	270	900			55,9	630	

\* Conversion approximative valable pour les aciers. \*\* P = 30 D<sup>2</sup> (voir § 78.1).

EURONORM 8-55

1

**Ambiances physiques**

2

**Ambiance sonore****SEUILS CRITIQUES**

Temps en h	Bruit en dB
8 h	85
6 h	92
3 h	97
1 h 30 min	102
0 h 30 min	110

3

**Ambiance thermique****TEMPÉRATURES RECOMMANDÉES**

Activités	Température du local en °C
Travail sédentaire	21
Travail manuel léger assis	19
Travail manuel léger debout	18
Travail pénible	17

4

**Ambiance lumineuse****ÉCLAIREMENTS RECOMMANDÉS**

Poste de travail	Éclairage en lux
Machines-outils et établis	300
Réglages machines automatisées	700
Contrôles microtechniques	3 000
Contrôles fins	1 000
Contrôles moyens	300
Montages microtechniques	1 500
Montages fins	1 000
Montages moyens	300

**79.1 ERGONOMIE**

L'ergonomie est la science de l'adaptation des conditions de travail aux possibilités humaines dans un contexte de sécurité totale.

**79.2 AMBIANCES PHYSIQUES**

Les ambiances physiques dans lesquelles sont intégrées les postes de travail doivent répondre à certaines normes pour remédier à leurs effets sur l'activité ou sur l'organisme.

**AMBIENCE SONORE**

Le seuil critique est défini par le bruit continu en décibels (dB) que l'on peut supporter pendant un temps à ne pas dépasser. Par exemple, 110 dB pendant 30 minutes au maximum représentent le seuil critique équivalent de bruit continu ( $N_{eq}$ ).

**AMBIENCE THERMIQUE**

Les températures recommandées en degrés Celsius (°C) sont fonction des activités au poste de travail. Par exemple, pour un travail manuel léger assis, la température recommandée est de 19 °C.

**AMBIENCE LUMINEUSE**

Pour un travail donné, le degré de confort visuel est fonction du niveau d'éclairement en lux (lx). Par exemple, pour un éclairage général de machines-outils et établis, l'éclairement recommandé est de 300 lx.

**VIBRATIONS**

Si un poste de travail présente des vibrations anormales, en déceler la cause et la signaler aussitôt.

**SÉCURITÉ**

Un bon poste de travail permet d'effectuer une activité en toute sécurité (écran protecteur, arrêt coup de poing, impossibilité de mise en marche si les dispositifs de sécurité ne sont pas en place, etc.).

Pour chaque poste de travail, une fiche doit préciser les procédures de sécurité à respecter.

**CONCEPTION D'UN POSTE**

Les éléments à prendre en compte sont :

- la posture,
- l'atteinte visuelle,
- les efforts à exercer,
- l'atteinte manuelle.

**79.31 POSTURE**

La posture est l'élément primordial ; les autres éléments matériels du poste sont à définir par rapport à elle.

La posture « assis » est à préférer à la posture « debout ».

L'alternance entre posture « assis » et posture « debout » est recommandée (moyen de pallier la fatigue musculaire statique).

La posture debout se justifie par le processus de travail :

- poste non fixe,
- poste fixe avec manipulation de charges lourdes.

**79.32 ATTEINTE VISUELLE**

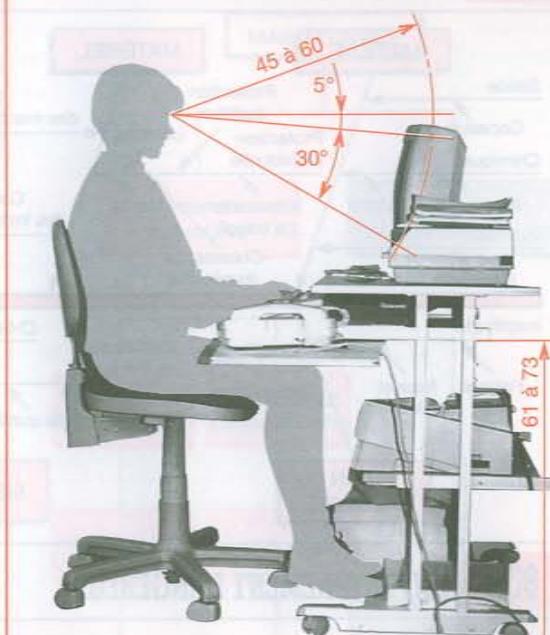
Elle est définie par la direction du regard et la distance « œil-tâche visuelle ».

**79.33 EFFORTS À EXERCER**

Les efforts à exercer sur un poste de travail (sens et direction) ne doivent en aucun cas altérer le confort postural initialement prévu.

**79.34 ATTEINTE MANUELLE**

Toutes les opérations manuelles doivent assurer le confort au niveau des articulations et être compatibles avec les différentes mensurations des opérateurs.

**Poste de travail informatisé**

Cotes en cm.

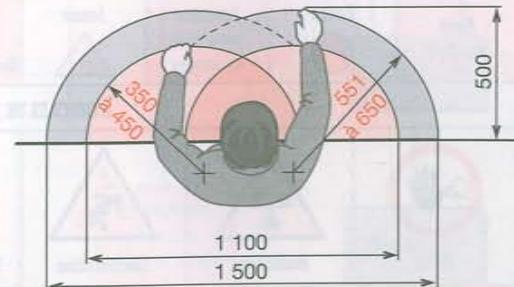
**QUALITÉ DE L'ÉCRAN ET CARACTÈRES**

Une stabilité de réglage de la luminosité

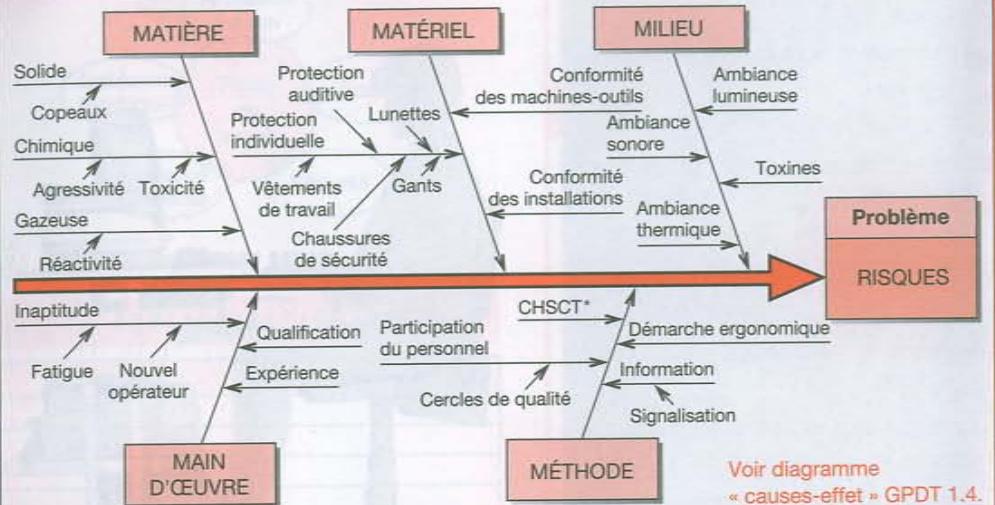
Une vitre écran, qualité anti-reflets

Des caractères en continu

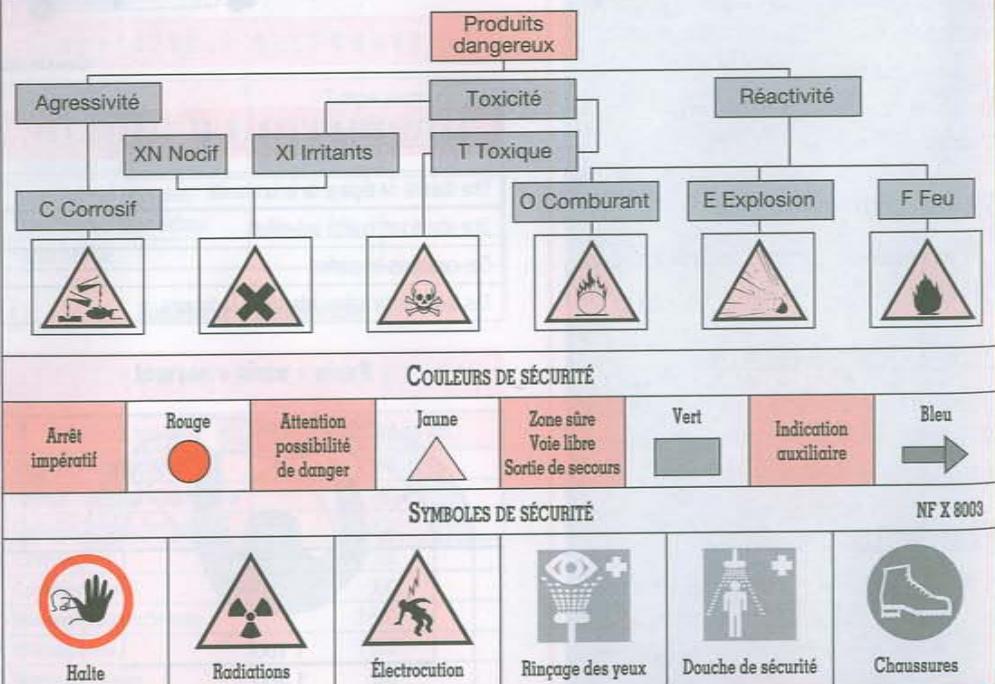
Des tailles de caractères adaptées à la distance

**Poste « assis » normal**

## 80.1 RISQUES PROFESSIONNELS

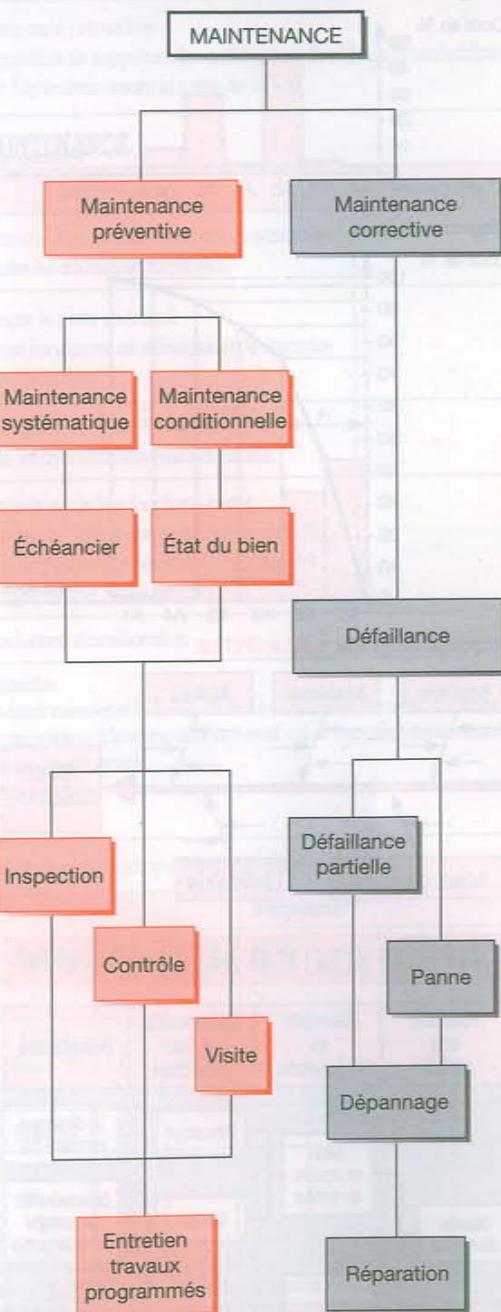


## 80.2 ENVIRONNEMENT DANGEREUX



\* CHST : Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail.

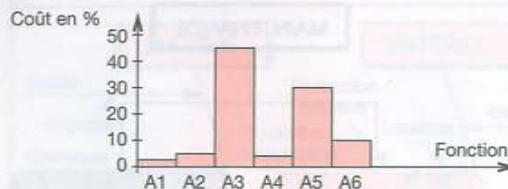
## Concepts de maintenance



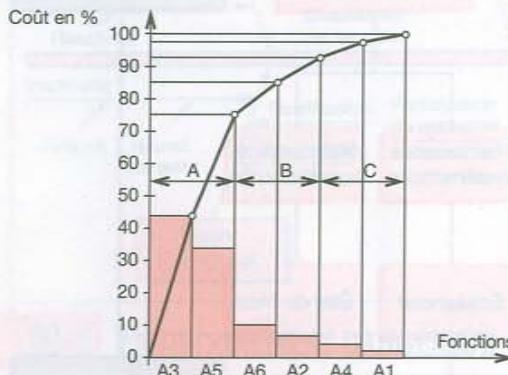
\* Par exemple, une machine-outil est un bien.

**Outils d'analyse**

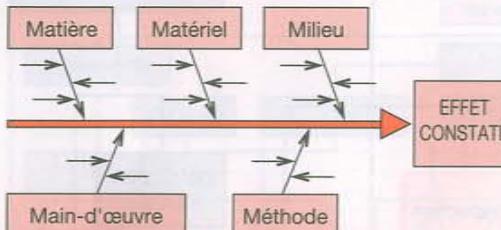
Histogramme des coûts par fonction (GPDT 1.5)



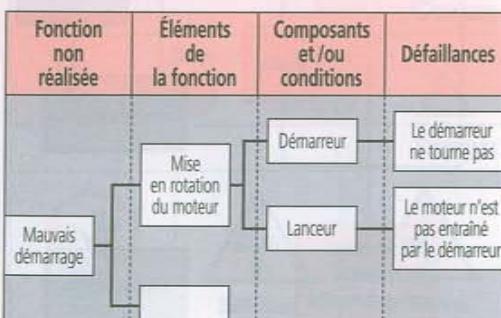
## Diagramme de Pareto



## Diagramme causes-effet (§ 80.1 et GPDT 1.4)



## ARBRE DE RECHERCHE DES DÉFAILLANCES

**82.1 MAINTENANCE PRÉVENTIVE**

Elle s'inscrit dans le choix d'une politique de qualité (voir chapitre 91).

La qualité est l'aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire les besoins des utilisateurs (X 50-109).

L'objectif de la maintenance préventive est le **zéro panne** afin d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation.

**MÉTHODE**

- 1 Fichier historique.
- 2 Classement des pannes par nature.
- 3 Histogramme des coûts par fonction.
- 4 Diagramme de Pareto.
- 5 Diagramme causes-effet.
- 6 Examen critique.
- 7 Remontée des informations aux préparateurs.
- 8 Cercles de qualité.

**82.2 MAINTENANCE CORRECTIVE**

Elle s'applique quand il y a une panne.

**LES DIX ÉTAPES DU DÉPANNAGE RATIONNEL**

- 1 Analyser la situation.
- 2 Parer au plus pressé.
- 3 Diagnostiquer les causes possibles.
- 4 Vérifier chaque cause possible.
- 5 Diagnostiquer les conséquences possibles.
- 6 Réparer les causes.
- 7 Remédier aux conséquences possibles.
- 8 Tester le dépannage.
- 9 Vérifier les matériels semblables.
- 10 Rédiger le rapport.

**82.3 MAINTENANCE DU POSTE DE TRAVAIL**

La maintenance du poste de travail est une action de maintenance préventive.

Elle consiste en une série d'actions prédéterminées dans l'intention de supprimer les accidents et de réduire la probabilité de défaillance d'un matériel. Les actions sont effectuées par l'opérateur tenant le poste de travail.

**82.3.1 EXEMPLE DE PROCÉDURE D'AUTO-MAINTENANCE**

Étape	Description	Temps prévu
1 Faire une inspection générale	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ À faire conformément au manuel d'inspection générale.</li> <li>■ Consigner* toutes les anomalies constatées.</li> </ul>	
2 Mettre en ordre le poste de travail	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nettoyer et ranger le poste de travail.</li> <li>■ Consigner toutes les sources de salissures et de désordre en vue de leur élimination.</li> </ul>	-
3 Vérifier le fonctionnement des sécurités	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Chek-list** à cocher.</li> <li>■ Consigner tous les dysfonctionnements constatés.</li> </ul>	-
4 Vérifier l'aptitude à l'emploi du poste de travail	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Faire un diagnostic sur le bon fonctionnement de la machine, des outillages, des matériaux de contrôle...</li> <li>■ Consigner tous les dysfonctionnements ou non respect des normes, règlements et règles de l'art.</li> </ul>	-
5 Avoir un comportement participatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Proposer des solutions d'amélioration.</li> </ul>	Cercle de qualité***

\* Consigner : mettre par écrit ce que l'on veut transmettre au responsable.

\*\* Chek-list : liste détaillée de questions qui permettent de vérifier le fonctionnement et le réglage de tous les organes et dispositifs concernés.

\*\*\* Cercle de qualité : groupe permanent de personnes volontaires, appartenant à la même unité de travail, qui se réunissent régulièrement pour choisir, étudier et résoudre les problèmes liés à la qualité concernant leurs activités.

**82.3.2 EXEMPLE DE FICHE DE GRAISSAGE**

IMPORTANT : Avant tout graissage, pour éviter l'introduction d'impuretés, nettoyer les graisseurs.

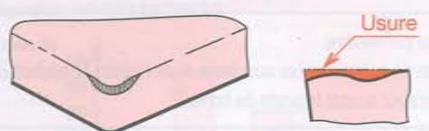
Organes	Opérations	Quantité	Produit	Fréquences**					
				Jour	Hebdo	Mois	3 mois	6 mois	Particularis
Boîte de vitesses	Remplissage Vérification niveau Vidange	3 L	ANTAR Misola - BH Viscosité 5*		E***		5***		
Poulie boîte de vitesses	Garnissage de graisse		Rolex A2				6***		
Broche	Remplissage Vérification circulation Vérification niveau Vidange	5 L	ANTAR Misola BH Viscosité 5	D***		4***			8***
Boîte d'avances					C***		7***		

\* Résistance d'un fluide à l'écoulement.

\*\* Symboles normalisés NF E 60-200.

\*\*\* Repères des graisseurs.

## Vérifier l'usure des outils



Afin d'obtenir un usinage conforme aux spécifications, vérifier avant chaque montage, l'état d'usure de l'outil. Voir chapitre 28.

## Vérifier l'état des supports d'outils



Changer toute cale support et tout porte-outils endommagés.

## Vérifier l'état des surfaces d'appui



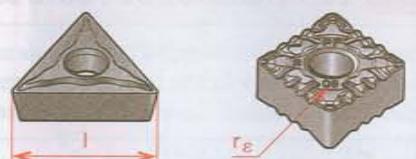
Les surfaces d'appui des outils doivent être parfaitement propres et non endommagées.

## Maîtriser le montage des plaquettes



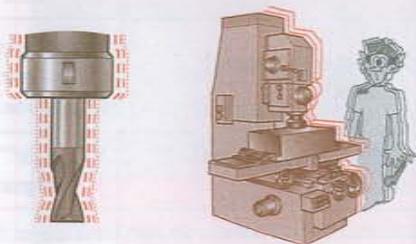
- Changer les vis endommagées.
- Lubrifier les vis.
- Utiliser un outil de serrage adapté.
- Pousser la plaquette sur ses appuis.
- Serrer au couple spécifié.

## Vérifier les caractéristiques de l'outil



La sécurité de production est directement fonction du bon choix de l'outil et des conditions d'usinage.

## Vérifier la stabilité



Le manque de stabilité et les vibrations sont toujours cause de dommages.

## Vérifier la propriété des logements



Avant la mise en place d'une plaquette ou d'une indexation, nettoyer méticuleusement le logement.

## Maîtriser le rangement



- Une place pour chaque outil.
- Chaque outil à sa place.

D'après Sandvick.

Le nombre de pièces à fabriquer étant défini selon l'ordre proposé (O.P.), il faut tenir compte de la charge des machines.

## DÉFINITIONS 84.1

■ **Capacité** : pour une période donnée, c'est le nombre d'heures de travail que peut absorber une machine ou un atelier.

■ **Charge** : pour une période donnée, c'est le nombre d'heures de travail affecté à une machine ou un atelier.

■ **Sous-chARGE** : il y a sous-chARGE lorsque la machine ou l'atelier a un taux d'occupation inférieur à sa capacité.

■ **Surcharge** : Il y a surcharge lorsque la machine ou l'atelier a un taux d'occupation supérieur à sa capacité.

■ **Lissage** : C'est une opération d'équilibrage des charges qui consiste à faire glisser les surcharges en périodes de sous-chARGE.

## REMARQUE

Le lissage peut également conduire à faire appel ou à la sous-traitance.

## MÉTHODE 84.2

■ Calculer la charge de la machine :

$$\text{Charge} = Ts + Tu \times Q$$

$Ts$  = temps série (temps d'équipement machine).

$Tu$  = temps unitaire d'exécution de la pièce.

$Q$  = nombre de pièce à fabriquer pour la période.

■ Comparer graphiquement les charges avec la capacité de la machine.

■ Équilibrer si besoin par lissage en faisant glisser les surcharges vers les périodes de sous-chARGE en tenant compte des délais.

## ORDRES PROPOSÉS - CAPACITÉS

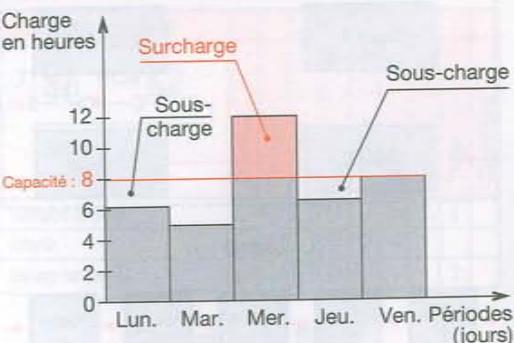
Périodes	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
O.P.	85	70	180	80	90
Capacité (h)	8	8	8	8	8

## CALCUL DES CHARGES (CH) en heures

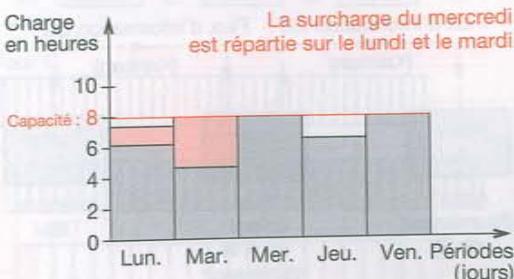
Ts* (h)	0,5**	-	-	0,5	0,5
Tu (min)	4	4	4	4,5	5
Q = OP	85	70	180	80	90
CH = Ts + (Tu × Q)/60	6,16	4,66	12	6,5	8

Calcul de la charge pour le lundi :  $Ts = 0,5 \text{ h}$  ;  $Tu = 4 \text{ min}$  ;  $Q = OP = 85$   
 $\rightarrow CH = Ts + (Tu \times Q)/60 = 0,5 + (4 \times 85)/60 = 6,16 \text{ h}$ .

## Graphique des charges



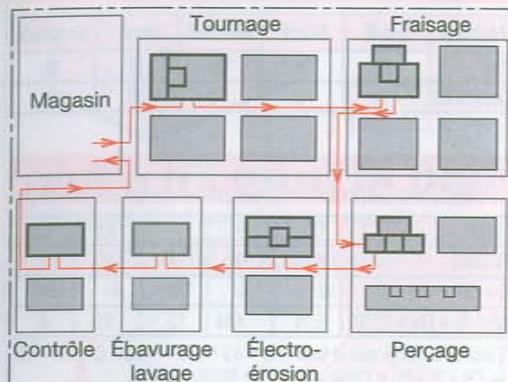
## Équilibrage des charges (lissage)



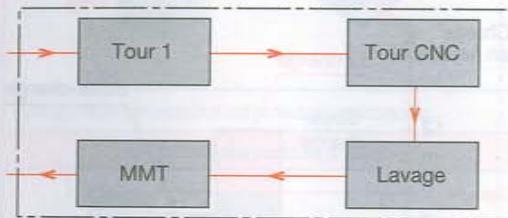
\* Ce temps est variable suivant l'équipement. Dans cet exemple, il s'agit d'un temps moyen.

\*\* Le temps  $Ts$  n'est compté qu'une fois pour les 3 premiers jours car c'est la même pièce qui est usinée.

## Sections homogènes



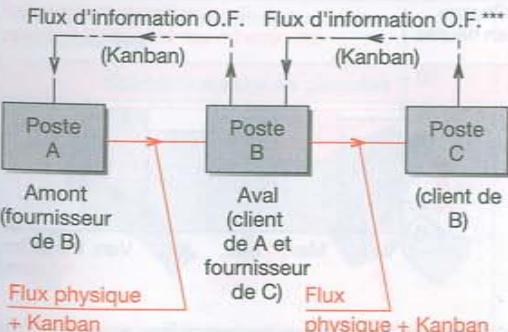
### Îlot



### Ligne



### Pilotage de flux par la méthode Kanban



\* La norme NF X 50-301 distingue deux types de flux : le flux matière et le flux d'information. \*\* Kanban : mot japonais signifiant étiquette. \*\*\* Ordre de fabrication.

En fabrication, on distingue deux types de flux\* :

- le flux continu,
- le flux discontinu.

La production en continu ou en ligne concerne les très grandes séries type automobile.

La production en discontinu s'applique aux pièces de types variés en quantités limitées, ce qui est le cas des petites et moyennes séries.

Les flux de produits, résultent des facteurs suivants : implantation des machines, moyens de productions, gammes, quantités à fabriquer, maîtrise des processus.

## 85.1 TYPES D'IMPLANTATION

L'implantation des moyens de production dépend des typologies de pièces, des quantités à fabriquer, des gammes... :

- **Sections homogènes** pour les pièces unitaires ou les petites séries non renouvelables.
- **Îlots de production** pour les petites et moyennes séries de pièces d'une même famille.
- **Lignes de production** pour les grandes séries.

## 85.2 PILOTAGE DE FLUX

Le pilotage des flux peut s'effectuer à l'aide des moyens suivants : calcul de besoin (M.R.P.), Kanban, O.P.T.

### 85.21 CALCUL DES BESOINS

Effectué à partir de la nomenclature et des prévisions de ventes, ce calcul donne la quantité de pièces, les dates de lancement et de réception des pièces fabriquées.

### 85.22 KANBAN\*\*

Ce type de pilotage s'applique à des pièces dont le processus est parfaitement maîtrisé, il requiert une structure d'îlot.

Le flux est dit « tiré » car le démarrage de la production s'effectue à partir de la commande du client. Le flux est continu, les pièces sont placées dans des containers. La gestion à l'aide de Kanban est interne.

### PRINCIPE DU KANBAN

- L'opérateur du poste A ayant terminé la fabrication d'un container, il y joint le Kanban et achemine l'ensemble vers le poste B.
- L'opérateur du poste B ne travaille que s'il reçoit un container. L'ayant usiné, il en enlève le Kanban et le renvoie au poste A, ce qui constitue un ordre de fabrication (O.F.) d'un container.

### 85.23 O.P.T.\*

Ce type de pilotage est fondé sur le principe suivant : on peut fabriquer plus que ce que le poste goulet peut lui-même fabriquer. Ainsi, le goulet détermine le débit de pièces et les stocks.

Les goulets sont les postes qui ont le plus grand rapport charge/capacité (voir chapitre 84).

## ANALYSE DE FLUX 85.3

L'analyse peut être faite directement sur le terrain à l'aide de « l'analyse de déroulement ».

La méthode consiste à :

- faire un plan,
- recenser les différentes étapes du processus,
- pour chaque séquence : symboliser les flux, noter la distance, la quantité, le temps, noter toute observation utile sur le déroulement,
- faire le bilan : flux mini, goulet.

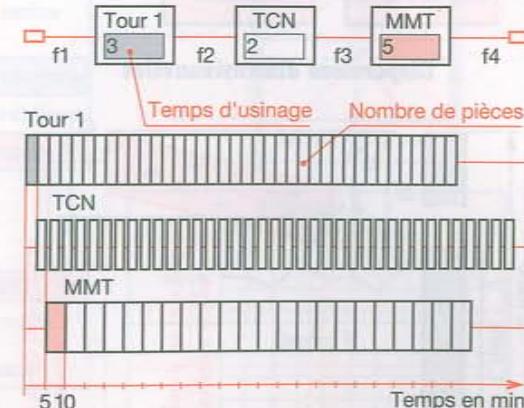
L'analyse peut également être faite par simulation avec un logiciel tel que « cadence »\*\*\* selon l'exemple ci-contre.

Nom	Symbol	Description
Opération	○	Étape principale d'un processus, incluant une transformation des caractéristiques du produit.
Transfert	→	Mouvement de l'opérateur ou, et de la pièce.
Stockage Déstockage	▽	Stockage contrôlé.
Retard ou attente	D	Retard dans la séquence (ex. un opérateur attend entre deux opérations consécutives ou bien la pièce est mise de côté temporairement).
Contrôle	□	Contrôle de qualité ou une mesure.

### EXEMPLE D'ANALYSE DE DÉROULEMENT

Processus actuel		Opération	Transport	Contrôle	Attente	Stockage	Distance	Quantité	Temps	Observation
T1	TCN	○	→	□	D	▽	3 m	50	2	
MMT		○	→	□	D	▽				
Transport de pièces		○	→	□	D	▽				
Attente		○	→	□	D	▽	-	*		
Usinage sur tour T1		○	→	□	D	▽	-	1	3	

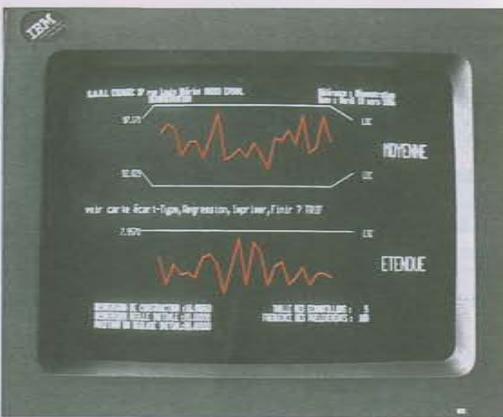
### Simulation du flux\*\*



\* Optimized Production Technology (technologie de production optimisée).

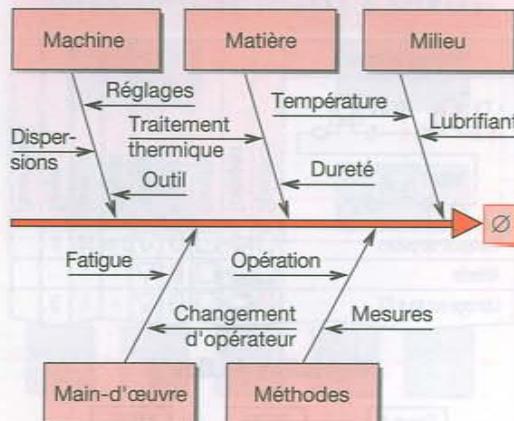
\*\* Les temps manuels sont supposés négligeables.

\*\*\* Cadence : GOGIN 35510 - Cesson-Sévigné.

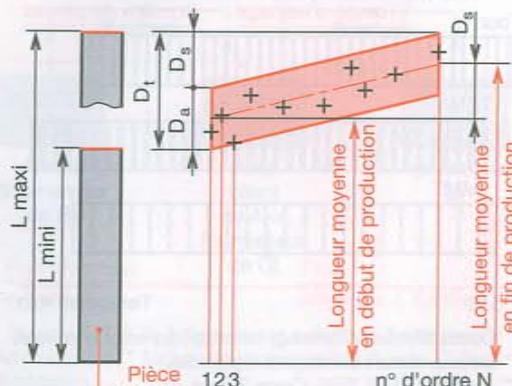


Cl. Chevalier - Bohm - Molitor

### Causes de variabilité d'une dimension



### Dispersions dimensionnelles



## S.P.C. CARTES DE CONTRÔLE

Le S.P.C. (Statistical Process Control) ou M.S.P. (Maîtrise Statistique des Procédés) est un outil de la qualité qui a pour objectifs la mesure, l'amélioration et la maîtrise d'un procédé de fabrication. Cette méthode met en œuvre des cartes de contrôle.

### 86.1 VARIATION DIMENSIONNELLE DES PIÈCES

Au cours d'une fabrication, les dimensions des pièces varient. Le diagramme des « 5 M », Machine, Matière, Milieu, Main-d'œuvre, Méthodes résume les causes de variabilité.

Ces causes de variation des dimensions sont de deux natures :

■ **Aléatoires** tels que les écarts de mise en position, les déformations dues aux efforts de maintien en position, le manque de rigidité du montage, la flexion des outils, etc.

■ **Non aléatoires** ou « assignables », tels que l'usure de l'outil, le changement d'équipe, le changement de procédure, le changement de matériel de mesure...

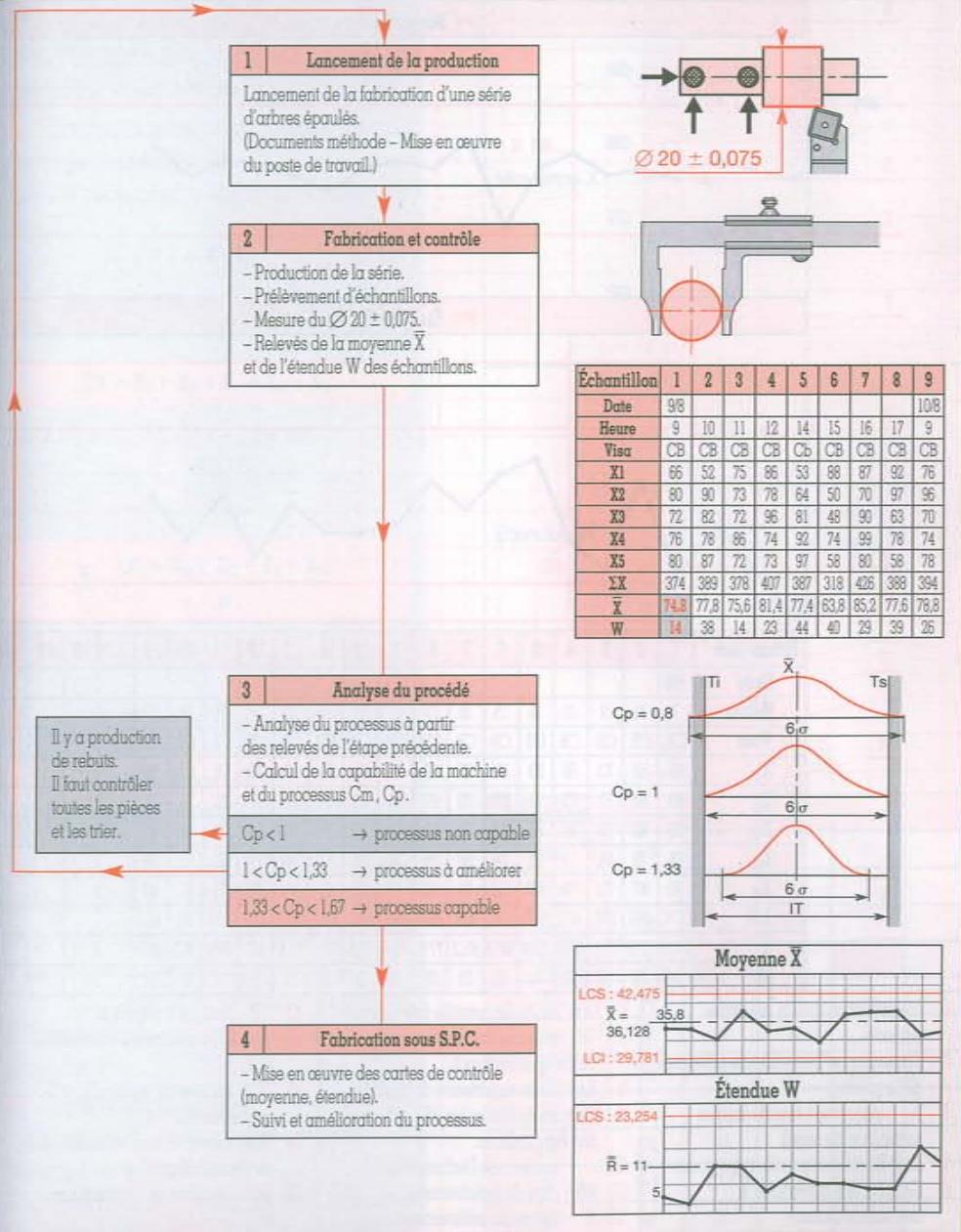
### 86.2 DISPERSIONS

Soit une série de pièces usinées sans déréglage. La représentation graphique des différentes longueurs  $L_1, L_2 \dots L_n$  des pièces dans l'ordre de leur usinage, fait apparaître une dispersion aléatoire  $D_a$  et une dispersion systématique  $D_s$  due à l'usure de l'outil.

La dispersion totale  $D_t$  est égale à  $D_a + D_s$ .

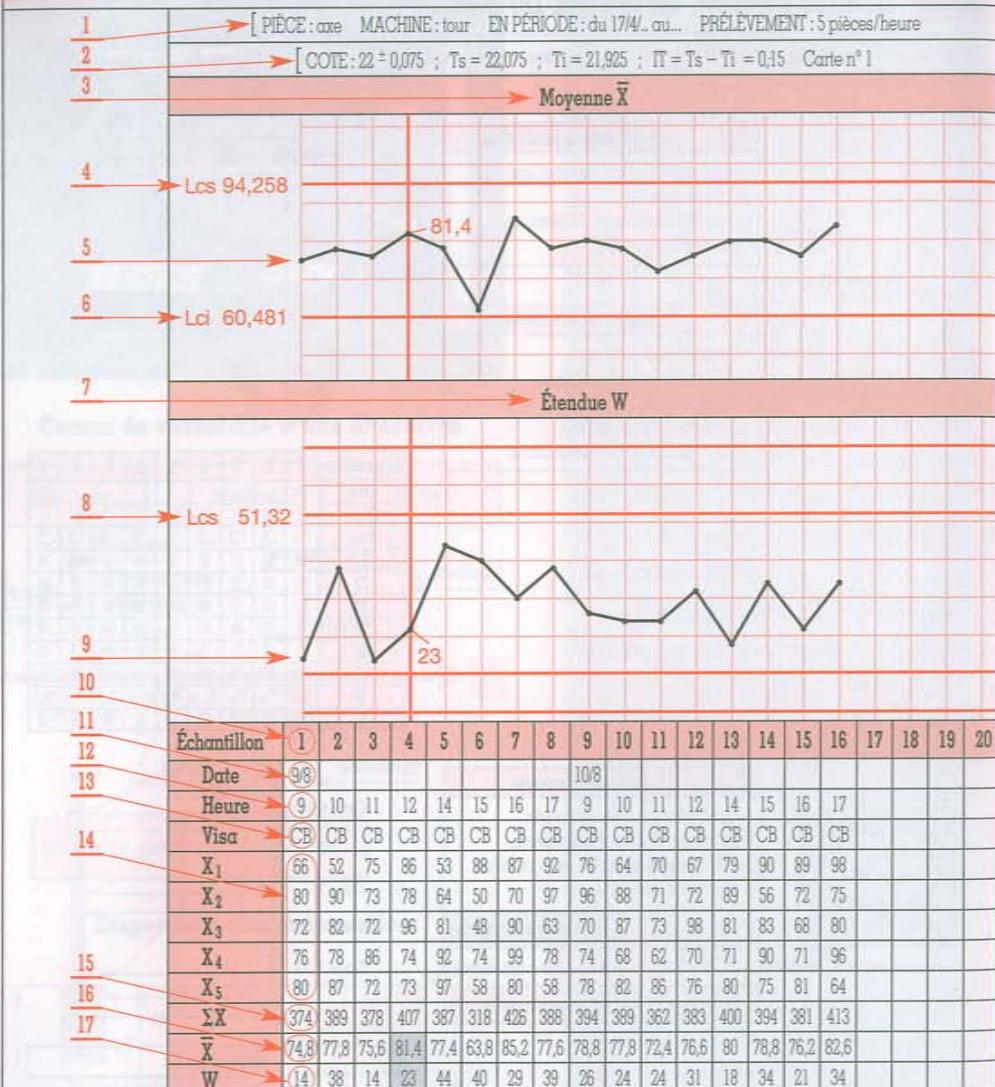
### 86.3 ÉTAPES DE MISE EN ŒUVRE DU S.P.C.

Soit à mettre sous contrôle le diamètre  $\varnothing 20 \pm 0,075$  d'un axe obtenu en tournage. Cette mise en œuvre comporte 4 étapes principales.



\*  $\sigma$  (prononcer sigma) = écart type.

## 86.4 DÉCODAGE D'UNE CARTE DE CONTRÔLE\* $\bar{X}$ , W



- Identification (pièce, machine, période...)
- Dimension et intervalle de tolérance de la pièce.
- $\bar{X}$  : moyenne (caractéristique statistique de suivi).
- Lcs : limite de contrôle inférieure.
- Graphe des moyennes  $\bar{X}$  des échantillons.
- Lcs : limite de contrôle supérieure.
- Graphe des étendues W des échantillons.
- Dimension et intervalle de tolérance de la pièce.
- Lcs : limite supérieure de contrôle.
- Graphe de l'étendue W des échantillons.
- 10-1 : numéro de l'échantillon.
- 11-9/8 : date du prélèvement.
- 12-9 : heure du prélèvement.

- Lcs : limite de contrôle inférieure.
- W : étendue (caractéristique statistique de suivi).
- Lcs : limite supérieure de contrôle.
- Graphe de l'étendue W des échantillons.
- 10-1 : numéro de l'échantillon.
- 11-9/8 : date du prélèvement.
- 12-9 : heure du prélèvement.
- CB : visa de l'opérateur
- $X_1$  à  $X_5$  : valeurs de l'échantillon n°1.
- 374 : somme de valeurs  $X_1$  à  $X_5$  de l'échantillon n°1.
- 74,8 : moyenne des valeurs  $X_1$  à  $X_5$  de l'échantillon n°1.
- 14 : étendue de l'échantillon n°1\*\*.

\* Le calcul des limites de surveillance Lc, Us n'apparaissent pas à des fins de simplification. \*\* Voir § 86.5.

## 86.5 CALCUL ET REPORT DES POINTS SUR LA CARTE $\bar{X}$ , W

Soit à calculer et à reporter les points P4 et P4' de l'échantillon numéro 4, sur les courbes de la moyenne  $\bar{X}$  et de l'étendue W :

- Reporter la valeur des mesures des cinq pièces de l'échantillon :  $X_1, X_2, \dots, X_5$ . Chaque valeur X correspond à la valeur mesurée, soit pour  $X_1$ :

$$X_1 = 86 \mu\text{m}.$$

- Calculer la somme arithmétique  $\Sigma X$  des valeurs mesurées :

$$\Sigma X = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5$$

$$\Sigma X = 86 + 78 + 96 + 74 + 73 = 407.$$

- Calculer la moyenne  $\bar{X}$  des valeurs mesurées :

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5)}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{86 + 78 + 96 + 74 + 73}{5} = 81,4$$

- Calculer l'étendue W des valeurs mesurées :

$$W = X_{\max} - X_{\min}$$

$$W = 96 - 73 = 23.$$

- Reporter le point P4 de la valeur moyenne de l'échantillon  $\bar{X} = 81,4$ .

Ce point est la représentation graphique de la valeur moyenne  $\bar{X}$  de l'échantillon n°4.

C'est l'indicateur de la tendance centrale de la dimension, de sa position par rapport à la moyenne.

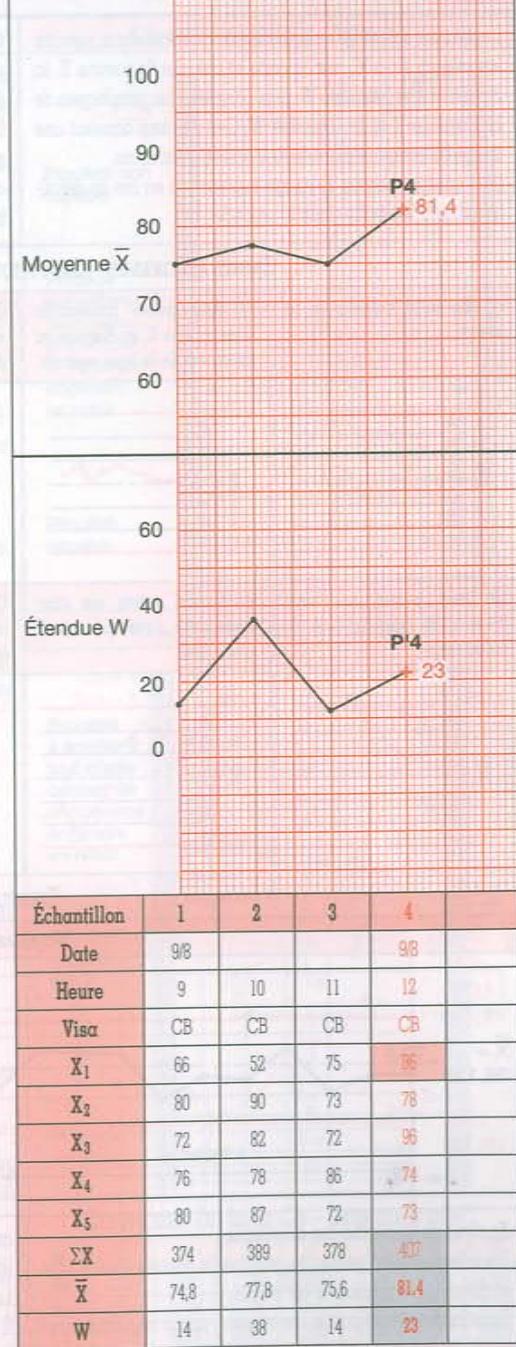
- Reporter le point P4' de l'étendue W = 23.

Ce point est la représentation graphique de l'étendue W de l'échantillon.

C'est l'indicateur de la variabilité de la dimension (dispersion).

## REPORT DES POINTS SUR LA CARTE DE CONTRÔLE\*

### REPORT DES POINTS SUR LA CARTE DE CONTRÔLE\*



\* Les limites de la moyenne  $\bar{X}$  et de l'étendue W ne figurent pas sur la carte.

## 86.6 INTERPRÉTATION DES GRAPHES D'UNE CARTE DE CONTRÔLE $\bar{X}$ , W

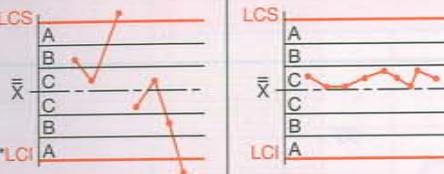
L'opérateur doit prélever les échantillons, les mesurer, reporter les valeurs  $X_1$  à  $X_n$  sur la carte et calculer la somme  $\Sigma$ , la moyenne  $\bar{X}$  et l'étendue  $W$ , puis compléter les graphiques de la moyenne  $\bar{X}$  et de l'étendue  $W$ . Ces derniers donnent une image du comportement de la fabrication en cours. Leur analyse permet de réagir rapidement en cas de défaillance ou d'anomalie dans le procédé.

Ces défaillances ou ces anomalies ont des causes multiples : changement d'opérateur, de matière, incident d'usinage (bris d'outil), de réglage, etc. Les dispositions typiques de points du tableau ci-dessous permettent de les déceler. En s'aidant du journal de bord où sont consignées toutes les interventions de l'opérateur et tous les incidents, on peut remonter aux causes.

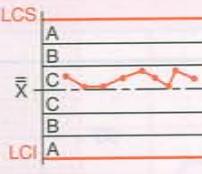
### CAUSES ASSIGNABLES - CAS TYPHIQUES DE DISPOSITION DE POINTS

ISO 8258

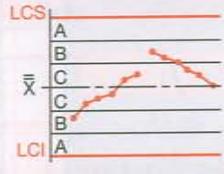
① Un point au-delà de la zone A.



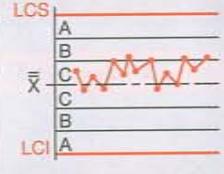
② Neuf points consécutifs dans la zone C, en dessous ou au-dessus de la ligne centrale.



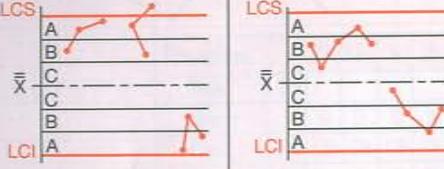
③ Six points consécutifs régulièrement croissants ou décroissants.



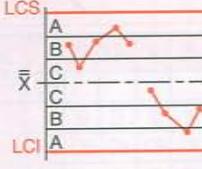
④ Quatorze points consécutifs alternativement supérieurs ou inférieurs au point précédent.



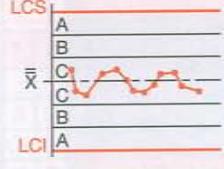
⑤ Deux points sur trois consécutifs dans la zone A ou au-delà.



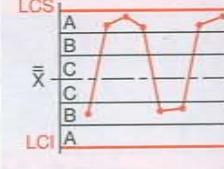
⑥ Quatre points sur cinq consécutifs dans la zone B ou au-delà.



⑦ Quinze points consécutifs dans la zone C au-dessus et en dessous de la ligne centrale.



⑧ Huit points consécutifs répartis de chaque côté de la ligne centrale, sans point en zone C.



### EXEMPLE

Moyenne  $\bar{X}$ 

### Analyse de la courbe des moyennes

Dans la première partie du graphe, la variation est faible et alternée, le processus est stable.

Dans la deuxième partie, on trouve 6 points régulièrement

croissants, consécutifs, ce qui est une cause assignable (n° 3).

La dérive de la moyenne résulte d'un déréglage de l'outil. Il faut procéder au réglage.

## 86.7 CAPABILITÉ MACHINE $C_m$ , $C_{mk}$ ; CAPABILITÉ PROCÉDÉ $C_p$ , $C_{pk}$

### CAPABILITÉ MACHINE $C_m$ , $C_{mk}$

La capacité d'une machine  $C_m$  exprime l'aptitude de la machine à produire des pièces situées dans l'intervalle de tolérance.

Cette mesure n'est possible que si le procédé est sous contrôle statistique.

L'indicateur  $C_m$  est calculé à partir d'un échantillon d'effectif  $n = 50$ , prélevé dans un temps très court sans intervention de réglage.

$$C_m = \frac{\Pi}{6\sigma} = \frac{(Ts - Ti)}{6\sigma}$$

IT = tolérance de fabrication.  
 $\sigma$  = dispersion de fabrication.  
 $\sigma$  = écart type de l'échantillon.

La machine est capable si  $C_m \geq 1,33$ .

**APPLICATION** (à partir d'un échantillon de plus de 50 pièces) Soit à vérifier la capacité d'un tour réalisant l'usinage d'un axe  $\varnothing 22 \pm 0,05$ .

$$C_m = IT/6\sigma \quad IT = 0,05 \times 2 = 0,1 = 100 \mu\text{m}.$$

$$\text{Si } \sigma \text{ n'est pas connu, } S = \frac{\bar{W}}{dn^{**}} = \frac{28,31}{2,326} = 12,17 \mu\text{m. prendre son estimateur } S$$

$$C_m = 100/6 \times 12,17 = 1,37 \rightarrow 1,37 > 1,33.$$

**Conclusion :** la machine est capable.

L'indicateur  $C_{mk}$  vérifie la proximité de la distribution par rapport aux limites de la tolérance. La différence entre  $C_m$  et  $C_{mk}$  renseigne sur le centrage de la moyenne  $\bar{X}$ .

$$C_{mks} = \frac{(Ts - \bar{X})}{3\sigma}; \quad C_{mki} = \frac{(\bar{X} - Ti)}{3\sigma}.$$

Il ne faut retenir que la valeur minimale de  $C_{mks}$  ou  $C_{mki}$ .

### APPLICATION

$\varnothing 22 \pm 0,05$ ; IT = 100 μm ;  $\bar{X} = 77,3 \mu\text{m}$ ;  $S = 12,17 \mu\text{m}$ . Valeur de cote moyenne = valeur de référence de la mesure (21,900) +  $\bar{X}$  (exprimé en mm) = 21,9 + 0,0773 = 21,977.

$$C_{mks} = (Ts - \bar{X})/3s = (22,05 - 21,977)/3 \times 0,01217 = 1,99$$

$$C_{mki} = (\bar{X} - Ti)/3s = (21,977 - 21,95)/3 \times 0,01217 = 1,28.$$

On obtient la valeur minimale  $C_{mki} = 1,28$ .

**Conclusion :** la valeur minimale étant supérieure à 1, c'est l'indice d'un bon centrage de la moyenne.

### REMARQUE

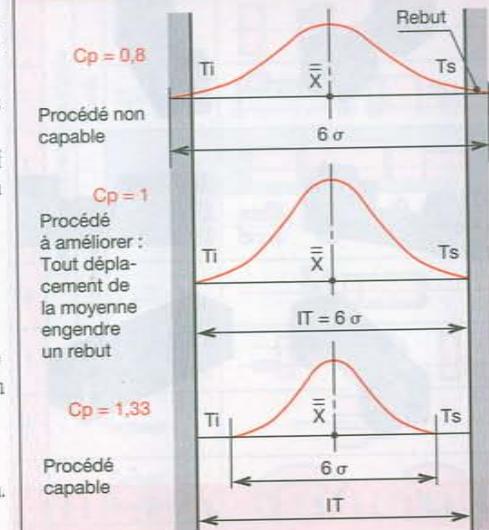
La capacité du procédé  $C_p$ ,  $C_{pk}$  se calcule de la même manière ; si ce n'est que dans les formules, on prend en compte  $\bar{X}_n$  (moyenne des moyennes) au lieu de  $\bar{X}$ .

\*  $\sigma$  : écart type de l'échantillon.

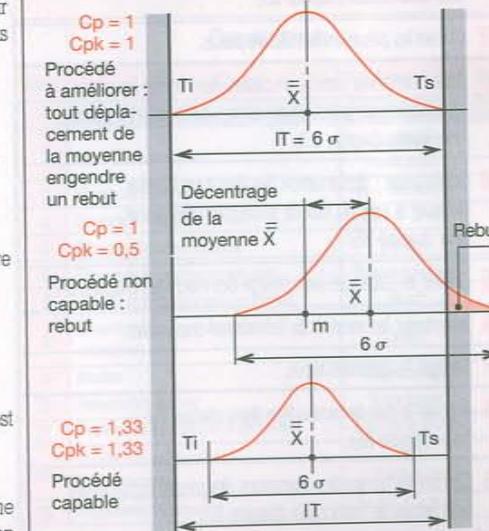
\*\*  $dn$  : coefficient d'estimation de  $\sigma$  est égal à 2,326 pour un échantillon de 5 pièces selon le tableau.

\*\*\*  $\bar{X}$  : moyenne arithmétique de l'échantillon.

### Capacité procédé $C_p$ - Exemples

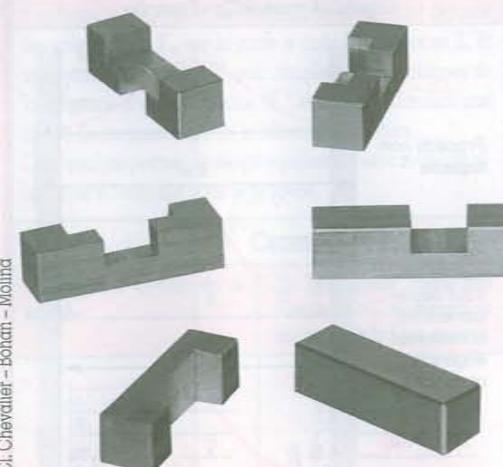


### Capacité procédé $C_{pk}$ - Exemples



### COEFFICIENT $d_n$ , $b_n$ ET $C_n$ - ESTIMATION DE $\sigma^*$

n	2	3	4	5	6	7	8
dn	1,128	1,693	2,059	2,326	2,534	2,704	2,847
bn	0,564	0,724	0,798	0,841	0,869	0,888	0,903
Cn	0,798	0,888	0,921	0,940	0,951	0,959	0,965

**Famille de pièces**

C. Chevallier - Bohan - Molina

**ÉTABLISSEMENT D'UN ÎLOT**

- 1 Codifier morphologiquement les produits fabriqués (voir codification chapitre 88).
- 2 Classer les pièces en famille de pièces.
- 3 Dans une même famille de pièces, déterminer les pièces significatives en fonction de critères de coût et de quantité (voir Pareto chapitre 89).
- 4 Schématiser l'implantation des îlots dans l'atelier. Indiquer le sens du flux de production des pièces (voir chapitre 85).
- 5 Définir les cadences (voir charge des machines chapitre 84).
- 6 Inventorier les moyens de fabrication disponibles.
- 7 Rédiger les gammes types.
- 8 Préciser le flux de production dans chaque îlot (voir chapitre 85).
- 9 Chiffrer les temps des opérations des pièces significatives (voir temps de fabrication chapitre 27).
- 10 Analyser et traiter le chevauchement d'opérations (voir Gantt chapitre 90).
- 11 Définir l'organisation de l'ilot de production.
- 12 Gérer le flux de production et faire le bilan.

La démarche productique inclut la notion de technologie de groupe qui consiste à rassembler des pièces similaires en vue d'organiser la production en flot.

**87.1 DÉFINITIONS****FAMILLE DE PIÈCES**

C'est un regroupement de pièces ayant des similitudes de formes, de dimensions, de cheminement.

Ce regroupement est effectué à partir d'une codification.

**GAMME TYPE OU GAMME MÈRE**

C'est la liste ordonnée des phases de fabrication des pièces appartenant à une même famille. L'ordre opératoire est optimisé. Tous les degrés de complexité des pièces de la famille sont pris en compte globalement mais non analysés dans le détail. Il y a une seule gamme-type pour l'ensemble de toutes les pièces de la famille.

**GAMME SPÉCIFIQUE**

C'est la gamme détaillée d'une pièce. Chaque pièce a une gamme spécifique.

**87.2 ÎLOT DE PRODUCTION**

C'est un ensemble de machines regroupées dans un atelier pour réaliser la fabrication d'une famille de pièces subissant totalement ou en partie le processus de fabrication (voir tableau ci-contre).

**PRINCIPE 88.1**

La codification des pièces sert notamment à grouper les pièces selon leurs similitudes afin d'optimiser tous les stades d'élaboration du produit, de la conception à la production. La codification identifie les pièces selon des critères de forme et de dimension. L'analyse de ce code permet l'insertion de la pièce dans une famille de pièces.

**SYSTÈME 88.2  
DE CODIFICATION**

Le système de codification CETIM PMG\*, utilisé pour les pièces de révolution comporte 13 tableaux dont le premier, « morphologie générale », est donné en exemple.

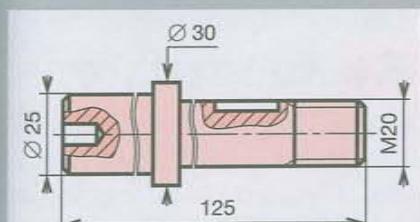
**EXEMPLE 88.3  
DE CODIFICATION**

Soit un arbre épaulé, selon le dessin de définition ci-dessous. Le rang n° 1 : « Morphologie générale », a pour élément spécifié : Rond  $L/D > 4$ .

$$L/D = 125/30 = 4,16.$$

L'élément spécifié est supérieur à 4 et le code a pour valeur 2.

La mise en œuvre des 13 tableaux conduit à la codification ci-contre.

**Arbre épaulé**

Brut laminé, C 35, trempé. Ra : 3,2 partout ; cadence : 120 pièces/mois.

PIÈCES DE RÉVOLUTION			
Rang 1 - Morphologie générale			
Rang	A section transversale maximale	Élément spécifié	Code
0	Ronde	$L/D \leq 0,5$	
1	Ronde	$0,5 < L/D \leq 4$	
2	Ronde	$L/D > 4$	
3	De non-révolution	$L/D \leq 1,5$	
4	De non-révolution	$L/D > 1,5$	
5	Multi-axiale (axes parallèles uniquement)		
6	Segment		
7	Secteur circulaire		
8	-		
9	Autres		

CODIFICATION			
Rang	Titre de tableau	Élément spécifié	Code
1	Morphologie générale	Rond - $L/D > 4$	2
2	Morphologie extérieure	Variante de liaison quelconque	5
3	Morphologie intérieure	Avec trou borgne	1
4	Dimensions - Rapport L/D et D	$L/D > 4 - D < 40$	7
5	Éléments de formes coadioules	Filletage	1
6	Élément de forme type rainure, plat...	Rainure extérieure	1
7	Élément de forme type trous auxiliaires	Néant	0
8	Élément de forme type denture, cannelures...	Néant	0
9	Matière	Aacier non allié	1
10	Présentation du brut	Barre ronde	0
11	Traitements thermiques et de surface	Trempe de masse	1
12	Qualité dimensionnelle	$L > 50$	
12	Etat de surface	$1,6 \leq Ra \leq 6,3$	3
13	Quantité et cadence	$Q \geq 101 - C < 30$ lots	3

**CODE DE L'ARBRE ÉPAULÉ**

Rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Code	2	5	1	7	1	1	0	0	1	0	1	3	3

\* CETIM 60304 - Senlis.

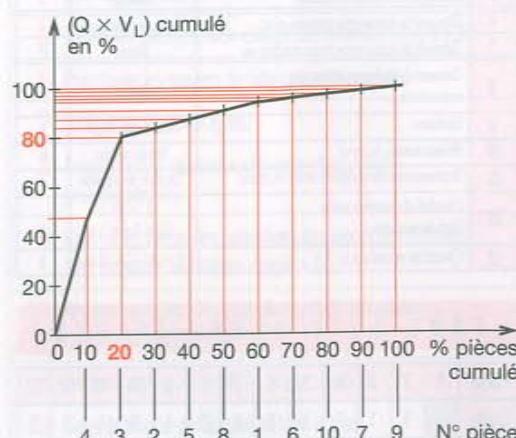
## EXEMPLE

Pièce N°	Quantité (Q)	Valeur d'une pièce (V)	Valeur du lot (V <sub>L</sub> )
1	50	25	1 250
2	20	50	2 000
3	50	200	10 000
4	90	250	22 500
5	25	75	1 875
6	20	35	700
7	15	18	270
8	100	15	1 500
9	30	8	240
10	25	12	300

TABLEAU DE CLASSEMENT

Pièce N°	Valeur du lot (V <sub>L</sub> )	Q × V <sub>L</sub> cumulé	% (Q × V <sub>L</sub> ) cumulé	% pièces cumulé
4	22 500	22 500	53,4 %	10 %
3	10 000	32 500	80 %	20 %
2	2 000	34 500	84,9 %	30 %
5	1 875	36 375	89,5 %	40 %
8	1 500	37 875	93,2 %	50 %
1	1 250	39 125	96,3 %	60 %
6	700	39 825	98 %	70 %
10	300	40 125	98,7 %	80 %
7	270	40 395	99,4 %	90 %
9	240	40 635	100 %	100 %

## Diagramme de pareto



## 89.1 EXEMPLE

Soit à classer des pièces stockées en magasin, en fonction de leur valeur en euros.

Pour simplifier l'exemple, on ne considérera que dix lots de pièces différentes.

- N° : numéro de la pièce,
- Q : quantité de pièces dans un lot,
- V : valeur d'une pièce en euros,
- V<sub>L</sub> : valeur du lot en euros.

## 89.2 MÉTHODE

1. Pour chaque pièce, déterminer la valeur du lot en euros. Soit pour le lot de pièces N° 1 :  $25 \times 50 = 1 250$  euros.

2. Reporter dans un tableau de classement, les valeurs calculées ci-dessus, dans un ordre décroissant :

22 500 ; 10 000...

3. Calculer les valeurs cumulées, soit pour le lot de pièces N° 3 :

$$22 500 + 10 000 = 32 500.$$

4. Calculer les pourcentages des valeurs, soit pour le lot de pièces N° 3 :

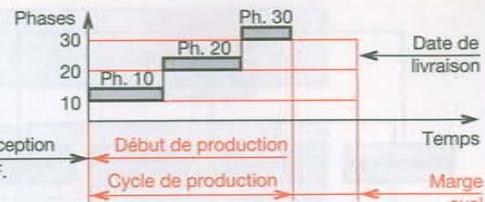
$$\frac{32 500}{40 635^{**} \times 100} = 80 \%.$$

5. Tracer le diagramme de Pareto en portant en abscisse les % des pièces et en ordonnées les % des valeurs cumulées. Soit pour la pièce N° 2 : 30 % en abscisse et 84,9 en ordonnée.

## 89.3 ANALYSE DE LA COURBE

Les lots de pièces N° 3 et N° 4 correspondent à 20 % du nombre de pièces stockées et représentent 80 % du coût total de l'ensemble. Les autres pièces, soit 80 % du nombre de pièces stockées, ne représentent que 20 % du coût de l'ensemble des pièces du magasin.

## Jalonnement au plus tôt



## CONDITIONS PRÉALABLES 90.1

Pour établir un diagramme de Gant, il faut connaître notamment :

- la durée des tâches,
- les contraintes d'antériorité des tâches,
- les délais à respecter.

## REPRÉSENTATION 90.2

■ **Jalonnement au plus tôt** : la matière où les pièces brutes étant disponibles, le début de la production s'effectue dès la réception de l'ordre de fabrication (O.F.).

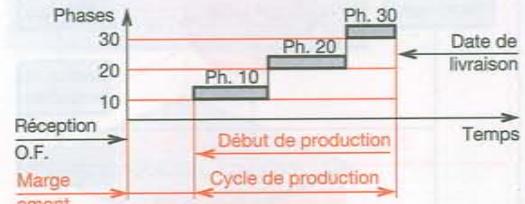
■ **Jalonnement au plus tard** : à partir de la phase terminale, on remonte dans le temps pour déterminer la date du début de production.

■ **Marge** : la marge est la différence entre le temps disponible avant la date de livraison et le temps de fabrication.

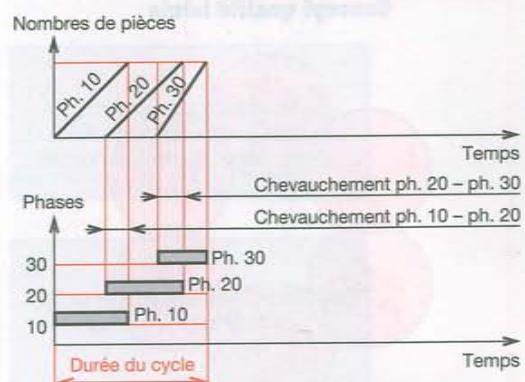
■ **Chevauchement d'opérations**

Un chevauchement d'opérations s'effectue pour réduire les délais de production.

## Jalonnement au plus tard



## Chevauchement d'opérations



## EXEMPLE 90.3

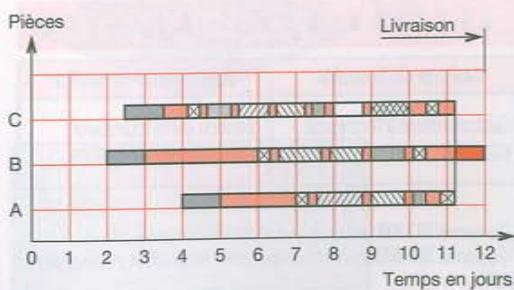
Soit l'exemple d'un planning de fabrication et d'assemblage d'un lot d'ensembles composés de pièces A, B, C.

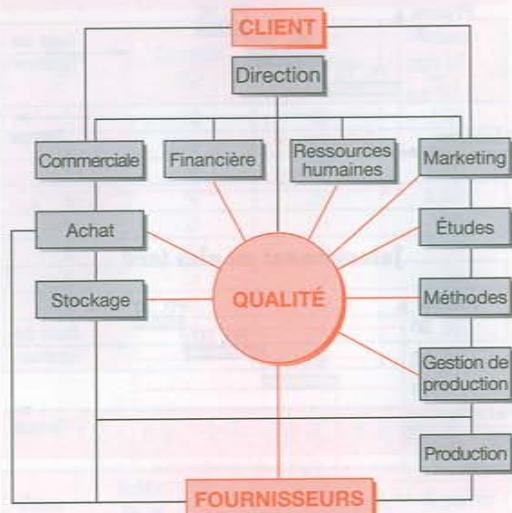
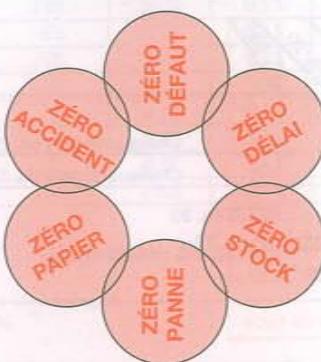
Le jalonnement est « au plus tard ».

## REPÉRAGE DES OPÉRATIONS

Montage	Contrôle
Délai	Tournage
Commande	Fraisage
Débit	Perçage
Traitem. thermique	Rectification

## Pièces



**Principales fonctions d'une entreprise****Concept qualité totale****GESTION DE LA QUALITÉ**

Maîtrise de la qualité	Assurance de la qualité
Gestion interne à l'entreprise : ISO 9004	Relation client-fournisseur : ISO 9001 ; 9002** ; 9003

\* La norme ISO 9000 introduit les normes de cette série.

\*\* La norme ISO 9002 est la plus utilisée pour la certification des systèmes qualité.

La qualité des produits et des services d'une entreprise est un atout majeur pour le maintien et le développement des ventes.

L'entreprise est un système comportant différentes fonctions, lesquelles concourent toutes à la qualité du produit : direction, ressources humaines, commerciale, financière, production et autres suivant le type d'entreprise.

Le client et les fournisseurs sont intégrés au système.

**91.1 QUALITÉ**

La norme ISO 8402 définit la qualité comme « l'ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins exprimés et implicites ».

L'entité peut être :

- une activité,
- un produit,
- un organisme.

D'une autre manière, on peut exprimer la qualité comme étant la satisfaction des besoins exprimés et implicites du client dans les meilleurs délais et au meilleur coût.

La recherche de la qualité totale conduit à tendre vers les limites suivantes : zéro défaut, zéro délai, zéro stock, zéro panne, zéro papier, zéro accident (sécurité).

**91.2 NON QUALITÉ**

De même que la qualité est la « conformité au besoin », la non qualité est la « non conformité au besoin ». C'est l'écart global constaté entre la qualité visée et la qualité effectivement obtenue. La non qualité conduit à des rebuts, des retouches, des retards etc. Elle a un coût. Un produit non conforme engendre l'insatisfaction du client, ce qui est préjudiciable à la réputation du produit et de son fabricant.

Les causes de non qualité sont très diverses et se situent à tous les stades de l'élaboration du produit : conception, production, stockage, distribution.

**SYSTÈME QUALITÉ 91.3**

Une entreprise ayant défini une politique qualité traduite en termes d'objectifs et de moyens, doit définir sa structure organisationnelle, ses ressources, ses procédés et toutes les procédures pour mettre en œuvre la gestion de la qualité. C'est le **système qualité**.

Ce système qualité implique, selon la taille de l'entreprise, un service qualité, des auditeurs internes, des groupes de progrès et des documents tels que le manuel qualité, les plans qualité, etc.

**GESTION 91.4  
DE LA QUALITÉ**

La gestion de la qualité comporte deux parties :

- la maîtrise de la qualité,
- l'assurance de la qualité.

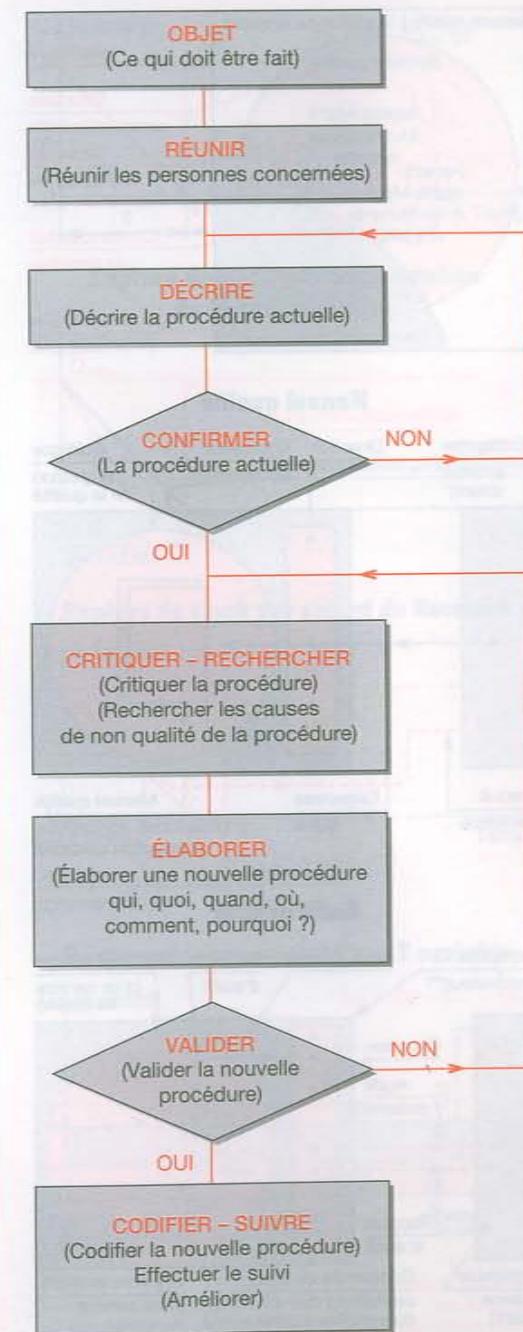
**91.4.1 MAÎTRISE DE LA QUALITÉ**

La maîtrise de la qualité a pour objectif la maîtrise et l'amélioration du système qualité mis en place à l'intérieur de l'entreprise.

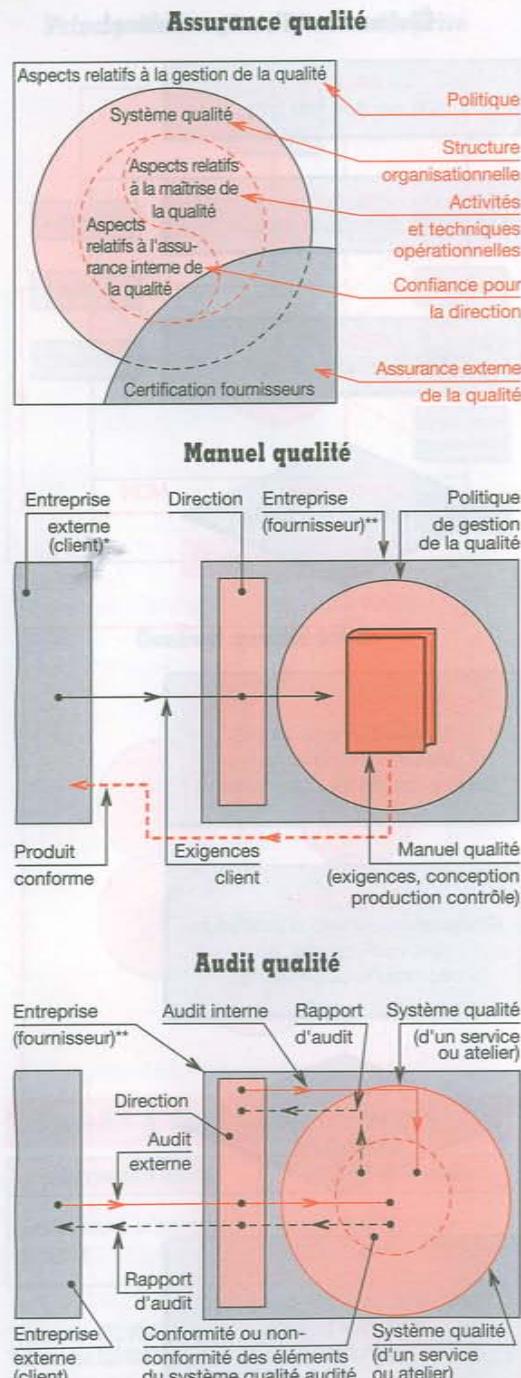
Elle concerne toutes les activités opérationnelles visant la satisfaction des clients internes et externes.

Il s'agit d'appliquer les principes d'action suivants : conformité aux besoins, prévention, mesure, etc.

Les techniques opérationnelles utilisées sont : les enquêtes clients, le S.P.C. (voir chapitre 86), la relation client-fournisseur interne, etc.

**Élaboration d'une procédure\***

\* D'après Pierre CHARLE - IPR-IA.



## 91.42 ASSURANCE QUALITÉ

C'est un ensemble d'actions nécessaires pour assurer qu'un produit ou un service satisfasse aux exigences relatives à la qualité.

Ces actions consistent à établir et à respecter des procédures organisationnelles et opérationnelles.

On distingue deux cas d'assurance de la qualité :

- l'assurance de la qualité interne,
- l'assurance de la qualité externe.

Sa mise en place conduit à la rédaction d'un manuel qualité, de plans d'assurance qualité, de l'organisation d'audits et de la formation du personnel.

## 91.43 MANUEL QUALITÉ

C'est un document de référence, il décrit les éléments suivants : la politique qualité, le système qualité, les pratiques qualité.

## 91.44 OUTILS DE LA QUALITÉ

Les groupes de travail ayant pour objet la qualité utilisent divers outils tels que : le brainstorming (remue-méninges), la méthode Q.Q.Q.O.C.P. (qui, quoi, quand, où, comment, pourquoi), le diagramme causes-effet (voir § 86.1 et GPDT 1.4).

## 91.45 AUDIT QUALITÉ

L'audit est un examen interne ou externe destiné à déterminer si les activités et les résultats sont conformes aux dispositions préalables des manuels, plans qualité et des plans d'assurance qualité.

Dans le cadre des fabrications, il existe différents types de stocks\* nécessitant un réapprovisionnement notamment :

- stock matière,
- stock pièces brutes,
- stock pièces standard (du commerce).

On distingue plusieurs méthodes d'approvisionnement en fonction des facteurs suivants :

- la quantité  $Q$  à commander fixe ou variable,
- la date de réapprovisionnement ( $T$ ) fixe ou variable.

## RÉAPPROVISIONNEMENT 92.1 Q ET T FIXES

Cette méthode s'applique aux pièces peu coûteuses dont le réapprovisionnement ne pose pas de problème de délai chez le fournisseur. La quantité consommée à l'année étant connue on détermine la quantité  $Q_{\text{éco}}$  et on commande à date fixe.

Un double risque de rupture de stock peut se produire en raison :

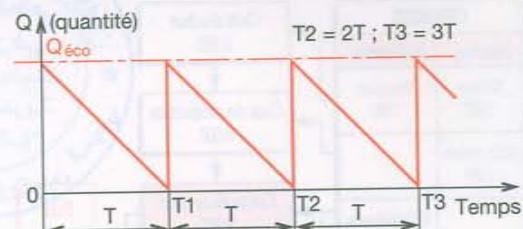
- d'une consommation réelle supérieure à celle prévue,
- d'un retard de livraison.

## RÉAPPROVISIONNEMENT 92.2 Q FIXE, T VARIABLE

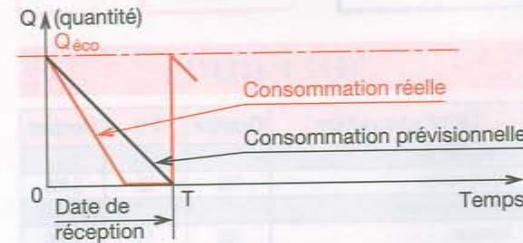
Cette méthode dite « du point de commande » prévoit un stock de sécurité afin d'éviter tout aléa et un stock de couverture qui déclenche le point de commande. Dès que le stock atteint le niveau du stock de couverture, on passe la commande. Si la consommation augmente, le stock de sécurité évite la rupture de stock.

\* Le principe de gestion « stock zéro » est une limite appliquée au « juste à temps ». Sa mise en œuvre nécessite un processus parfaitement au point.

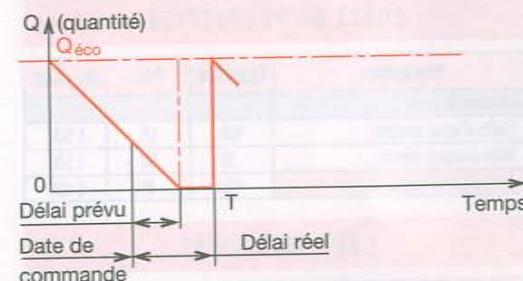
### Réapprovisionnement $Q$ et $T$ fixes



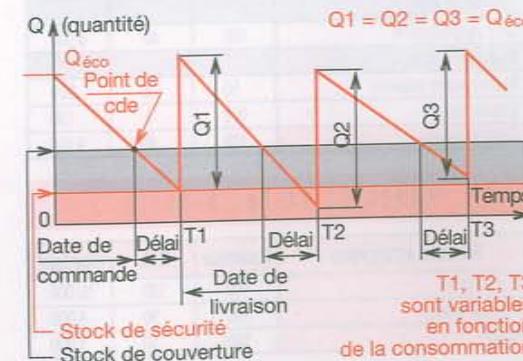
### Rupture de stock par augmentation de la consommation



### Rupture de stock par retard de livraison

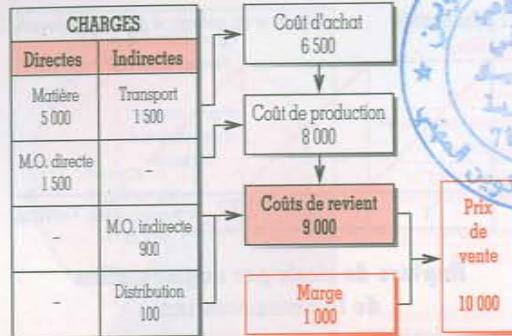


### Réapprovisionnement $Q$ Fixe, $T$ variable



\* Le client est celui qui achète ou commande un produit.

\*\* Le fournisseur est celui qui vend ou fabrique un produit.

**Coûts complets pour une pièce****COÛT D'ACHATS**

Coût d'achat matière	Quantité	P.U.	Montant
Charges directes			
Achats matière	100	50	5 000
Charges indirectes			
Transport	100	15	1 500
Coût d'achat	100	65	6 500

**COÛTS DE PRODUCTION**

Production	Quantité	P.U.	Montant
Charges directes			
Coûts d'achat matière	100	65	6 500
Main d'œuvre directe	30	50	1 500
Coût de production	100	80	8 000

**COÛT DE REVIENT**

Coût de production + coût hors production	Quantité	P.U.	Montant
Charges directes			
Coût de production	100	80	8 000
Charges indirectes			
Main d'œuvre indirecte	50	18	900
Distribution	100	1	100
Coût de revient	100	90	9 000

**MARGE OU VALEUR AJOUTÉE**

Résultat analytique	Quantité	P.U.	Montant
Prix de vente	100	100	10 000
Coût de revient	100	90	9 000
Marge	100	10	1 000

**93.1 EXEMPLE**

Soit à déterminer, à partir des données suivantes, le coût de revient d'une production de 100 pièces.

- **Prix unitaire du brut :** 50 euros.
- **Frais de transport par brut :** 15 euros.
- **Temps de production directe :** 30 heures au taux horaire de 50 euros.
- **Temps de production indirecte :** 50 heures au taux horaire de 18 euros.
- **Frais de distribution par brut :** 1 euro.

Le prix de vente unitaire imposé par le marché est 100 euros. À partir de l'organigramme et des tableaux ci-contre, l'entreprise calcule sa marge. En fonction de la valeur de la marge, l'entreprise peut ou non répondre aux contraintes du marché.

**93.2 COÛT DE REVIENT**

Un coût de revient est constitué de charges directes et de charges indirectes :

- **Les charges directes** que l'on peut affecter sans calcul intermédiaire au coût d'un produit (matières, main-d'œuvre, amortissement, etc.).
- **Les charges indirectes** qui nécessitent un calcul intermédiaire pour être imputées au coût du produit (personnel administratif, personnel de nettoyage et d'entretien, frais de locaux, taxes, etc.)

**93.3 MARGE**

La marge est égale à la différence entre le prix de vente d'un produit et son coût de revient.

$$\text{Marge} = \text{Prix de vente} - \text{Coût de revient}$$