M. BONTE
Inspecteur de l'Éducation nationale
Enseignement technique

SPECIMEN

R. COGNET
Professeur technique
des lycées

R. BOURGEOIS
Inspecteur pédagogique régional
Inspecteur d'académie

MÉMOTECH

Productique Mécanique

Lycées professionnels
Centres de formation d'apprentis
Formation continue

Collection
A. Capliez

Éditions **CASTEILLA** – 25, rue Monge – 75005 PARIS

Dans la même collection

Mémotech Seconde Productique
(Seconde générale et technologique, option productique)
R. Bourgeois, R. Cognet

Mémotech Commande numérique - Programmation
R. Magnin, J.-P. Urso

Mémotech Génie mécanique
(Bac STI Génie mécanique, spécialité Productique mécanique)
C. Barlier, B. Poulet

Mémotech Productique - Matériaux et usinage
(BTS, DUT, Classes préparatoires)
C. Barlier, L. Girardin



Le logo qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, tout particulièrement dans le domaine de l'enseignement, le développement massif du photocopillage.
Le code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements scolaires, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.
Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 3 rue d'Hautefeuille, 75006 Paris).

I.S.B.N. : 2.7135.1750.8
I.S.S.N. : 0986-4024

© Editions CASTEILLA, 25, rue Monge – 75005 PARIS – 1997

Toute reproduction, intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit, ou ayants cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1er de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.
La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration.

Préface

L'objectif du système éducatif est de donner à l'enfant – et ce, dès qu'il y entre – le maximum de savoirs, savoir-faire et savoir-être.

Savoir lire, écrire et compter sont autant d'apprentissages où se conjuguent harmonieusement les savoirs et les savoir-faire. Par la suite, et tout au long de sa scolarité, l'adolescent emmagasinera ces savoirs le plus souvent de façon abstraite, sans souci de leur application concrète, selon la conception d'une formation culturelle désintéressée en vogue depuis des lustres dans certains pays occidentaux, la France en particulier.

Mais les différentes révolutions technologiques ont bouleversé cette notion de culture, et l'on admet maintenant la nécessité de donner aux élèves et étudiants une formation parfaitement adaptée aux besoins d'une société technicienne essentiellement évolutive.

Dans l'enseignement technique, la réussite aux examens à finalité professionnelle a toujours requis une solide formation professionnelle. C'est actuellement le cas des BEP et Bac professionnel « Productique mécanique », dont les savoirs et savoir-faire en matière de fabrication constituent la meilleure garantie d'insertion dans le marché du travail.

Cependant, le contenu de ces formations s'enrichissant et « s'intellectualisant », la tendance dans les établissements scolaires serait de développer les savoirs théoriques au détriment des savoir-faire de fabrication dont l'apprentissage serait alors confié aux entreprises industrielles.

Pourtant, quel que soit le système de formation professionnelle adopté, il est clair que les savoir-faire de base doivent être enseignés en formation initiale dans les établissement scolaires, selon des méthodes et des stratégies pédagogiques largement éprouvées.

C'est ce qu'ont fort bien compris et ce que défendent René Bourgeois, inspecteur pédagogique régional, inspecteur d'académie, Michel Bonte, inspecteur de l'Éducation nationale enseignement technique et René Cognet, professeur technique des lycées.

Leur expérience pédagogique et leurs références industrielles, reconnues de tous, leur ont permis de rédiger cet ouvrage dans le plus pur style Mémotech, ouvrage où tous les éléments des fabrications mécaniques industrielles sont décrits avec beaucoup de méthode et de précision : préparation de la fabrication et du poste d'usinage, conduite de l'usinage par outil tranchant, contrôle de la qualité, étude des différents systèmes d'usinage et de production, sécurité et maintenance de premier niveau font l'objet d'autant de chapitres rédigés avec beaucoup d'originalité. Ils permettront aux lecteurs de trouver dans un temps très court les éléments pour passer de l'abstraction théorique à l'action concrète des travaux de fabrication mécanique, que ce soit pendant leur formation initiale ou leurs stages en entreprise.

Remercions vivement R. Bourgeois, M. Bonte et R. Cognet pour cet important et bienvenu apport à la bibliographie de l'enseignement technique et de la formation professionnelle.

A. CAPLIEZ
Inspecteur général honoraire
de l'Éducation nationale

Remerciements

Les auteurs dédient ce livre et expriment leurs remerciements à :

- Messieurs Jean BASTIEN et Joseph GALLIZZI, professeurs animateurs académiques en productique dans les lycées professionnels, pour leurs précieux conseils ;
- Messieurs Jean-Marc GALMICHE, Didier REMLÉ, Claude TOTTOLI, professeurs ;
- Messieurs les ingénieurs et cadres des sociétés suivantes, pour leurs informations et la qualité des documents fournis :

  RÉALMÉCA, SANDVIK-COROMANT, ABS INFORMATIQUE, AFP/PRODEL, EPB, ROCH, CETIM, INRS ;
- leurs collègues, pour leurs remarques passées et futures ;
- leurs élèves.

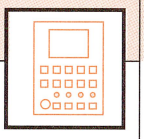
TABLE DES MATIÈRES

A Préparation



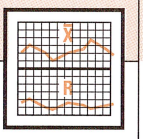
1. Documents techniques 8
2. Préparation du poste d'usinage 34

B Conduite de l'usinage



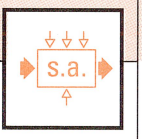
1. Techniques d'usinage à l'outil coupant 100
2. Coupe des matériaux 129
3. Conditions de travail et prévention, ergonomie 142

C Contrôle qualité



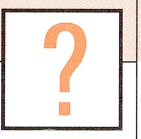
1. Contrôle de la qualité au poste de travail 158
2. Démarche qualité 185

D Systèmes



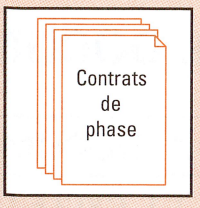
1. Organisation des systèmes 196
2. Systèmes de production 206
3. Systèmes de manutention 216
4. Systèmes de vérification assistés par ordinateur 220
5. Systèmes d'assemblage 225

E Annexes



1. Procédés d'usinage particuliers 230
2. Glossaire de base en productique 237
3. Index alphabétique 239

A Préparation



A

1. Documents techniques



1.1. Documents techniques de l'entreprise 8
1.1.1. Cycle du produit - Fabrication en série 8
1.1.2. Dessin d'ensemble 9
1.1.3. Nomenclature 9
1.1.4. Dessin de définition 10
1.1.5. Nomenclature des phases 10
1.1.6. Contrat de phase 11
1.1.7. Carte de contrôle 11

1.2. Décodage du dessin technique 12
1.2.1. Décodage des formes 12
1.2.2. Décodage des spécifications 19
1.2.3. Désignations normalisées des matériaux 27

1.3. Contrat de phase 28
1.3.1. Contenu du contrat de phase 28
1.3.2. Contrat de phase sur machine-outil conventionnelle 30
1.3.3. Contrat de phase sur machine-outil à commande numérique 31

1.4. Cotation de fabrication 32
1.4.1. Règles 32
1.4.2. Méthode vectorielle de détermination des cotes de fabrication 33

2. Préparation du poste d'usinage



2.1. Machines-outils 34
2.1.1. Axes normalisés 34
2.1.2. Architecture d'une machine-outil 35
2.1.3. Types de machines 40

2.2. Relation pièce → porte-pièce → machine 46
2.2.1. Liaisons mécaniques entre solides 46
2.2.2. Notions de circuit géométrique 52
2.2.3. Porte-pièces liés à la machine 53
2.2.4. Porte-pièce modulaire 58
2.2.5. Liaison pièce/porte-pièces 60
2.2.6. Liaison pièce/machine 62

2.3. Relation outil → porte-outil → machine 63
2.3.1. Notions de circuit géométrique 63
2.3.2. Circuits géométriques en fraisage 64
2.3.3. Circuits géométriques en tournage 65
2.3.4. Circuits géométriques en perçage 66
2.3.5. Porte-outil modulaire 67

2.4. Données des réglages du couple outil/pièce 68
2.4.1. Réglages cinématiques des mouvements générateurs 68
2.4.2. Grandeurs géométriques 71

2.5. Préparation d'une machine-outil à commande numérique 72
2.5.1. Procédure de mise en œuvre 72
2.5.2. Prises d'origine machine 73
2.5.3. Origine pièce 74
2.5.4. Origine programme 75
2.5.5. Jauge d'outil 76
2.5.6. Notions de point courant 76
2.5.7. Notions de programmation 77

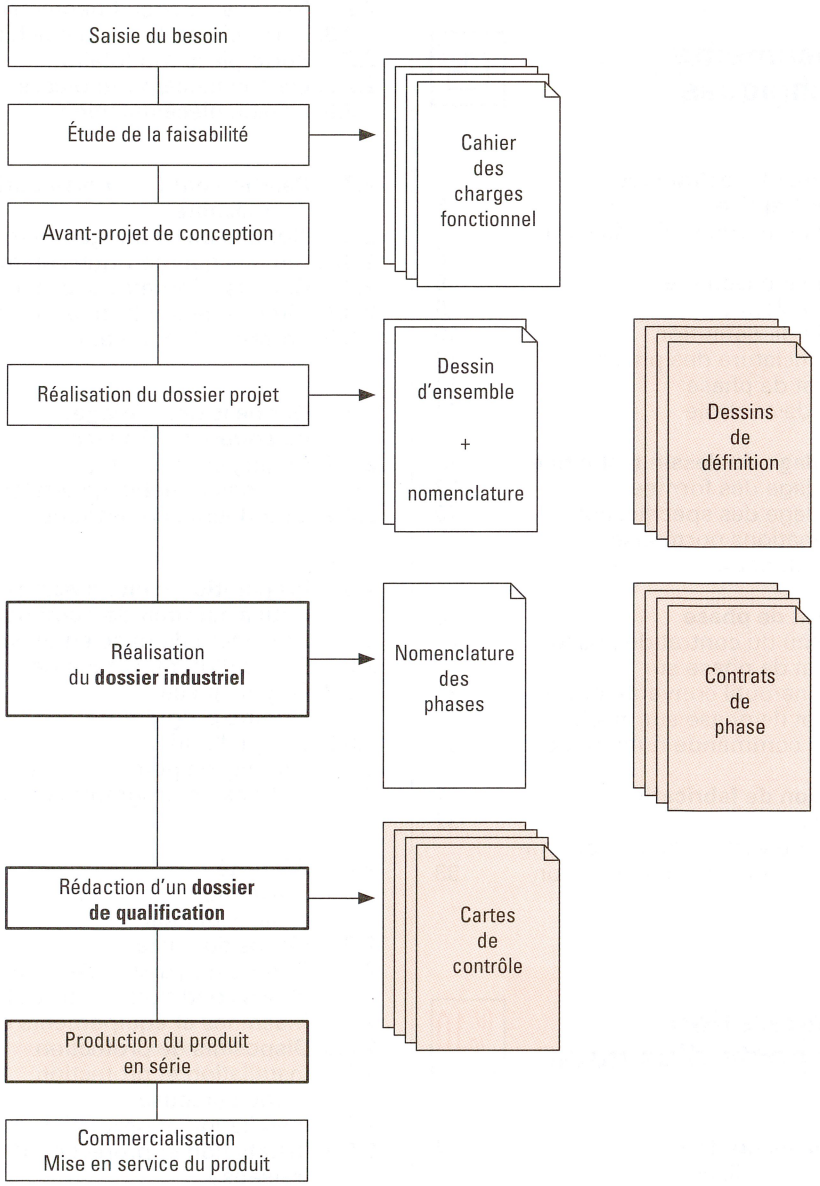
2.6. Sécurité 82
2.6.1. Prévention des risques professionnels 82
2.6.2. Fiches de poste 84
2.6.3. Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail 86
2.6.4. Machines et équipements de travail 89
2.6.5. Dispositifs de protection 90
2.6.6. Installation et protection d'une perceuse 93
2.6.7. Installation et protection d'un tour 94
2.6.8. Installation et protection d'une fraiseuse 95

2.7. Maintenance de premier niveau 96
2.7.1. Règles générales 96
2.7.2. Organisation de la maintenance 96
2.7.3. Maintenance préventive 97
2.7.4. Procédures 98

1. DOCUMENTS TECHNIQUES

1.1. DOCUMENTS TECHNIQUES DE L'ENTREPRISE

1.1.1. CYCLE DU PRODUIT - FABRICATION EN SÉRIE

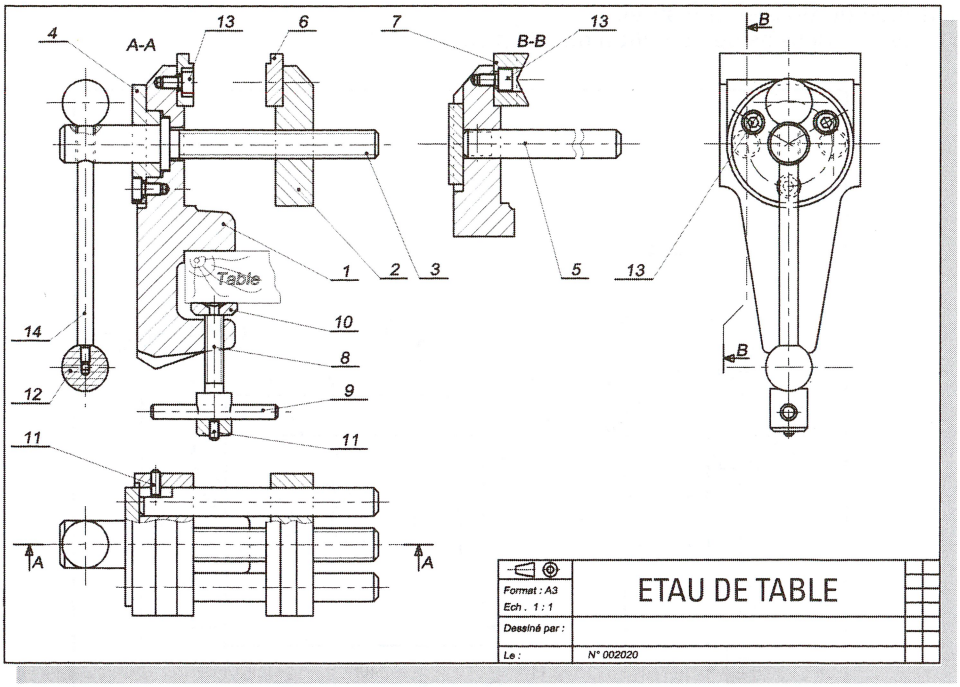


Remarque : le nombre important de documents se justifie par l'organisation complexe des grandes unités de production. Dans de petites entreprises ou dans des ateliers de prototypage, de maintenance curative (réparation selon modèle), un ouvrier qualifié peut être amené à réaliser un usinage à partir d'un relevé succinct d'informations (schéma, prise de mesures sur modèle...). Seuls sa grande expérience du métier et son niveau professionnel lui permettront d'obtenir un résultat conforme aux contraintes fonctionnelles de la pièce réalisée.

A

1.1.2. DESSIN D'ENSEMBLE

Le **dessin d'ensemble** constitue le document de base du dossier projet. Il permet la compréhension du fonctionnement du système considéré et précise la disposition des pièces et leurs liaisons dans l'objet technique.



1.1.3. NOMENCLATURE

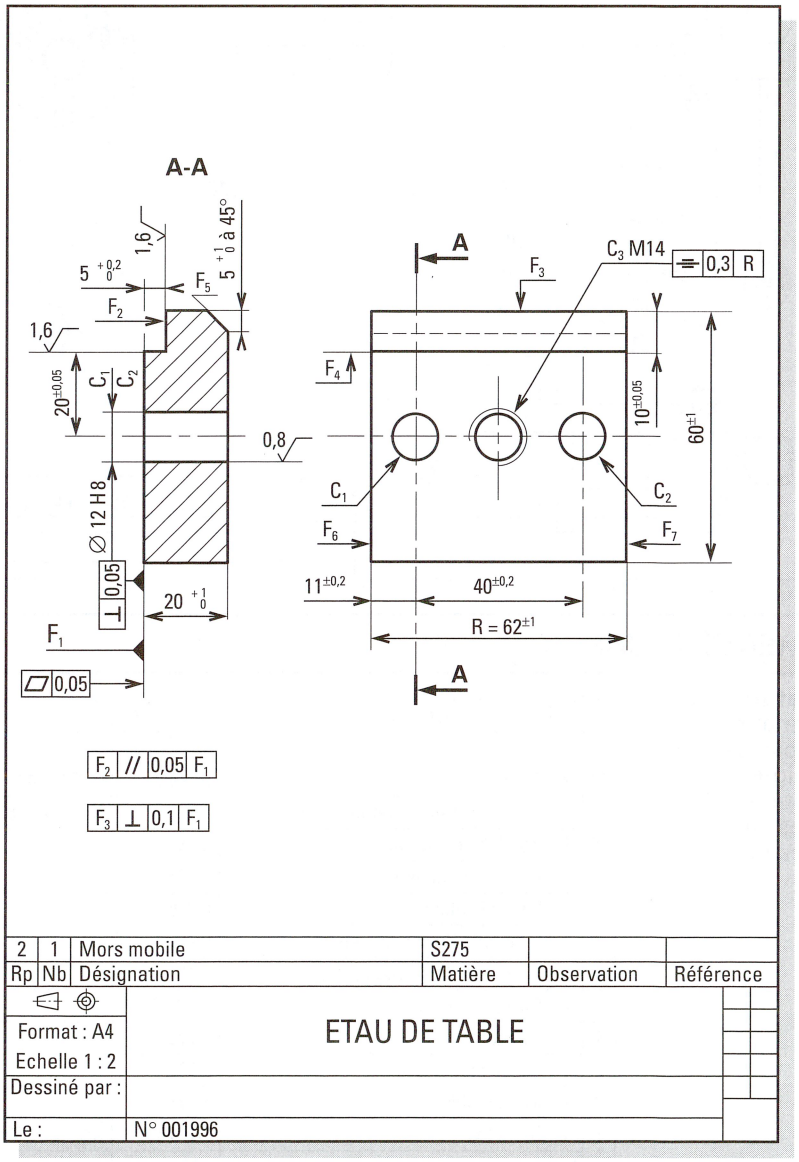
La **nomenclature** précise la désignation de toutes les pièces de l'objet technique ainsi que leur matière, leur nombre et les références des pièces normalisées.

Rp	Nb	Désignation	Matière	Observation	Référence
14	1	Levier de manœuvre	Etiré ∅ 8		
13	7	Vis			CHC M 6-10
12	2	Boule lisse	Bakélite	∅ 20 - M6	
11	3	Vis de pression à téton court		NF E 27 - 182	HC M 5-16
10	1	Rondelle de serrage	E 335		
9	1	Axe de manœuvre	E 335		
8	1	Vis de fixation	E 335		
7	2	Plaquette de serrage en vé	C 40		
6	2	Plaquette de serrage plate	C 40		
5	2	Barre de guidage	Etiré ∅ 12		
4	1	Flasque	S 275		
3	1	Vis de manœuvre	E 335		
2	1	Mors mobile	S 275		
1	1	Mors fixe	FGL 250	Moulé - Stabilisé Ebavuré	

Format : A4 Echelle 1 : 3	ETAU DE TABLE
Dessiné par :	
Le :	N° 001996

1.1.4. DESSIN DE DÉFINITION

Le **dessin de définition** est un dessin extrait du dessin d'ensemble. Il précise toutes les tolérances (ou spécifications) dimensionnelles et géométriques (cotation fonctionnelle) nécessaires au bon fonctionnement de la pièce dans l'ensemble. C'est un document de base (contrat à respecter) pour la réalisation du dossier industriel.
Il y a autant de dessins de définition que de pièces à réaliser.



1.1.5. NOMENCLATURE DES PHASES

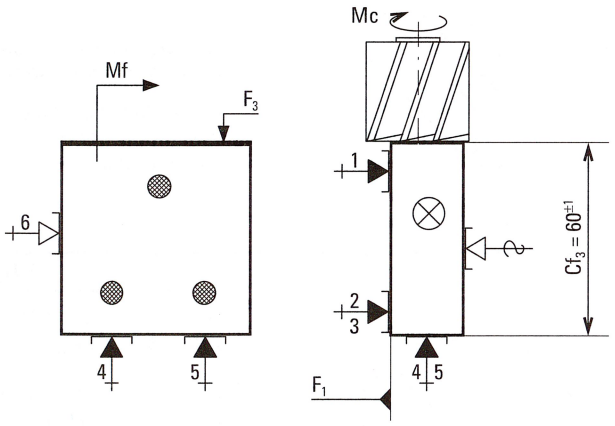
La **nomenclature des phases** est un document élaboré au bureau des méthodes. Il contient l'ensemble ordonné des phases pour la réalisation de la pièce. Ce document est obtenu à partir de l'**avant-projet d'étude de fabrication** (**APEF**), lorsque ce dernier est validé.

A

1.1.6. CONTRAT DE PHASE

Le **contrat de phase** définit chaque phase de la nomenclature. C'est le **document de référence de l'opérateur.**
Les informations qu'il contient permettent le réglage du poste de travail et la conduite de l'usinage (*voir p. 28*).

CONTRAT DE PHASE	**Ensemble :** Étau de table	1/1
	Pièce : Mors mobile	
Phase n° 30	**Matière :** S275	BUREAU DES MÉTHODES
Nom :	**Programme :**	
Désignation : FRAISAGE		
Machine-outil : Fraiseuse verticale		



Désignation des sous-phases et opérations	Éléments de coupe					Outillage	
	Vc m/min	n tr/min	f mm/dt/tr	Vf mm/min	Tc min	Fabrication	Vérification
Mise en position : – Appui plan 1-2-3 – Appui linéaire 4-5 Maintien par brides Butée aux efforts (6)						Équerre de montage	
301 Surfaçage en finition de F_3 $Cf_3 = 60^{\pm 1}$ $F_3 \perp F_1$	20	200	0,05	80	1,2	Fraise 2 tailles ∅ 30 Z8 acier rapide	Pied à coulisse Comparateur

1.1.7. CARTE DE CONTRÔLE

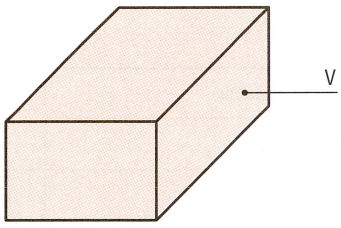
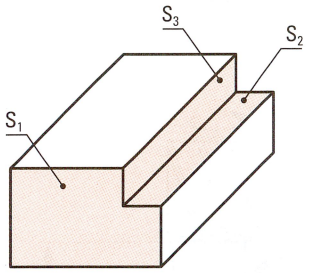
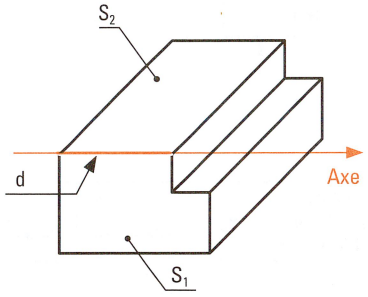
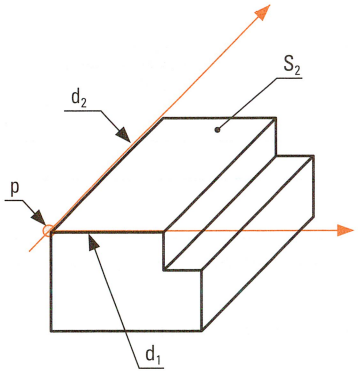
La **carte de contrôle** est un document d'aide à la décision permettant d'enregistrer les résultats des contrôles réalisés par l'opérateur sur le poste de travail.

Cet outil permet de visualiser la variabilité du procédé et de déterminer les moments opportuns pour un réglage éventuel (*voir p. 179*).

1.2. DÉCODAGE DU DESSIN TECHNIQUE

1.2.1. DÉCODAGE DES FORMES

ÉLÉMENTS GÉOMÉTRIQUES DE BASE LIÉS À LA PIÈCE

Visualisation	Définition
	**VOLUME** **V** : volume (parallélépipède) Le volume est un élément géométrique définissant les formes de la pièce. Il est limité par des surfaces (planes, cylindriques…) extérieures ou intérieures.
	**SURFACE** **S_1** : surface élémentaire plane La surface élémentaire est un élément géométrique généré de manière indépendante sur une machine-outil. **$S_2 + S_3$** : surfaces associées composées de deux surfaces planes perpendiculaires. Les surfaces associées sont des éléments géométriques générés en association sur une machine-outil.
	**LIGNE** **d** : droite d'intersection des surfaces planes **S_1** et **S_2**. La droite est un élément géométrique pouvant matérialiser l'axe d'un repère.
	**POINT** **p** : point d'intersection des droites **$d_1 d_2$** dans la surface plane **S_2**. Le point est un élément géométrique pouvant matérialiser l'origine d'un repère (*exemple :* origine programme en commande numérique).

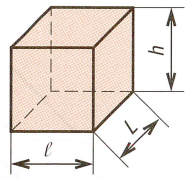
A

ÉLÉMENTS GÉOMÉTRIQUES DE BASE

VOLUMES ÉLÉMENTAIRES

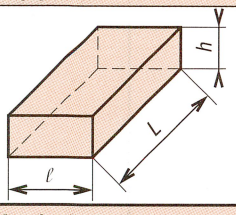
Cube

Volume limité par six surfaces planes liées entre elles par les spécifications dimensionnelles $\ell = L = h$.



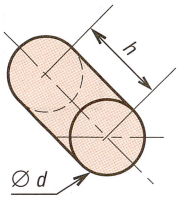
Parallélépipède

Volume limité par six surfaces planes liées par les spécifications dimensionnelles ℓ, L, h.



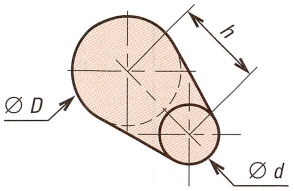
Cylindre droit de révolution

Solide limité par une surface cylindrique $\varnothing d$ et deux surfaces planes distantes de h et perpendiculaires à l'axe.



Cône droit de révolution

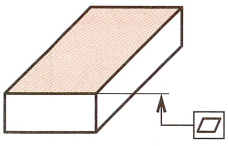
Solide limité par une surface conique ($\varnothing D$, $\varnothing d$) et deux surfaces planes distantes de h et perpendiculaires à l'axe.



SURFACES ÉLÉMENTAIRES

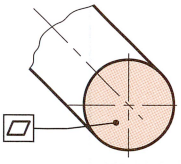
Surface plane à contour rectangulaire

Obtenue, par exemple, en déplaçant une droite sur une autre parallèlement à elle-même.



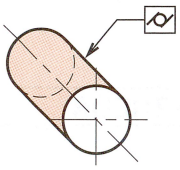
Surface plane à contour circulaire

Obtenue en faisant tourner une droite perpendiculairement à une autre (axe).



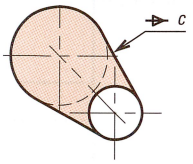
Surface cylindrique (latérale)

Obtenue, par exemple, en faisant tourner une droite parallèlement à une autre (axe).



Surface conique (latérale)

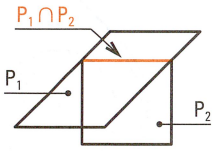
Obtenue en faisant tourner une droite inclinée par rapport à une autre (axe).



LIGNES

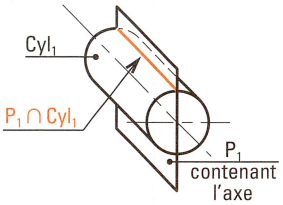
Droite

Intersection des deux surfaces planes $\mathbf{P_1}$ et $\mathbf{P_2}$.



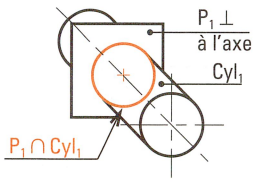
Droite

Intersection d'une surface plane $\mathbf{P_1}$ contenant l'axe et d'une surface cylindrique $\mathbf{Cyl_1}$.



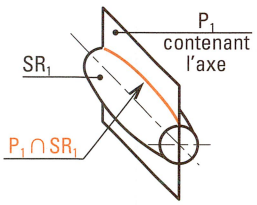
Cercle

Intersection d'une surface plane $\mathbf{P_1}$ perpendiculaire ($\perp$) à l'axe et d'une surface cylindrique $\mathbf{Cyl_1}$.



Quelconque

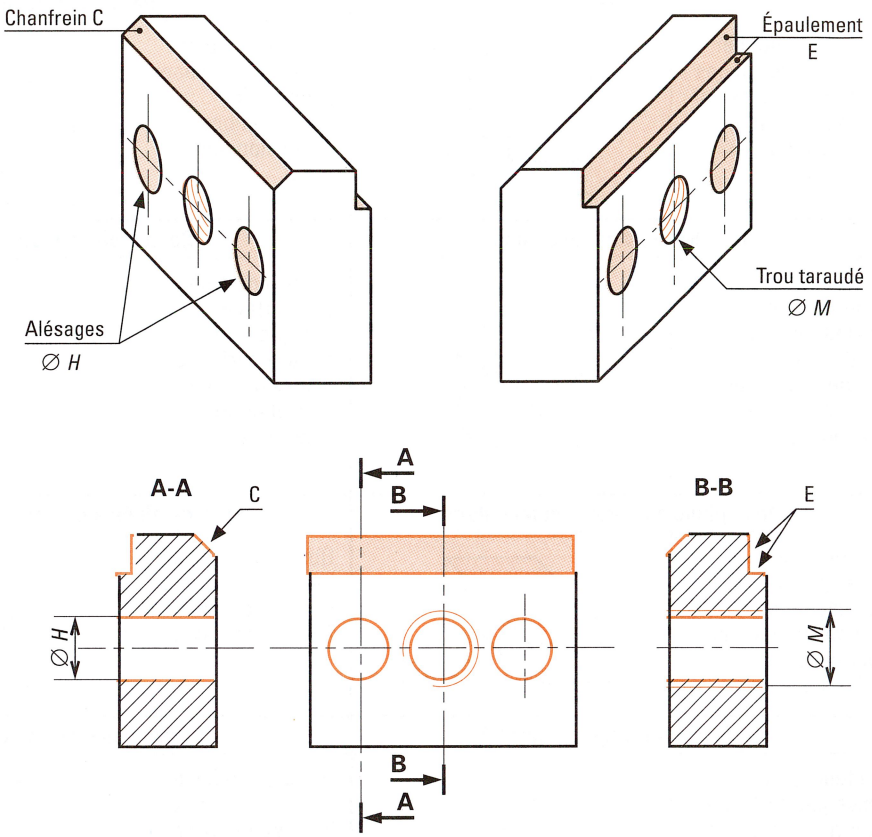
Intersection d'une surface plane $\mathbf{P_1}$ contenant l'axe et d'une surface de révolution quelconque.



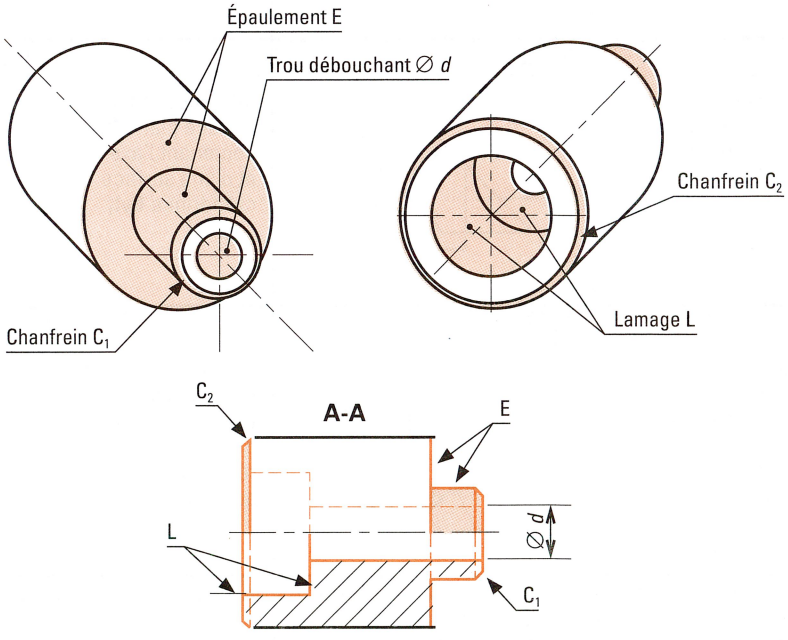
Remarque : les lignes constituent les éléments géométriques de base pour la compréhension des générations de surface (*voir p. 100*).

EXEMPLES DE DÉCODAGE DES FORMES

MORS MOBILE

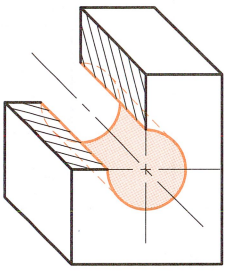
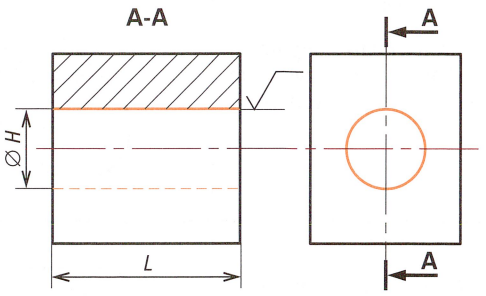
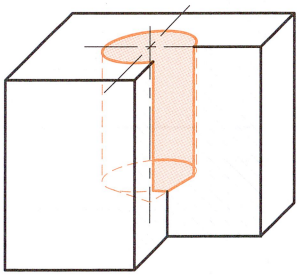
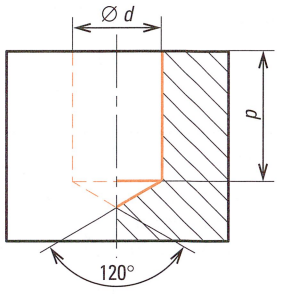
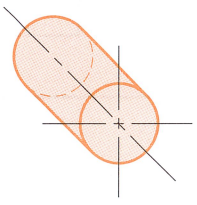
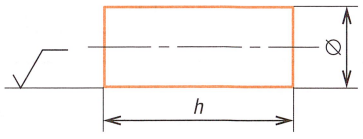
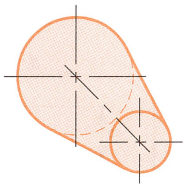
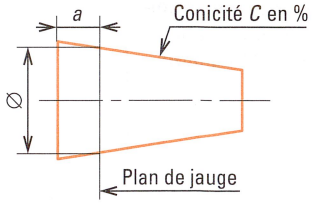
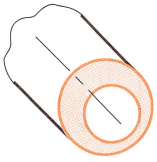
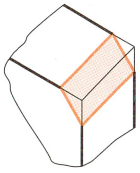
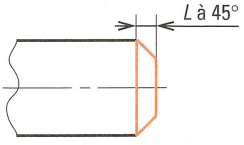
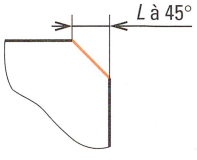


CENTREUR

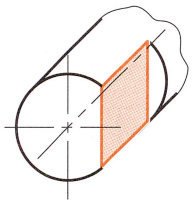
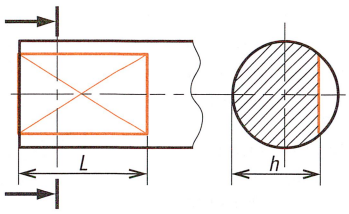
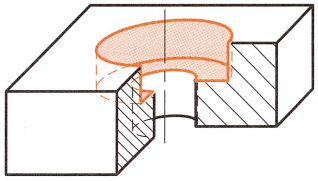
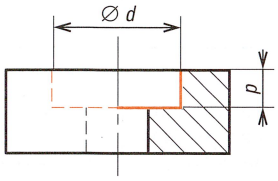
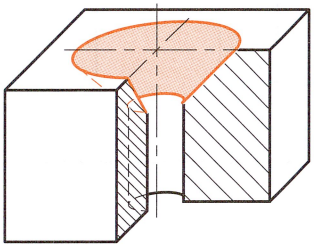
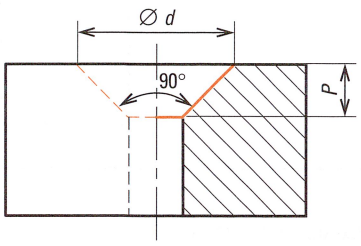
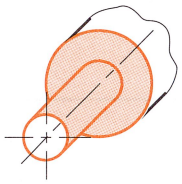
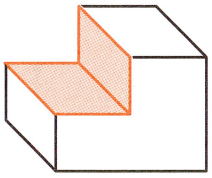
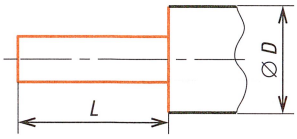
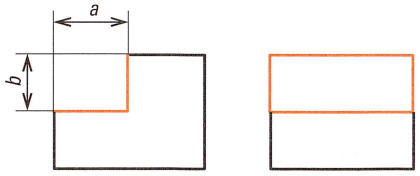
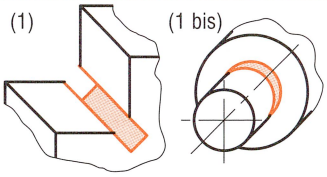
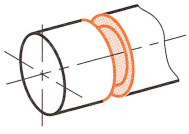
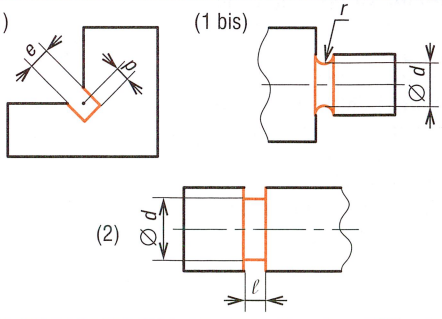


A

FORMES OBTENUES PAR USINAGE

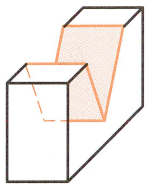
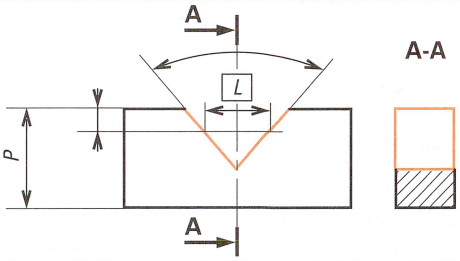
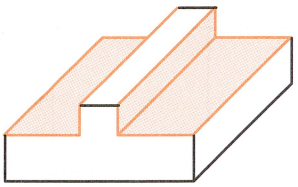
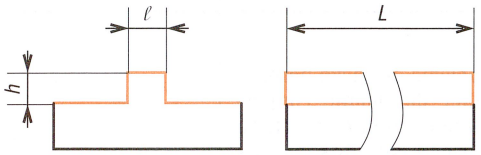
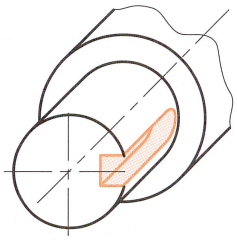
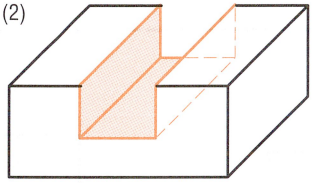
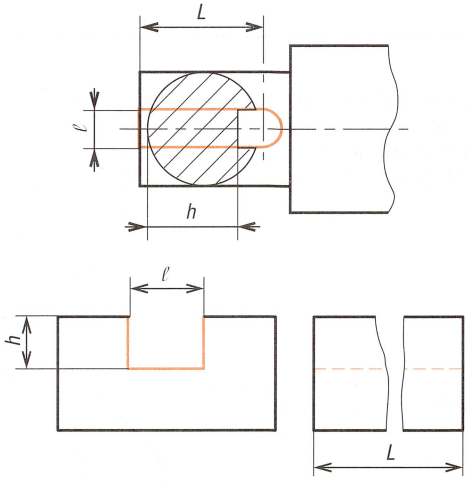
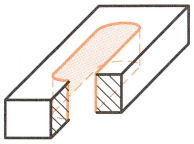
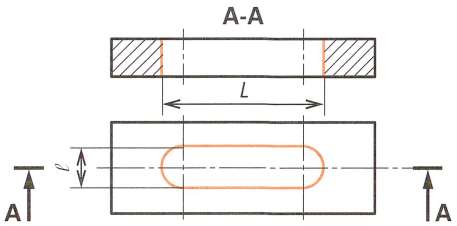
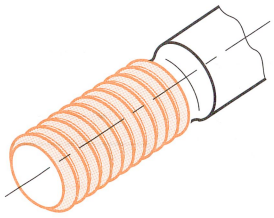
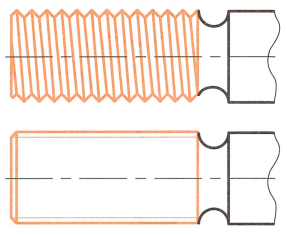
Définition succincte	Visualisation 3D	Représentation 2D
ALÉSAGE Surface cylindrique intérieure de diamètre précis défini selon normes ISO (*voir p. 22*). ∅ *H* : alésage normal. Par extension tout TROU DÉBOUCHANT hors cotation ISO.		
TROU BORGNE Surface cylindrique intérieure terminée par une surface conique à 120°.		
ARBRE Cylindre de révolution de diamètre précis s'ajustant sur l'alésage (norme ISO) (*voir p. 23*).		
CÔNE D'EMMANCHEMENT Cône droit de révolution assurant un centrage précis.		
CHANFREIN • Petite surface conique extérieure (1) (ou intérieure). • Petite surface inclinée (2) de faible dimension permettant entre autres : – de supprimer une arête vive (sécurité), – de faciliter l'emmanchement des pièces.	(1)  (2) 	 

FORMES OBTENUES PAR USINAGE (suite)

Définition succincte	Visualisation 3D	Représentation 2D
MÉPLAT Surface plane coupant un cylindre droit de révolution parallèlement à son axe.		
LAMAGE Logement de forme cylindrique à fond plat destiné, en général, à « noyer » une tête de vis CHC.		
FRAISURE Surface conique intérieure utilisée, en général, pour « noyer » une tête de vis FS, FHC.		
ÉPAULEMENT Forme composée, en général, de deux surfaces planes (2) ou d'une surface cylindrique et d'une surface plane (1) implicitement perpendiculaires.	(1)  (2) 	 
(1) **DÉGAGEMENT** Petit évidement réalisé à l'intersection de deux surfaces pour assurer la liaison. (2) **GORGE** Dégagement de petite dimension pour loger, par exemple, un circlips.	(1) (1 bis)  (2) 	(1) (1 bis) 

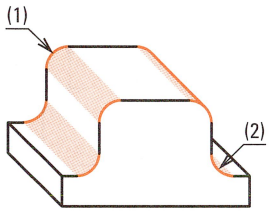
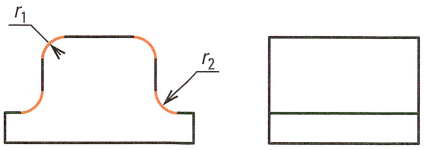
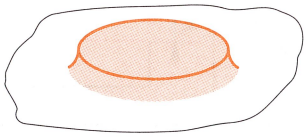
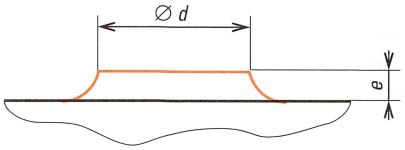
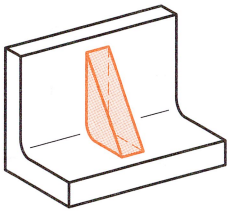
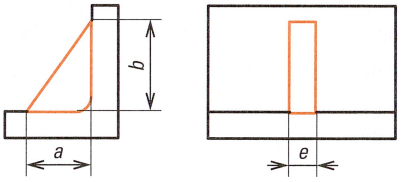
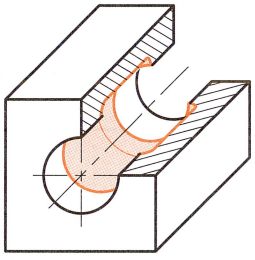
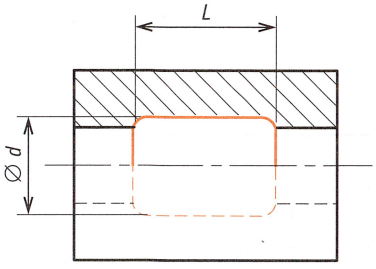
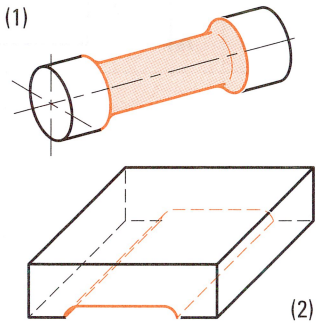
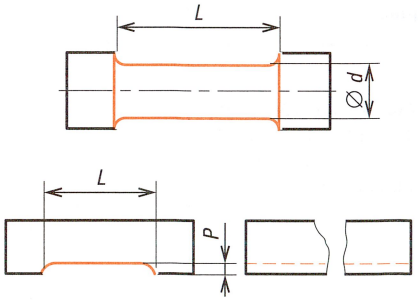
A

FORMES OBTENUES PAR USINAGE (suite)

Définition succincte	Visualisation 3D	Représentation 2D
ENCOCHE Entaille en forme de vé.		
LANGUETTE ou TENON Tenon de grande longueur s'ajustant sur une rainure pour assurer une liaison glissière.		
RAINURES Entailles de différentes formes et de différentes dimensions selon le rôle fonctionnel. (1) Rainure de clavetage. (2) Rainure recevant un tenon ou une languette.	(1)  (2) 	
BOUTONNIÈRE (ou trou oblong, ou lumière) Cavité composée de deux surfaces planes parallèles raccordées par deux demi-surfaces cylindriques.		
FILETAGE Surface hélicoïdale extérieure utilisée avec un TARAUDAGE (surface hélicoïdale intérieure).		 Représentation réelle Représentation normalisée

Décodage du dessin technique

FORMES OBTENUES PAR MOULAGE

Définition succincte	Visualisation 3 D	Représentation 2 D
ARRONDI (1) **et CONGÉ** (2) Portion de surface cylindrique • supprimant une arête vive (1), • raccordant deux surfaces (2) sur des pièces moulées.		
BOSSAGE Volume en saillie permettant de limiter l'importance d'une surface usinée sur des pièces moulées.		
NERVURE En général, volume à base triangulaire rapporté ou moulé sur une pièce afin d'augmenter sa rigidité.		
CHAMBRAGE Évidement intérieur permettant de réduire la longueur de portée d'un alésage.		
ÉVIDEMENT CIRCULAIRE (1) Dégagement permettant de réduire la longueur de portée d'un arbre (peut être également usiné). **ÉVIDEMENT SUR SEMELLE** (2) Dégagement permettant de réduire l'étendue de la surface d'appui.		

1.2.2. DÉCODAGE DES SPÉCIFICATIONS

CENTREUR

A

DESSIN DE DÉFINITION

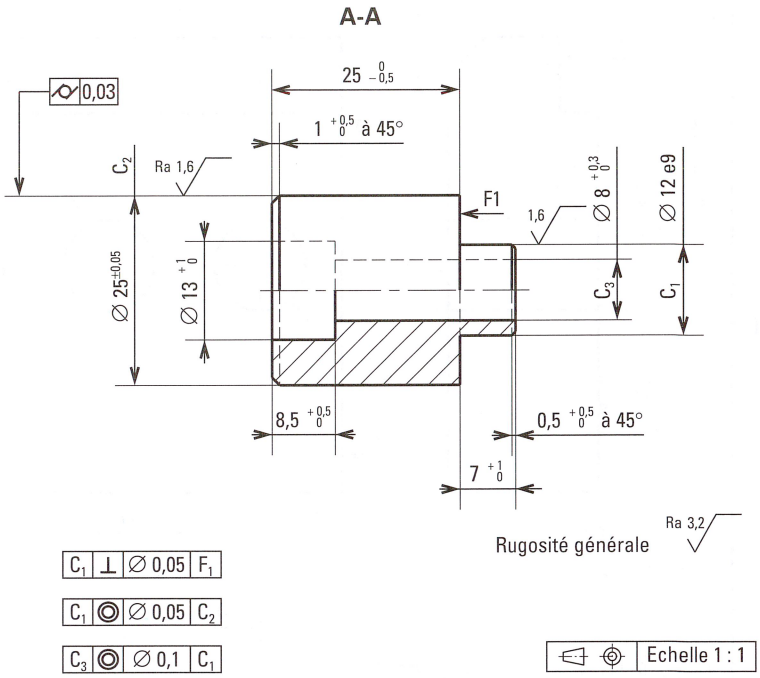


TABLEAU D'IDENTIFICATION DES SPÉCIFICATIONS

Spécification à réaliser	Spécification dimensionnelle	Spécifications géométriques			Spécifications état de surface
		Forme	Orientation	Position	
$20\ ^{0}_{-0,5}$					
$7\ ^{+1}_{0}$					
$\varnothing 25\ ^{\pm 0,05}$					
$\varnothing$ 12e9					
$\varnothing 8\ ^{+0,3}_{0}$					
$\varnothing 13\ ^{+1}_{0}$					
$8,5\ ^{+0,5}_{0}$					
$1\ ^{+0,5}_{0}$ à 45° – $0,5\ ^{+0,5}_{0}$ à 45°					
0,03					
C1 ⊥ Ø 0,05 F1					
C1 ◎ Ø 0,05 C2					
C3 ◎ Ø 0,1 C1					
Ra 1,6					

Décodage du dessin technique

MORS MOBILE

DESSIN DE DÉFINITION

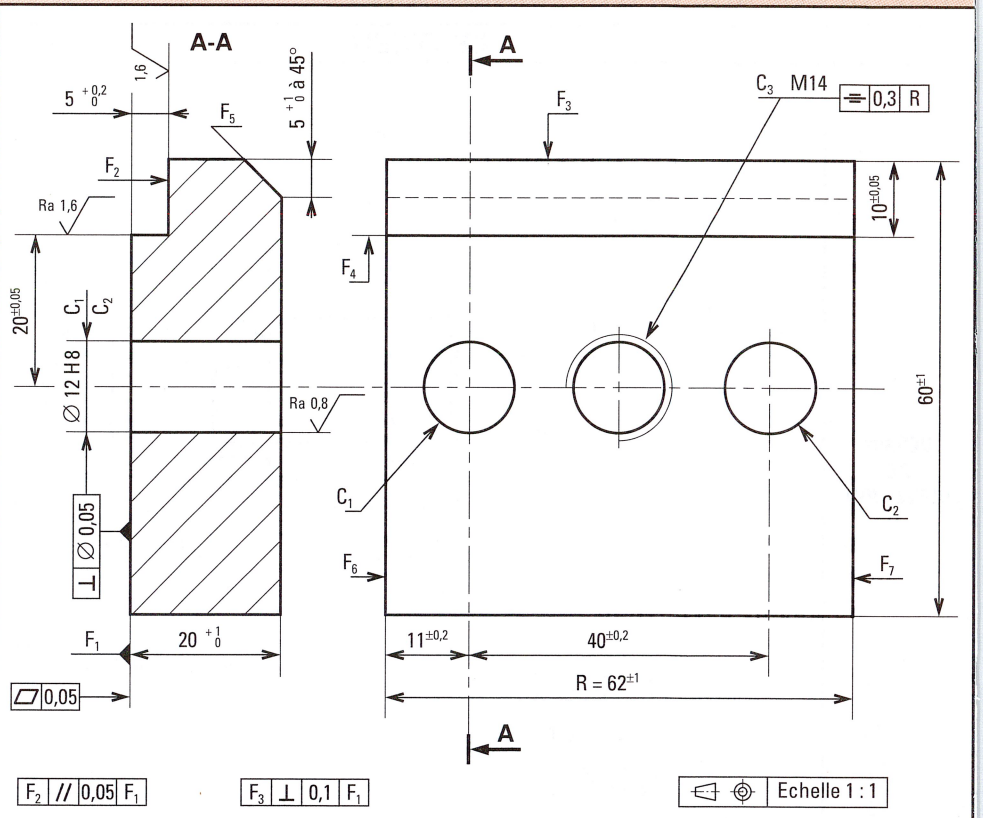


TABLEAU D'IDENTIFICATION DES SPÉCIFICATIONS

Spécification à réaliser	Spécification dimensionnelle	Spécifications géométriques			Spécifications état de surface
		Forme	Orientation	Position	
20^{+1}_{0}					
$62^{\pm1}$					
$60^{\pm1}$					
$11^{\pm0,2}$					
$40^{\pm0,2}$					
$20^{\pm0,05}$					
$10^{\pm0,05}$					
$5^{+0,2}_{0}$					
∅ 12H8					
∅ M14					
5^{+1}_{0} à 45°					
▱ 0,05					
F_2 // 0,05 F_1					
F_3 ⊥ 0,1 F_1					
C_1 C_2 ⊥ ∅ 0,05 F_1					
C_3 = 0,3 R					
Ra 0,8 1,6					

A. Spécifications dimensionnelles

UNITÉ DE BASE EN PRODUCTIQUE

L'unité de base de longueur en productique est le millimètre : mm.
Toutes les dimensions et les intervalles de tolérance (hors tolérancement ISO, *voir p. 22-23*) liés à une spécification dimensionnelle sont exprimés à partir de cette unité.

Sous-multiples du millimètre

	mm	Dixième	Centième	Millième micron
1 mm	1			
0,1 mm	0	1		
0,01 mm	0	0	1	
0,001 mm	0	0	0	1

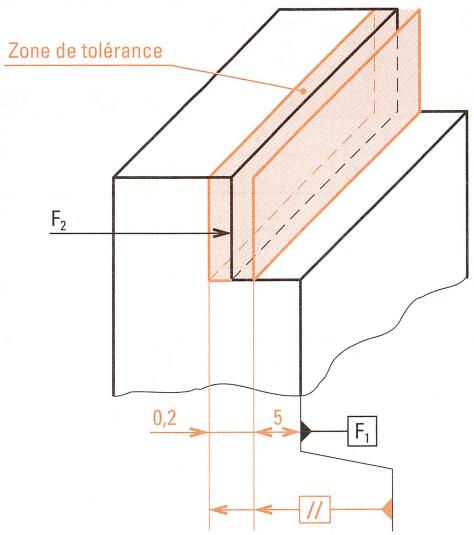
Exemples d'application (extrait du mors mobile ci-contre)

Spécification dimensionnelle	Dimension nominale	Intervalle de tolérance	Dimension maximale	Dimension minimale	Dimension moyenne
$20^{\pm 0,05}$	20 mm	0,1 mm	20,05 mm	19,95 mm	20 mm
$5^{+0,2}_{0}$	5 mm	0,2 mm	5,2 mm	5 mm	5,1 mm

DÉCODAGE DES SPÉCIFICATIONS DIMENSIONNELLES COURANTES

Spécification liant une surface plane à une autre

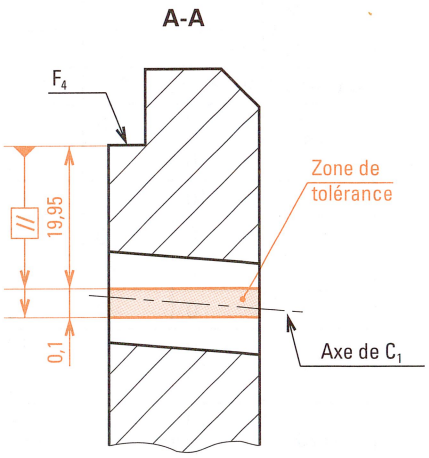
Exemple : $5^{+0,2}_{0}$



Pour respecter la spécification, la surface **F_2** doit être comprise entre deux plans parallèles, situés au minimum à 5 mm de la surface **F_1** et distants de 0,2 mm.

Spécification liant un axe à une surface plane

Exemple : $20^{\pm 0,05}$



Pour respecter la spécification, l'axe de **C_1** doit être compris entre deux droites, coplanaires au plan de coupe **AA**, parallèles et situées au minimum à 19,95 de la surface **F_4** et distantes de 0,1 mm.

Décodage du dessin technique

TOLÉRANCES DÉFINIES À PARTIR DU SYSTÈME ISO

Les valeurs limites (exprimées en microns : 0,001 mm) de la position de l'intervalle de tolérance par rapport à la dimension nominale sont extraites des tableaux de tolérancement.

Démarche d'exploitation des tableaux de tolérancement

Exemples :

∅ 12H8 (mors mobile, *p. 20*)

1 Choisir dans le tableau correspondant (alésage ou arbre) la désignation de la spécification dimensionnelle : **H8**.

2 Choisir le palier de dimensions en fonction de la valeur nominale de la spécification dimensionnelle : **12**.

À l'intersection des flèches, lire les valeurs limites : + 27 / 0 de l'intervalle de tolérance.

∅ 12e9 (centreur, *p. 19*)

– 32 / – 75

Spécification dimensionnelle	Dimension nominale	Intervalle de tolérance	Dimension maximale	Dimension minimale	Dimension moyenne
∅ 12H8	12 mm	0,027 mm	12,027 mm	12 mm	12,013 5 mm
∅ 12e9	12 mm	0,043 mm	11,968 mm	11,925 mm	11,946 5 mm

TOLÉRANCEMENT DES ALÉSAGES

2

Alésage (de / à)	Paliers de dimensions en mm								
	3	6	10	18	30	50	80	120	180
	6	10	18	30	50	80	120	180	250
H6	+ 6	+ 8	+ 9	+ 11	+ 13	+ 16	+ 19	+ 22	+ 25	+ 29
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H7	+ 10	+ 12	+ 15	+ 18	+ 21	+ 25	+ 30	+ 35	+ 40	+ 46
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 H8	+ 14	+ 18	+ 22	+ 27	+ 33	+ 39	+ 46	+ 54	+ 63	+ 72
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H9	+ 25	+ 30	+ 36	+ 43	+ 52	+ 62	+ 74	+ 87	+ 110	+ 115
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H10	+ 40	+ 48	+ 58	+ 70	+ 84	+ 100	+ 120	+ 140	+ 160	+ 185
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H11	+ 60	+ 75	+ 90	+ 110	+ 130	+ 160	+ 190	+ 220	+ 250	+ 290
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H12	+ 100	+ 120	+ 150	+ 180	+ 210	+ 250	+ 300	+ 350	+ 400	+ 460
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H13	+ 140	+ 180	+ 220	+ 270	+ 330	+ 390	+ 460	+ 540	+ 630	+ 720
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Js13	± 70	± 90	± 110	± 135	± 165	± 195	± 230	± 270	± 315	± 360

TOLÉRANCEMENT DES ARBRES

A

2

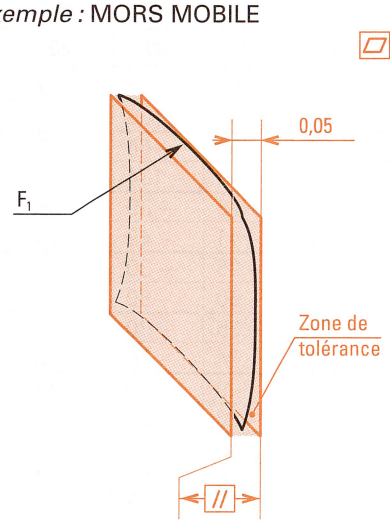
Arbre (de / à)	Paliers de dimensions en mm								
de →	3	6	10	18	30	50	80	120	180
à → 3	6	10	18	30	50	80	120	180	250
e8	– 14	– 20	– 25	– 32	– 40	– 50	– 60	– 72	– 85	– 100
	– 28	– 38	– 47	– 59	– 73	– 89	– 106	– 126	– 148	– 172
1 e9	– 14	– 20	– 25	– 32	– 40	– 50	– 60	– 72	– 85	– 100
	– 39	– 50	– 61	– 75	– 92	– 112	– 134	– 159	– 185	– 215
f6	– 6	– 10	– 13	– 16	– 20	– 25	– 30	– 36	– 43	– 50
	– 12	– 18	– 22	– 27	– 33	– 41	– 49	– 58	– 63	– 79
f7	– 6	– 10	– 13	– 16	– 20	– 25	– 30	– 36	– 43	– 50
	– 16	– 22	– 28	– 34	– 41	– 50	– 60	– 71	– 83	– 96
f8	– 6	– 10	– 13	– 16	– 20	– 25	– 30	– 36	– 43	– 50
	– 20	– 28	– 35	– 43	– 53	– 64	– 76	– 90	– 106	– 122
g5	– 2	– 4	– 5	– 6	– 7	– 9	– 10	– 12	– 14	– 15
	– 6	– 9	– 11	– 14	– 16	– 20	– 23	– 27	– 32	– 35
g6	– 2	– 4	– 5	– 6	– 7	– 9	– 10	– 12	– 14	– 15
	– 8	– 12	– 14	– 17	– 20	– 25	– 29	– 34	– 39	– 44
h5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	– 4	– 5	– 6	– 8	– 9	– 11	– 13	– 15	– 18	– 20
h6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	– 6	– 8	– 9	– 11	– 13	– 16	– 19	– 22	– 25	– 29
h7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	– 10	– 12	– 15	– 18	– 21	– 25	– 30	– 35	– 40	– 46
h8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	– 14	– 18	– 22	– 27	– 33	– 39	– 46	– 54	– 63	– 72
h9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	– 25	– 30	– 36	– 43	– 52	– 62	– 74	– 87	– 100	– 115
h10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	– 40	– 48	– 58	– 70	– 84	– 100	– 120	– 140	– 160	– 185
h11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	– 60	– 75	– 90	– 110	– 130	– 160	– 220	– 220	– 250	– 290
h13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	– 140	– 180	– 220	– 270	– 330	– 390	– 460	– 540	– 630	– 720
j6	+ 4	+ 6	+ 7	+ 8	+ 9	+ 11	+ 12	+ 13	+ 13	+ 16
	– 2	– 2	– 2	– 3	– 4	– 5	– 7	– 9	– 11	– 13
j7	+ 6	+ 8	+ 10	+ 12	+ 13	+ 15	+ 18	+ 20	+ 22	+ 25
	– 4	– 4	– 5	– 6	– 8	– 10	– 12	– 15	– 18	– 21
js13	± 70	± 90	± 110	± 135	± 165	± 195	± 230	± 270	± 315	± 360
k5	+ 4	+ 6	+ 7	+ 9	+ 11	+ 13	+ 15	+ 18	+ 21	+ 24
	0	+ 1	+ 1	+ 1	+ 2	+ 2	+ 2	+ 3	+ 3	+ 4
k6	+ 6	+ 9	+ 10	+ 12	+ 15	+ 18	+ 21	+ 25	+ 28	+ 33
	0	– 1	+ 1	+ 1	+ 2	+ 2	+ 2	+ 3	+ 3	+ 4
m6	+ 8	+ 12	+ 15	+ 18	+ 21	+ 25	+ 30	+ 35	+ 40	+ 46
	+ 2	+ 4	+ 6	+ 7	+ 8	+ 9	+ 11	+ 13	+ 15	+ 17
p6	+ 12	+ 20	+ 24	+ 29	+ 35	+ 42	+ 51	+ 59	+ 68	+ 79
	+ 6	+ 12	+ 15	+ 18	+ 22	+ 26	+ 32	+ 37	+ 43	+ 50
p7	+ 16	+ 24	+ 30	+ 36	+ 43	+ 51	+ 62	+ 72	+ 83	+ 96
	+ 6	+ 12	+ 15	+ 18	+ 22	+ 26	+ 32	+ 37	+ 43	+ 50

B. Spécifications géométriques

FORME

PLANÉITÉ

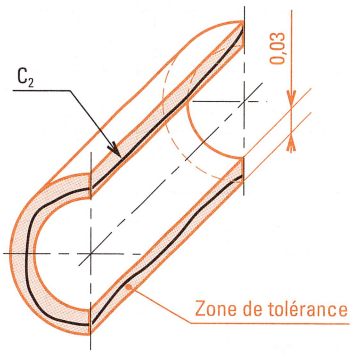
Exemple : MORS MOBILE



Pour respecter la spécification, la surface **F_1** doit être comprise entre deux plans parallèles (//) et distants de 0,05 mm.

CYLINDRICITÉ

Exemple : CENTREUR

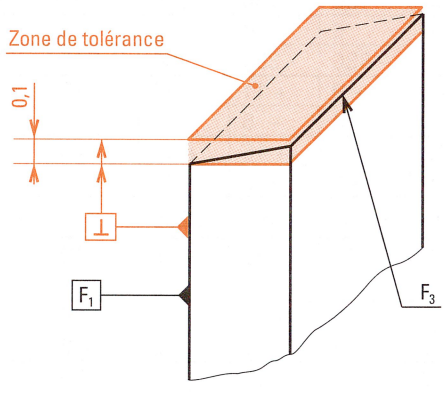


Pour respecter la spécification, la surface **C_2** doit être comprise entre deux cylindres coaxiaux distants au rayon de 0,03 mm.

ORIENTATION

PERPENDICULARITÉ ENTRE SURFACES

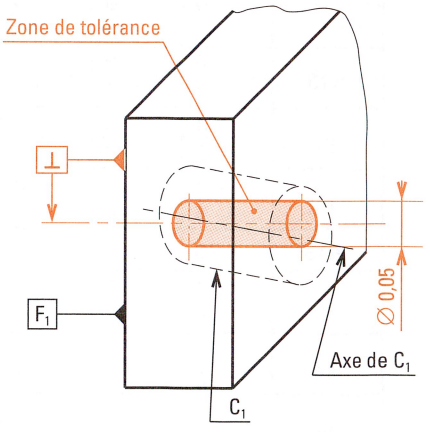
Exemple : MORS MOBILE



Pour respecter la spécification, la surface **F_3** doit être comprise entre deux plans perpendiculaires à la surface de référence **F_1** et distants de 0,1 mm.

PERPENDICULARITÉ ENTRE AXE ET SURFACE

Exemple : MORS MOBILE



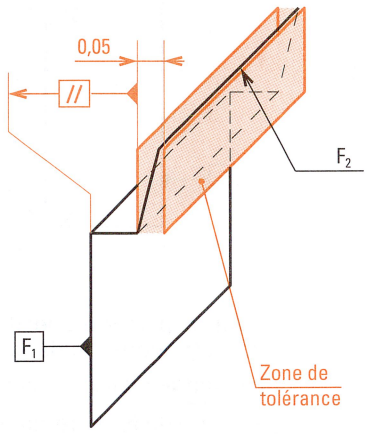
Pour respecter la spécification, l'axe de **C_1** doit être compris dans un cylindre d'axe perpendiculaire à la surface de référence **F_1** et de diamètre 0,05 mm.

ORIENTATION

PARALLÉLISME ENTRE SURFACES //

Exemple : MORS MOBILE

F_2	//	0,05	F_1



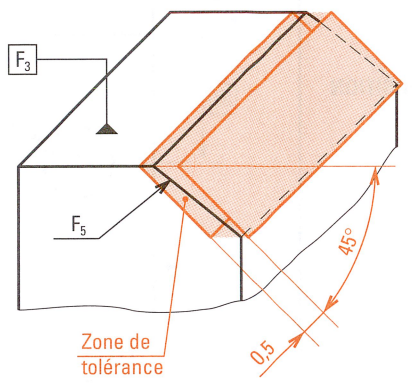
Pour respecter la spécification, la surface F_2 doit être comprise entre deux plans parallèles à la surface de référence F_1 et distants de 0,05 mm.

INCLINAISON ENTRE SURFACES ∠

Exemple : MORS MOBILE

F_5	∠	0,5	F_3

Cotation de la surface F_5 à partir d'une inclinaison



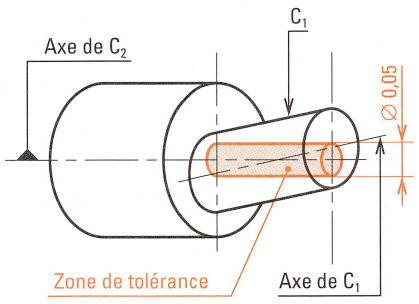
Pour respecter la spécification, la surface F_5 doit être comprise entre deux plans inclinés à 45° par rapport à la surface de référence F_3 et distants de 0,5 mm.

POSITION

COAXIALITÉ ◎

Exemple : CENTREUR

C_1	◎	∅ 0,05	C_2

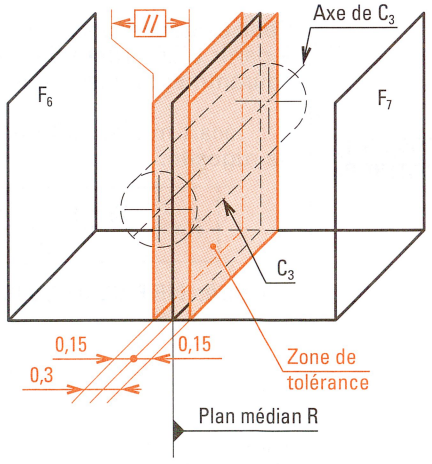


Pour respecter la spécification, l'axe de C_1 doit être compris dans un cylindre d'axe coaxial à l'axe de référence C_2 et de diamètre 0,05 mm.

SYMÉTRIE ENTRE AXE ET PLAN MÉDIAN =

Exemple : MORS MOBILE

C_3	=	0,3	R

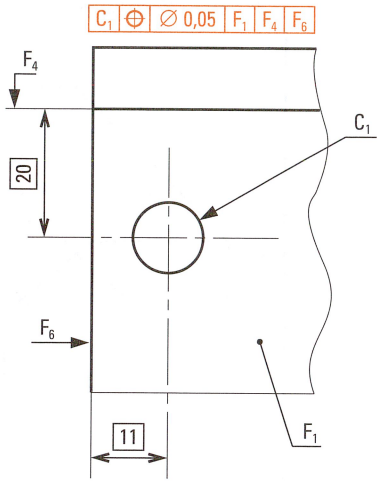


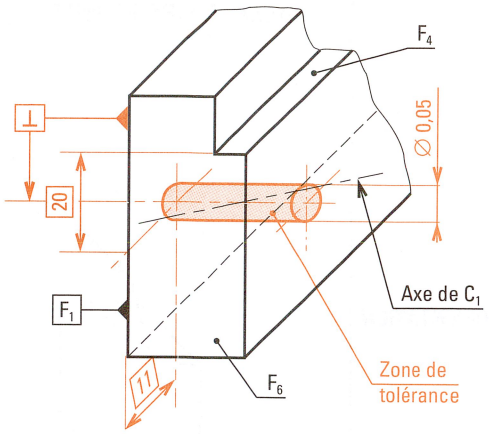
Pour respecter la spécification, l'axe de C_3 doit être compris entre deux plans parallèles distants de 0,3 mm et disposés symétriquement par rapport au plan médian de référence **R**.

POSITION

LOCALISATION

Exemple : MORS MOBILE
Cotation de l'alésage C_1
à partir d'une localisation





Pour respecter la spécification, l'axe de C_1 doit être compris dans un cylindre d'axe perpendiculaire à la surface F_1 à 20 de F_4 et à 11 de F_6 et de diamètre 0,05 mm.

C. Spécifications d'état de surface

RUGOSITÉ, CRITÈRE Ra

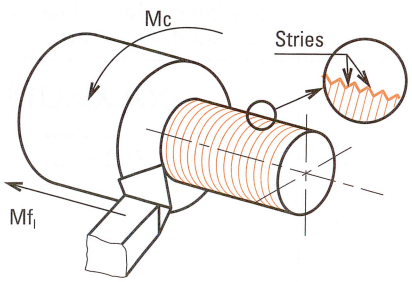
En génération d'enveloppe (*voir p. 101*), le déplacement du bec de l'outil engendre sur la surface générée des stries (ou sillons) plus ou moins importantes selon la vitesse d'avance et la forme du bec.

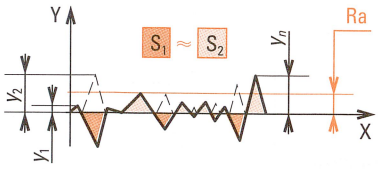
L'importance des stries sur le rôle fonctionnel des surfaces (notamment celle de frottement) est indiscutable.

Cette exigence fonctionnelle est spécifiée à partir d'un critère de rugosité. Le plus couramment utilisé est le **Ra**.

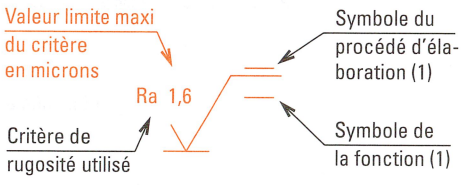
Ra : écart moyen arithmétique du profil de rugosité.

$$Ra \approx \frac{y_1 + y_2 + \ldots + y_n}{n}$$

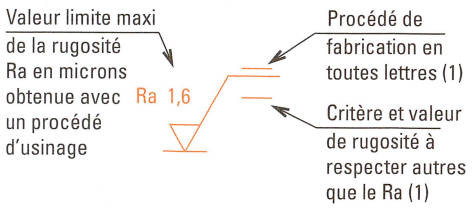




– d'après **NF E 05-015/016**



– d'après norme **ISO 1302**



Pour respecter la spécification, la valeur du **Ra** définie par le calculateur du rugosimètre doit être égale ou inférieure à 1,6 micron.

(1) Éléments précisés uniquement en cas de nécessité fonctionnelle.

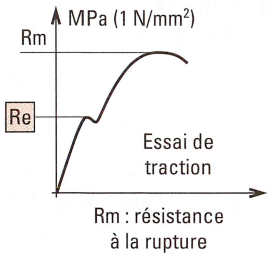
1.2.3. DÉSIGNATIONS NORMALISÉES DES MATÉRIAUX

MATÉRIAUX USINÉS COURANTS

ACIERS — NF EN 10-025, NF EN 10-027

• **Acier d'usage général (S)**

Exemple : S275 (E28)[1] ← Limite d'élasticité (Re) en mégapascals (MPa)



• **Acier de construction mécanique (E)**

Exemple : E335 (A60)[1] ← Limite d'élasticité (Re) en mégapascals (MPa)

• **Aciers non alliés (C)**

Exemple : C40 (XC42)[1] ← Teneur en carbone × 100 (0,4 %)

• **Aciers de décolletage** (pour commande numérique)

Exemple : 20S200 (20F2)[1] ← Teneur en soufre × 100 (2 %)

Teneur en carbone × 100 (0,2 %) ← Symbole du soufre

FONTES NON ALLIÉES — NF A 32-201

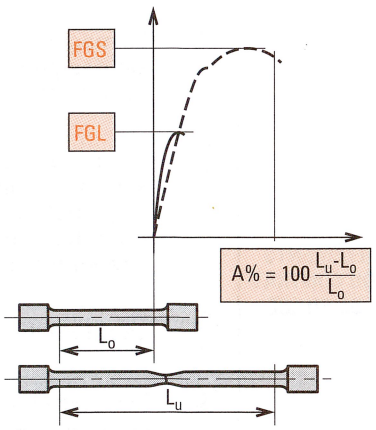
Fonte grise à graphite lamellaire FGL

FGL 250 ← Résistance à la rupture Rm = 250 MPa

Fonte grise à graphite sphéroïdal FGS

FGS 600-2 ← Allongement A% = 2

Résistance à la rupture Rm = 600 MPa



ALLIAGES D'ALUMINIUM — NF A 02-104

• **Alpax**

AS13 ← 13 % de silicium (S)

87 % d'aluminium (A)

• **Alpax à usinabilité améliorée**

AS9U4 ← 4 % de cuivre (U)

87 % d'aluminium (A) — 9 % de silicium (S)

• **Duralumin**

AU4 G ← Trace de magnésium (G)

96 % d'aluminium (A) — 4 % de cuivre (U)

1. Correspondance approximative de l'ancienne symbolisation.

1.3. CONTRAT DE PHASE

DÉFINITION DU CONTRAT DE PHASE

Le **contrat de phase** est le document de référence de l'**opérateur**. Il décrit l'ensemble des opérations, éventuellement groupées en sous-phases, réalisées sur un même poste de travail.

Réalisé à partir de l'avant-projet de fabrication, il permet à l'opérateur de :
- déterminer la cotation de fabrication,
- de mettre en place les montages d'usinage,
- de réaliser les réglages de la machine,
- de préparer le poste de contrôle.

Il devient **définitif** lorsque les responsables de production ont validé le processus de fabrication et que celle-ci peut être qualifiée de **fabrication stabilisée**.

1.3.1. CONTENU DU CONTRAT DE PHASE

ÉLÉMENTS DU CONTRAT DE PHASE

(A) Le numéro de la phase : il permet de repérer la phase dans l'ordre chronologique de la nomenclature des phases (*voir p. 10*).

(B) La désignation de la phase

(C) Les références de la pièce :
- ensemble,
- pièce,
- matière,
- programme.

(D) La machine-outil utilisée : dans une unité de production importante, la machine est désignée de façon précise (type, numéro...) en fonction de la planification de la gestion de production (ordonnancement).

(E) Le croquis de phase :
- dessin de la pièce à usiner,
- symbolisation technologique de la mise en position,
- cotation de fabrication,
- repérage des surfaces.

(F) Le référentiel de mise en position.

(G) Les opérations d'usinage

E = ébauche	**F** = finition
F/2 = demi-finition	**Cf** = cote de fabrication

(H) L'outillage de coupe.

(I) Le porte-pièce utilisé.

Dans le cas d'une préparation décentralisée, l'outillage de coupe et le porte-pièce sont repérés de façon précise (numéro, code barres...) afin d'être identifié par l'opérateur ou le calculateur de la machine.

(J) Les conditions de coupe.

(K) Les différents temps (*voir p. 213*)

Exemple : **Tc = Temps de coupe**

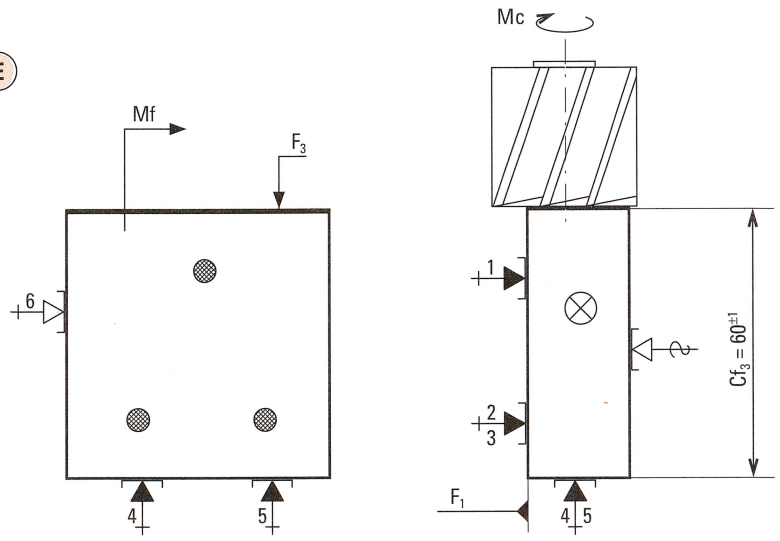
A

CONTRAT DE PHASE	**Ensemble :** Étau de table	1 / 1
	Pièce : Mors mobile	
Phase n° 30 (A)	**Matière :** S275 (C)	BUREAU DES MÉTHODES
Nom :	**Programme :**	

Désignation : FRAISAGE (B)

Machine-outil : Fraiseuse verticale (D)

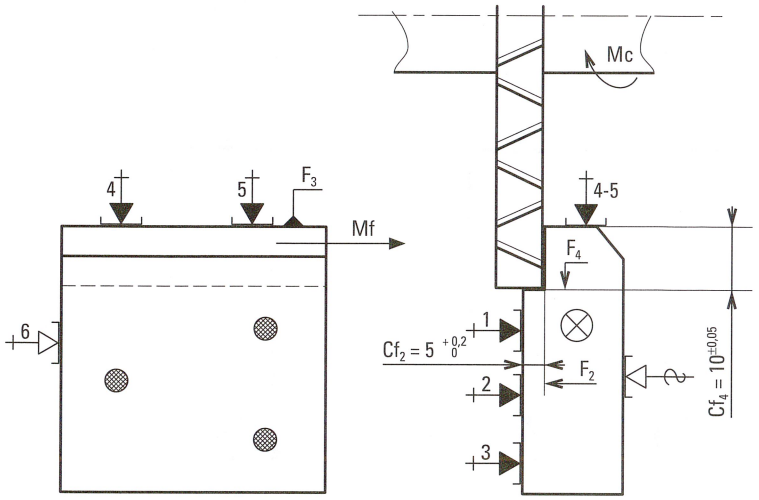
(E)



Désignation des sous-phases et opérations	Éléments de coupe					Outillage	
	Vc m/min	n tr/min	f mm/dt/tr	Vf mm/min	Tc min	Fabrication	Vérification
Mise en position : (F) – Appui plan 1-2-3 – Appui linéaire 4-5					(K)	Équerre de montage (I)	
Maintien par brides Butée aux efforts (6)		(J)				(H)	
301 Surfaçage en finition de F_3	20	200	0,05	80	1,2	Fraise 2 tailles ∅ 30 Z8 acier rapide	Pied à coulisse Comparateur
(G) $Cf_3 = 60^{\pm 1}$ $F_3 \perp F_1$							

1.3.2. CONTRAT DE PHASE SUR MACHINE-OUTIL CONVENTIONNELLE

CONTRAT DE PHASE	**Ensemble :** Étau de table	1 / 1
	Pièce : Mors mobile	
Phase n° 50	**Matière :** S275	BUREAU DES MÉTHODES
Nom :	**Programme :**	
Désignation : FRAISAGE		
Machine-outil : Fraiseuse horizontale		



Désignation des sous-phases et opérations	Éléments de coupe					Outillage	
	Vc m/min	*n* tr/min	*f* mm/dt/tr	Vf mm/min	Tc min	Fabrication	Vérification
Mise en position : – Appui plan 1-2-3 – Appui linéaire 4-5 Maintien par brides Butée aux efforts (6)						Équerre de montage	
501 Surfaçages combinés à prédominance en bout $Cf_2 = 5\ ^{+0,2}_{0}$ $Cf_4 = 10\ ^{\pm 0,05}$ $F_2 \perp F_3$ $F_4 \,//\, F_3$	20	60	0,05			Fraise 3 tailles denture alternée ∅ 100 acier rapide	Jauge micrométrique de profondeur Comparateur

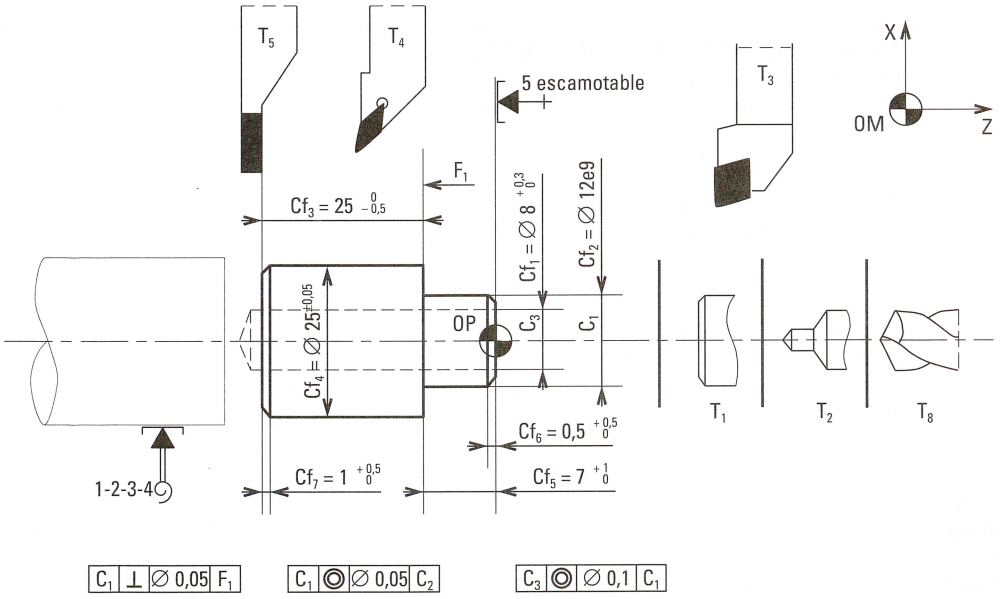
1.3.3. CONTRAT DE PHASE SUR MACHINE-OUTIL À COMMANDE NUMÉRIQUE

A

CONTRAT DE PHASE	**Ensemble :**	1 / 1
	Pièce : Centreur	
Phase n° 50	**Matière :** 20S200	BUREAU DES MÉTHODES
Nom :	**Programme :** %100	

Désignation : TOURNAGE

Machine-outil : Tour à commande numérique (CN)



C1 ⊥ Ø 0,05 F1 — C1 ◎ Ø 0,05 C2 — C3 ◎ Ø 0,1 C1

Désignation des sous-phases et opérations	Éléments de coupe					Outillage	
	Vc m/min	n tr/min	f mm/tr	Vf mm/min	Tc min	Fabrication	Vérification
Mise en position : – Centrage long 1-2-3-4 – Contact ponctuel 5 escamotable Maintien par serrage concentrique des mors						Mandrin à commande hydraulique	
201 Mise en butée						Butée T1	
202 Centrage	22	950	0,15			Foret cent. T2	
203 Dressage	120		0,15			Foret 8,5 T8	
204 Contournage ébauche	100		0,15			Rombic 80 T3	
205 Contournage finition	120		0,1			Rombic 80 T4	
206 Tronçonnage	100		0,1			Out. à tronc. T5	Plaqu. Rugotest Calibre à limites

1.4. COTATION DE FABRICATION

1.4.1. RÈGLES

CARACTÉRISTIQUES

Les cotes de fabrication (**Cf**) sont affichées sur le contrat de phase. Elles constituent le contrat de fabrication à respecter sur le poste de travail.
Elles sont déterminées par le bureau des méthodes (**BM**) soit directement, soit par calcul à partir de la cotation fonctionnelle du dessin de définition.
Elles permettent le calcul des cotes de réglages (**Cr**) (*voir p. 117*).

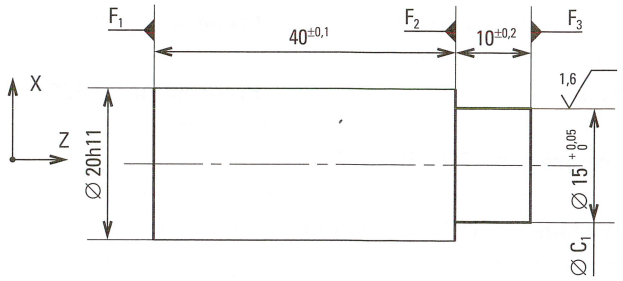
EXEMPLE DE DESSIN DE DÉFINITION

Pièce : **axe**

Matière : **E335**

Nature brut : **étiré ∅ 20**

Rugosité générale : 6,3 / 3,2



OPÉRATIONS D'USINAGE DES DIFFÉRENTS CONTRATS DE PHASE

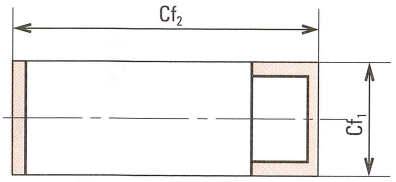
Phase 10 : CONTRÔLE DU BRUT ÉTIRÉ

Cf_1 : diamètre de la barre « étiré » donné directement sur le dessin de définition.

Cf_1 = ∅ 20h11

Cf_2 : longueur du débit à calculer (*voir page ci-contre*).

Cf_2 = 52,1 $^{+1}_{0}$

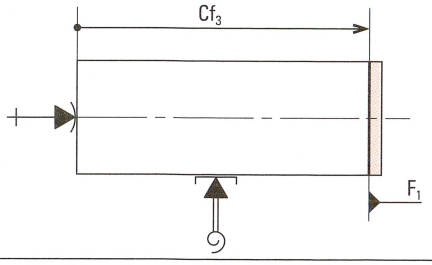


Phase 20 : TOURNAGE

Dressage de **F_1** en finition

Cf_3 : à calculer (*voir page ci-contre*).

Cf_3 = 50,6 $^{+1}_{0}$



Phase 30 : TOURNAGE

– Dressage de **F_3** en finition

Cf_4 : à calculer (*voir page ci-contre*).

Cf_4 = 49,9 $^{+0,2}_{0}$

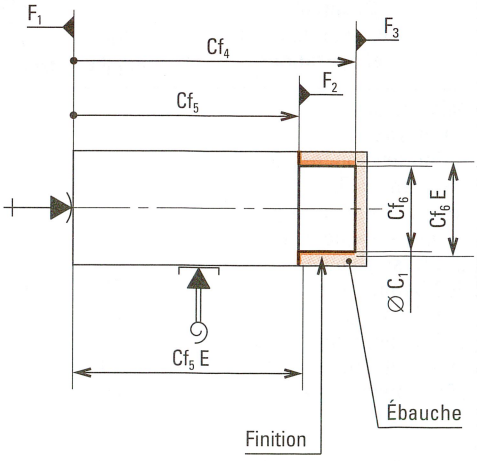
– Chariotage cylindrique et dressage combinés de ∅ **C_1** et **F_2** :

- **en ébauche** (E)
  Cf_5 E, **Cf_6 E** } à calculer (*voir page ci-contre pour Cf_5 E*).

Cf_5 E = 40,2 $^{+0,3}_{0}$ | **Cf_6 E = 15,25 $^{+0,2}_{0}$**

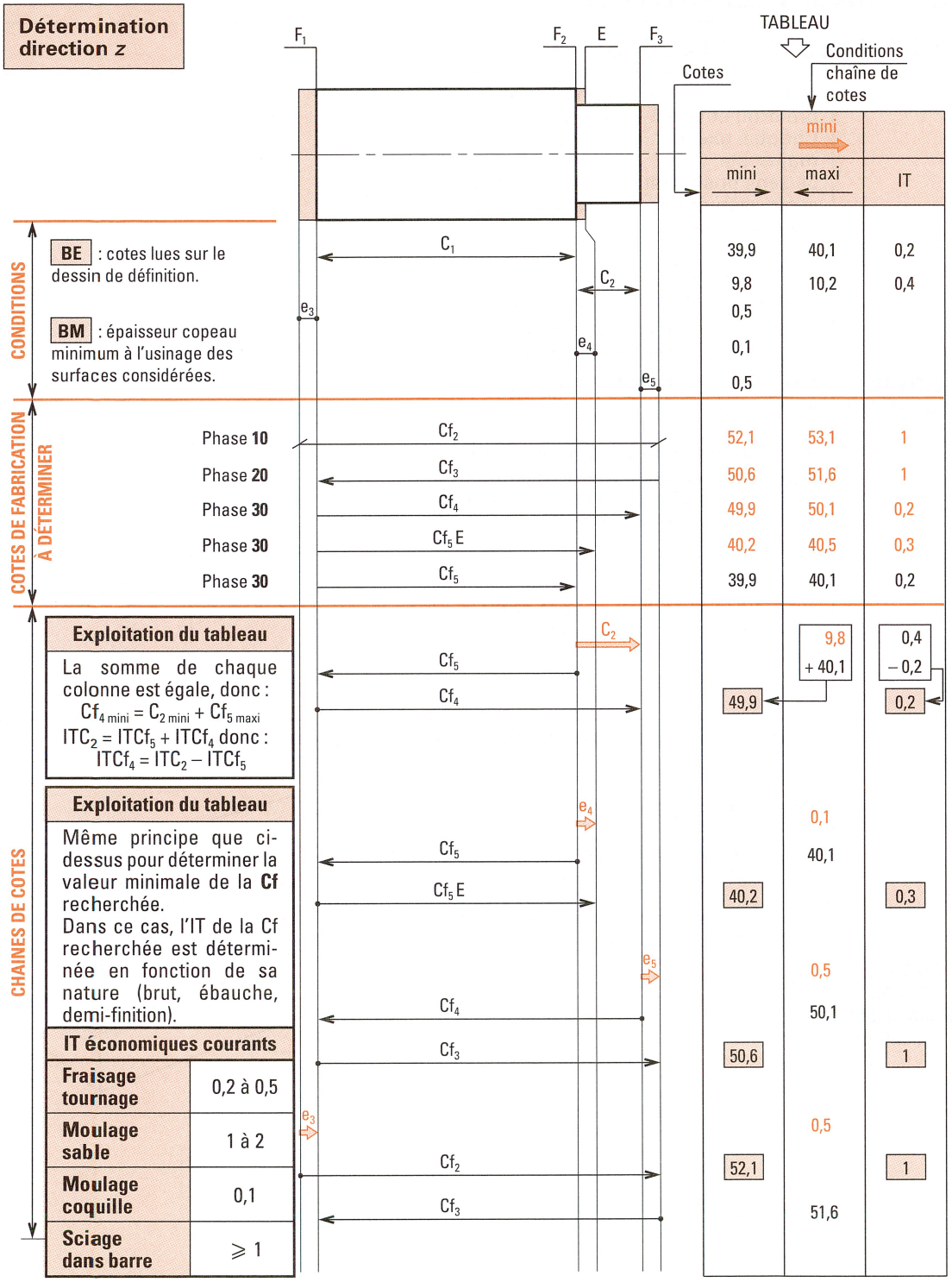
- **en finition**
  Cf_5, **Cf_6** } données directement sur le dessin de définition.

Cf_5 = 40 $^{\pm 0,1}$ | **Cf_6 = ∅ 15 $^{+0,05}_{0}$**



1.4.2. MÉTHODE VECTORIELLE DE DÉTERMINATION DES COTES DE FABRICATION

Détermination direction *z*



IT économiques courants	
Fraisage tournage	0,2 à 0,5
Moulage sable	1 à 2
Moulage coquille	0,1
Sciage dans barre	⩾ 1

2. PRÉPARATION DU POSTE D'USINAGE

%10

2.1. MACHINES-OUTILS

2.1.1. AXES NORMALISÉS

DÉFINITION (NF Z 68-020)

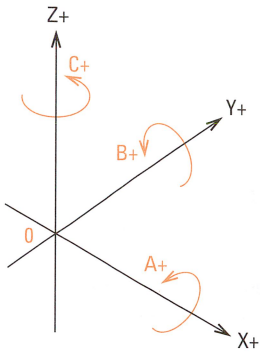
Les axes normalisés constituent un trièdre droit et direct **(XYZ)**.
Chaque axe est repéré par une lettre majuscule.
Le sens positif est celui qui provoque un accroissement de la spécification concernée sur la pièce.

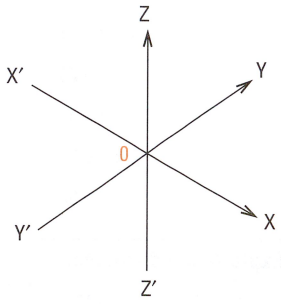
Identification des axes :

- **axe Z** : axe de la broche de la machine ;
- **axe X** : axe qui correspond au déplacement de plus grande amplitude ;
- **axe Y** : axe formant, avec les deux précédents, le trièdre droit et direct.

Sur une machine à commande numérique, lorsque le déplacement courant est dans le sens négatif on utilise, pour désigner l'axe, le signe prime (′). Exemple : **X′**, **Y′**, **Z′**.

Les mouvements de rotation effectués autour des axes **X**, **Y**, **Z** sont notés **A**, **B**, **C**. Le sens positif de ces mouvements correspond au sens trigonométrique.





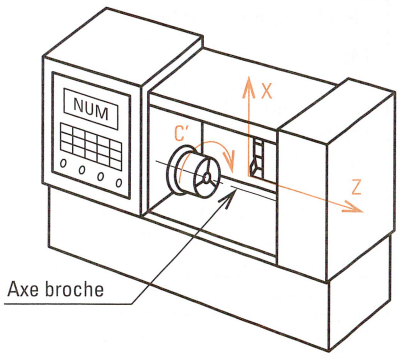
EXEMPLES D'AXES NORMALISÉS SUR MOCN

MACHINE-OUTIL À COMMANDE NUMÉRIQUE (MOCN) À 2 AXES

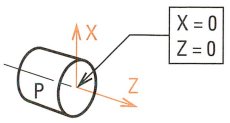
Tour à commande numérique

Axe Z : mouvement longitudinal (avance f_l ou pénétration a_l) donné à l'outil.

Axe X : mouvement transversal (avance f_t ou pénétration a_t) donné à l'outil.



Référentiel de programmation associé à la pièce.



A

EXEMPLES D'AXES NORMALISÉS SUR MOCN (suite)

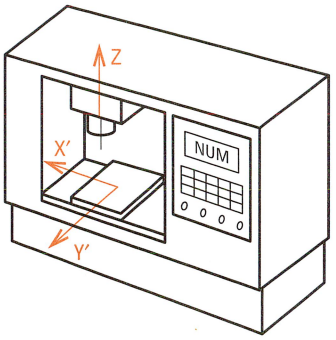
MACHINE-OUTIL À COMMANDE NUMÉRIQUE À 3 AXES

Fraiseuse à commande numérique

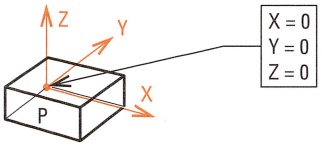
Axe Z : mouvement vertical (avance f_v ou pénétration a_v) donné à l'outil.

Axe X' : mouvement longitudinal (avance f_l ou pénétration a_l) donné à la pièce.

Axe Y' : mouvement transversal (avance f_t ou pénétration a_t) donné à la pièce.



Référentiel de programmation associé à la pièce.



2.1.2. ARCHITECTURE D'UNE MACHINE-OUTIL

A. Chaînes cinématiques

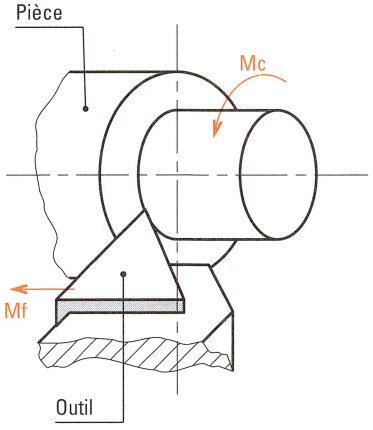
DONNÉES DE BASE

Pour générer une ou plusieurs surface(s) élémentaire(s), il est nécessaire de combiner deux mouvements générateurs :

– le mouvement de **coupe Mc** ;

– le mouvement d'**avance Mf**.

Ils peuvent être donnés à l'outil ou à la pièce (notions développées p. 100).



Principales caractéristiques pouvant être associées à chacun de ces mouvements :

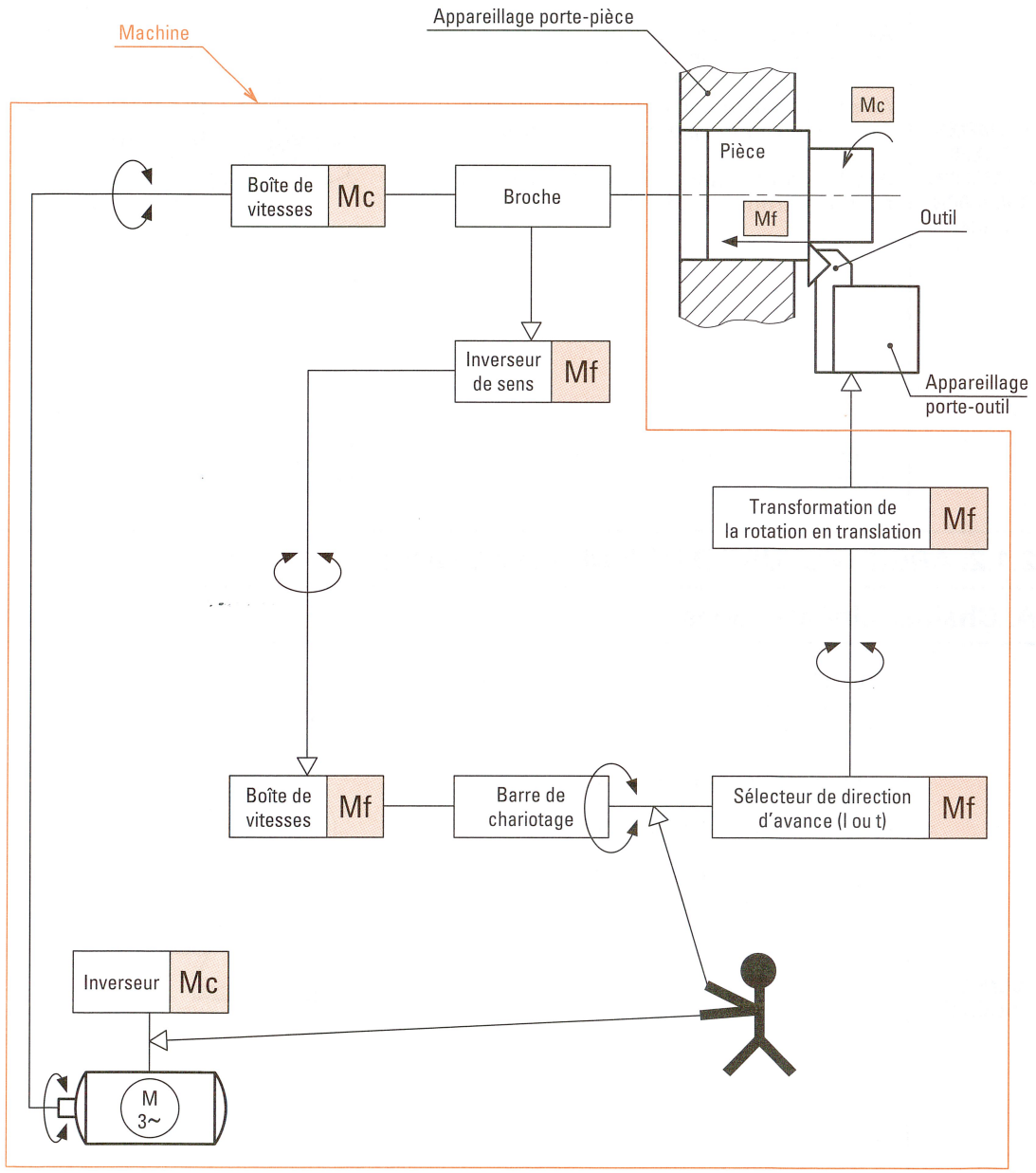
– la **vitesse** (donnée cinématique essentielle réglable à partir de la boîte de vitesses) ;

– la **trajectoire** rectiligne ou circulaire ;

– la **direction** et le **sens** du déplacement.

CHAÎNES CINÉMATIQUES COMPARÉES

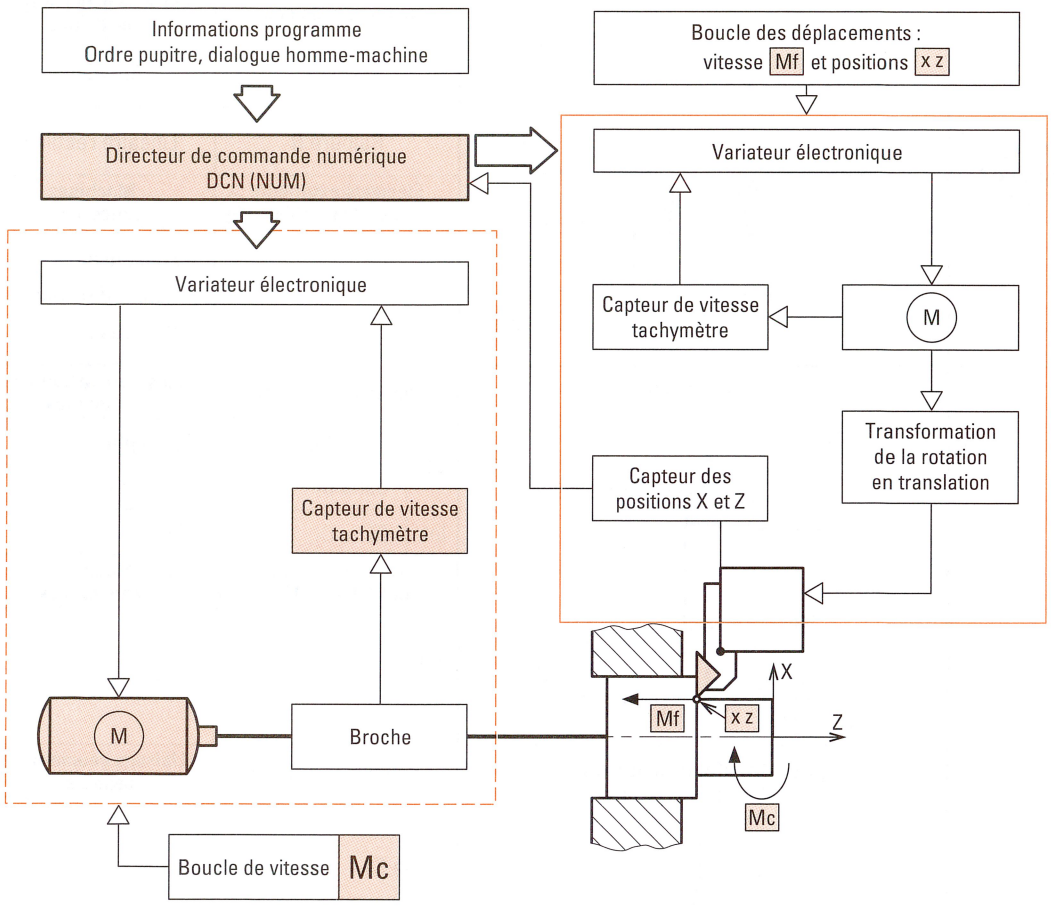
– d'une **machine conventionnelle** : par exemple, tour parallèle à charioter ;

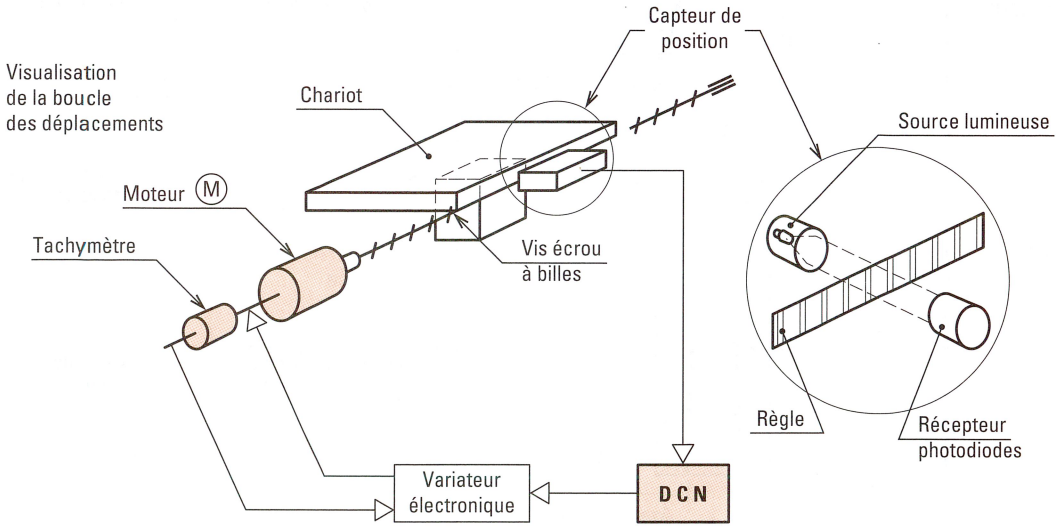


Remarque : sur une machine conventionnelle, l'opérateur fait partie de la boucle d'usinage. C'est lui qui agit directement sur la chaîne cinématique pour contrôler les vitesses et les réglages des mouvements et pour intervenir sur le couple outil/pièce.

– d'une **machine à commande numérique** : par exemple, tour à commande numérique.

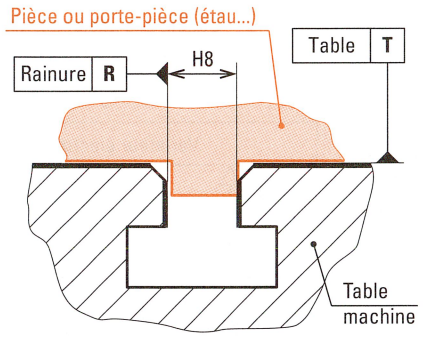
A





B. Éléments de référence machine des circuits géométriques

TABLE RAINURÉE À T

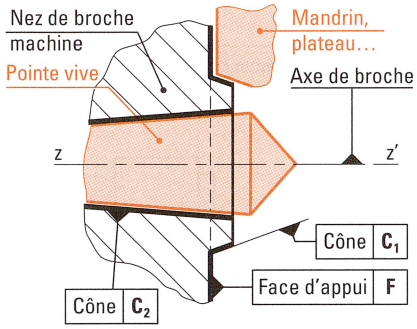


Référentiel de base	Liaisons géométriques associées
Table **T**	Appui plan
Rainure **R**	Linéaire rectiligne

Éléments extérieurs liés à la machine (M)	Machines concernées
(M) ← Pièce (M) ← Porte-pièce : étau, montage d'usinage	– Fraiseuses – Centre d'usinage – Perceuse

NEZ DE BROCHE

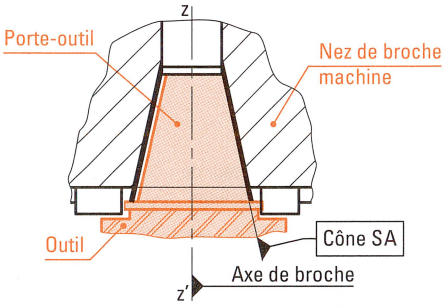
Type ASA



Référentiel de base		Liaisons géométriques associées
Ext.	Face d'appui F	Appui plan
Ext.	Cône C_1	Linéaire annulaire
Int.	Cône C_2	Pivot

Éléments extérieurs liés à la machine (M)	Machines concernées
(M) ← Porte-pièce : *intérieur* : pointe vive ; *extérieur* : mandrin, plateau...	Tours

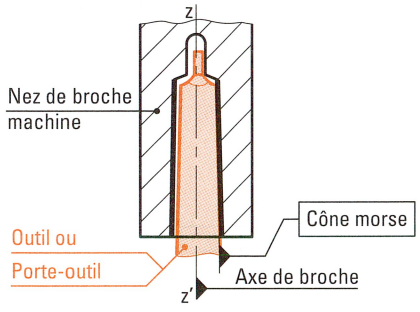
Type standard américain (SA) NF E 62-540



Référentiel de base	Liaisons géométriques associées
Cône SA	Pivot

Éléments extérieurs liés à la machine (M)	Machines concernées
(M) ← Porte-outil	– Fraiseuses – Centre d'usinage

Type morse NF E 66-531



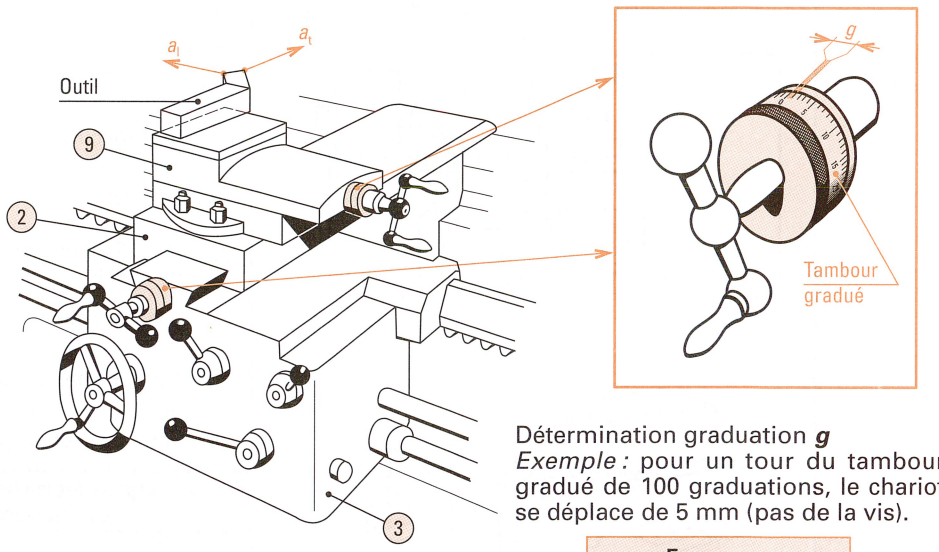
Référentiel de base	Liaisons géométriques associées
Cône morse	Pivot

Éléments extérieurs liés à la machine (M)	Machines concernées
(M) ← Outil : foret... (M) ← Porte-outil : mandrin...	– Perceuses – Tours (fourreau poupée mobile)

C. Éléments de réglage des machines

OBJECTIF — Permettre le respect des cotes de fabrication (**Cf**).

TAMBOURS GRADUÉS



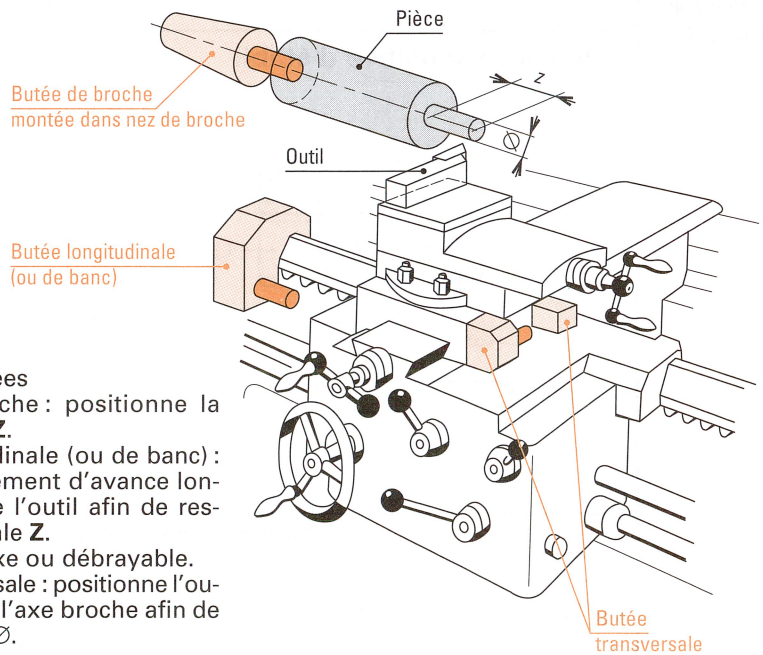
Détermination graduation ***g***
Exemple : pour un tour du tambour gradué de 100 graduations, le chariot se déplace de 5 mm (pas de la vis).

$$g = \frac{5}{100} = 0{,}05 \text{ mm}$$

a_l : pénétration longitudinale (axe **Z**), obtention des **Cf** axiales (⑨ ou ③).
a_t : pénétration transversale (axe **X**), obtention des **Cf** radiales (∅) (②).

Procédure de réglage au vernier : *voir p. 116.*

BUTÉES



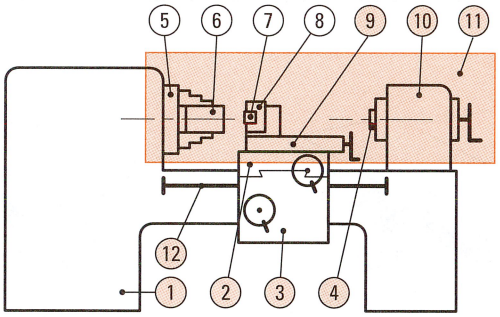
Différentes butées
• Butée de broche : positionne la pièce sur l'axe **Z**.
• Butée longitudinale (ou de banc) : arrête le mouvement d'avance longitudinal Mf_l de l'outil afin de respecter la **Cf** axiale **Z**.
Elle peut être fixe ou débrayable.
• Butée transversale : positionne l'outil par rapport à l'axe broche afin de respecter la **Cf** ∅.

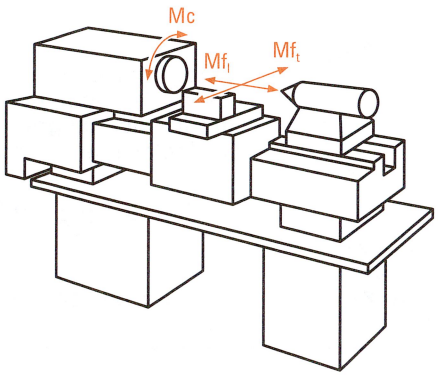
Procédure de réglage des butées : *voir p. 117.*

2.1.3. TYPES DE MACHINES

MACHINES-OUTILS CONVENTIONNELLES COURANTES ANCIENNE GÉNÉRATION

• Tour parallèle à charioter

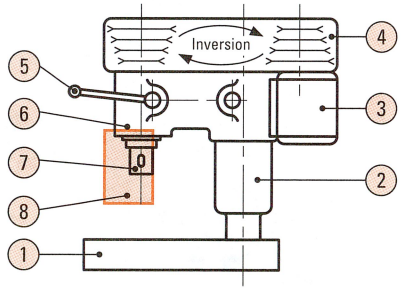


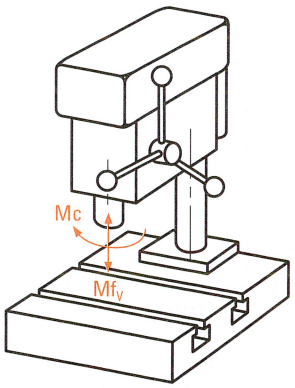


Principaux éléments de la machine	
1	bâti
2	chariot transversal
3	traînard ou chariot longitudinal
4	fourreau
9	chariot porte-outil ou chariot orientable
10	poupée mobile
11	carter de protection
12	barre de chariotage

Principaux éléments extérieurs liés à la machine		
Appareillage	5	porte-pièce mandrin et mors
	8	porte-outil amovible
Couple outil/pièce	6	pièce
	7	outil à tranchant unique

• Perceuse sensitive d'établi

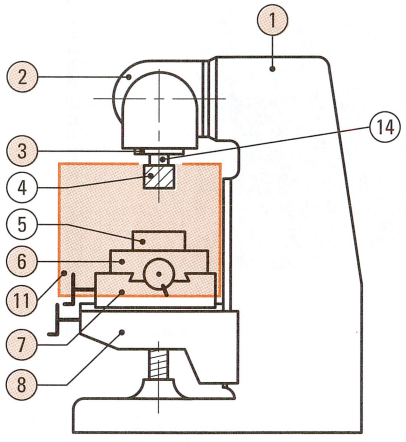




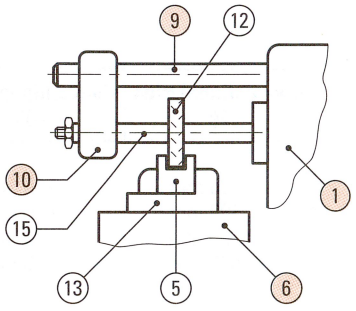
Principaux éléments de la machine			
1 table	3 moteur	5 levier de commande de l'avance manuelle	7 broche
2 colonne	4 boîte de vitesses	6 bâti	8 carter de protection

• Fraiseuse universelle à console

– avec broche verticale

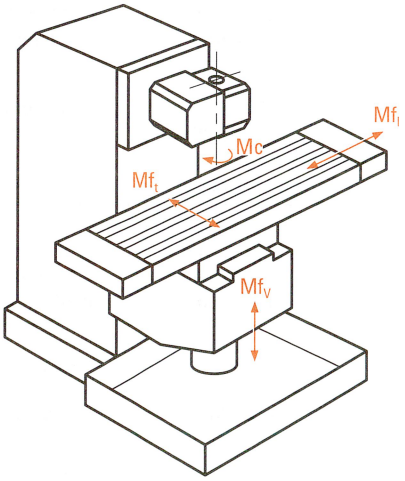


– avec broche horizontale

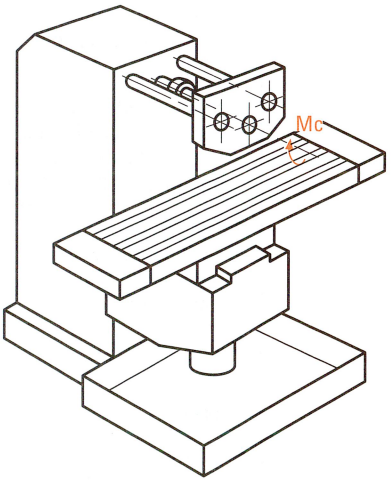


Principaux éléments de la machine	
1	bâti
2	tête universelle
3	nez de broche
6	table (chariot longitudinal)
7	chariot transversal
8	console (chariot vertical)
9	bras support
10	lunette
11	carter de protection

Principaux éléments extérieurs liés à la machine		
Appareillage	13	porte-pièce : étau à mors parallèles
	14	porte-outil : arbre porte-fraise
	15	porte-outil : arbre long porte-fraise
Couple outil/pièce	5	pièce
	4	fraise 2 tailles
	12	fraise 3 tailles



En verticale

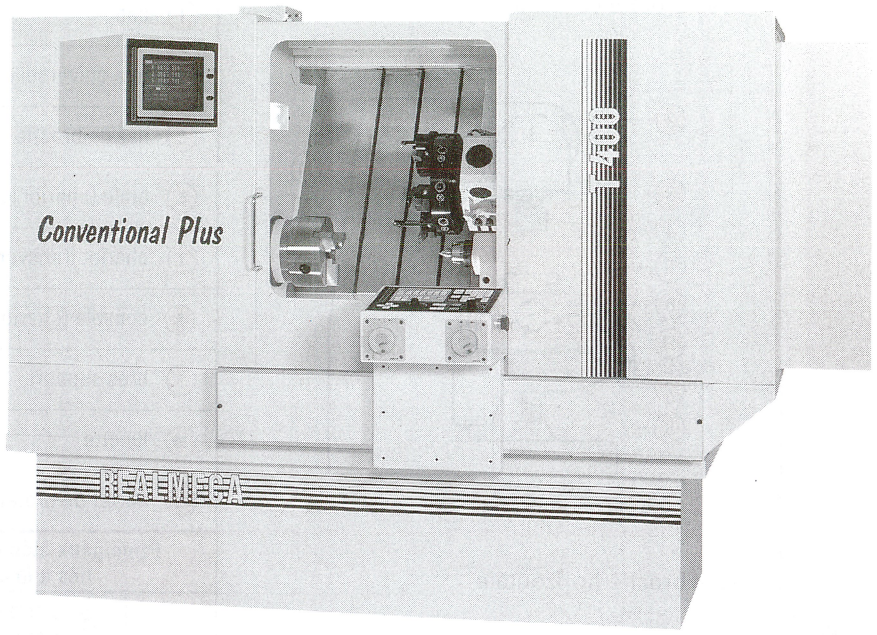


En horizontale

MACHINES-OUTILS CONVENTIONNELLES À COMMANDES ASSISTÉES

CONVENTIONAL PLUS (RÉALMÉCA)

• Tour

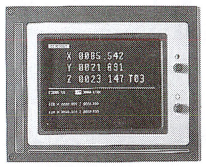


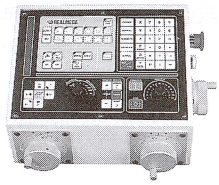
Doc. Réalméca

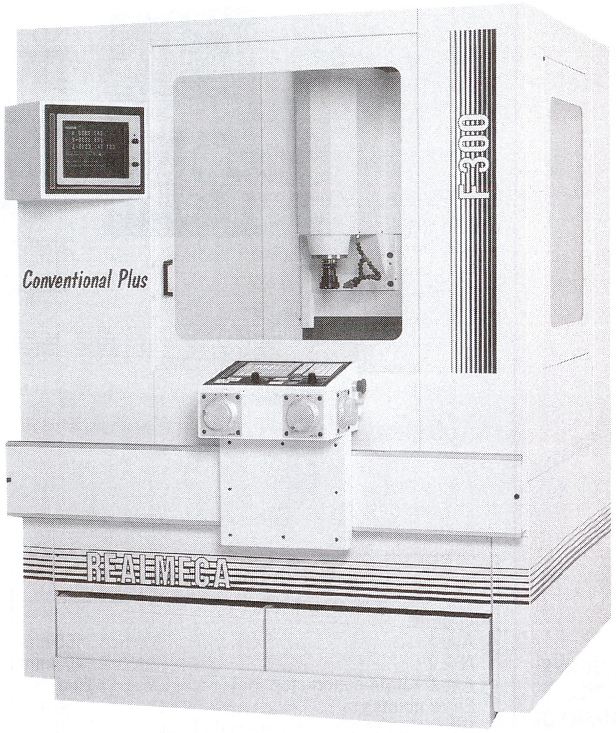
Caractéristiques techniques	Conventional Plus 20	Conventional Plus 400	Conventional Plus 1000
Capacité			
Course X	160 mm	200 mm	280 mm
Course Z	300 mm	600 mm	1 100 mm
Diamètre maximum au-dessus du banc	∅ 190 mm	∅ 300 mm	∅ 650 mm
Entre pointes	500 mm	700 mm	1 200 mm
Broche			
Vitesse de rotation	100 à 4 000 tr/min	100 à 4 000 tr/min	100 à 4 000 tr/min
Puissance	5,5/7,5 kW	7,5/11 kW	18,5/22 kW
Diamètre du mandrin	∅ 165 mm	∅ 200 mm	∅ 315 mm
Diamètre du nez de broche	∅ 70 mm	∅ 110 mm	A2.8″
Tourelle			
Section outil extérieur	⧄ 20 mm	⧄ 25 mm	⧄ 32 mm
Section outil intérieur	∅ 20 mm	∅ 25 mm	∅ 32 mm
Porte-outil à chargement manuel rapide option tourelle revolver	VDI 16	VDI 20/30	VDI 40/50
Avances			
Avance de travail	0 à 10 m/min	0 à 10 m/min	0 à 15 m/min
Avance rapide	10 m/min	10 m/min	15 m/min
Résolution	0,001 mm	0,001 mm	0,001 mm
Contre-pointe			
Cône	CM 3	CM 4	CM 5
Masse	2 500 kg	2 950 kg	4 700 kg
Raccordements			
Puissance installée	13 kVA	20 kVA	35 kVA
Tension d'alimentation	400 V triphasé	400 V triphasé	400 V triphasé

A

• Fraiseuse







Doc. Réalméca

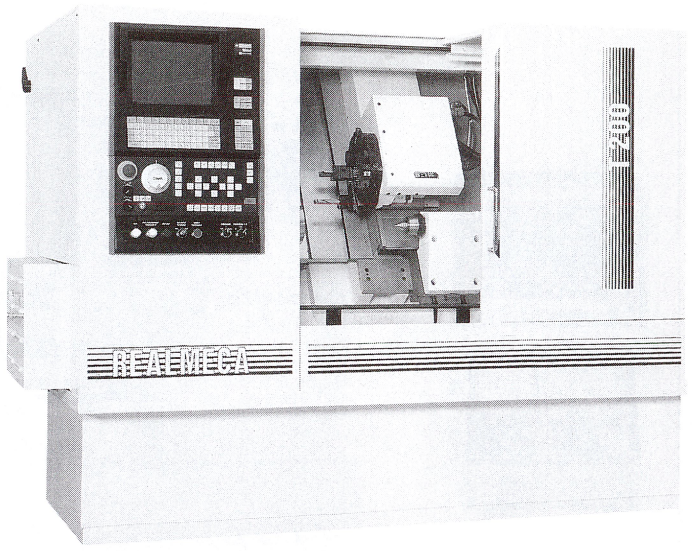
MACHINES-OUTILS CONVENTIONNELLES À COMMANDES ASSISTÉES

CONVENTIONAL PLUS (RÉALMÉCA) (suite)

Caractéristiques techniques	Conventional Plus F 200 V	Conventional Plus F 300 V	Conventional Plus F 400 V
Capacité			
Course X	205 mm	320 mm	500 mm
Course Y	165 mm	260 mm	350 mm
Course Z	250 mm	340 mm	450 mm
Table	250 × 220 mm	500 × 300 mm	600 × 350 mm
Broche			
Vitesse de broche	100 à 6 000 tr/min	100 à 6 000 tr/min	100 à 6 000 tr/min
Puissance de broche	2,5/3,7 kW	3,7/5,5 kW	5,5/7,5 kW
Cône de broche	E 25	ISO 30	ISO 30/BT 40
Avances			
Avance de travail	0 à 10 m/min	0 à 10 m/min	0 à 10 m/min
Avance rapide	10 m/min	10 m/min	10 m/min
Résolution	0,001 mm	0,001 mm	0,001 mm
Masse	2 100 kg	2 850 kg	4 000 kg
Raccordements			
Puissance installée	10 kVA	12 kVA	15 kVA
Tension d'alimentation	400 V triphasé	400 V triphasé	400 V triphasé
Air comprimé	6 bars	6 bars	6 bars

MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE MOCN (RÉALMÉCA)

• Centre de tournage T 200



Doc. Réalméca

Caractéristiques techniques

Capacité
- Axe X ..... 160 mm
- Axe Z ..... 400 mm
- Axe C rotatif continu (option) ..... 20 tr/min
- Entre pointes ..... 450 mm
- Diam. de passage au-dessus du banc ..... ∅ 320 mm

Broche
- Vitesse ..... 100 à 5 000 tr/min
- Puissance ..... 5,5/7,5 kW (option 7,5/11 kW)
- Diamètre mandrin ..... ∅ 130 mm
- Diamètre maxi de passage de barre ..... ∅ 27 mm
- Mode de serrage pneumatique

Avances
- Avance de travail ..... 0 à 10 m/min
- Avance rapide ..... 10 m/min
- Résolution ..... 0,001 mm
- Axe C (option)

Tourelle porte-outils
- Nombre d'outils 8
- Section outil extérieur ..... ☐ 12 mm
- Section outil intérieur ..... ∅ 12 mm
- Porte-outils VDI 16 (option VDI 20)
- Option : 12 outils fixes et tournants
  - nombre maxi d'outils tournants 6
  - diamètre des pinces des outils tournants .. ∅ 7 mm
  - vitesse programmable des outils tournants ..... 100/6 000 tr/min
  - puissance broches outils tournants ..... 1 kW

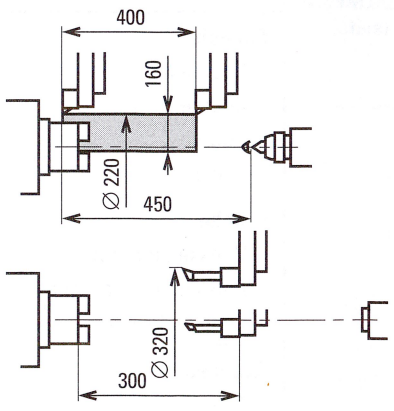
Contre-pointe
- Course pneumatique fourreau ..... 60 mm
- Course pneumatique contre-pointe (option) ... 200 mm

Directeur de commande
- NUM - FANUC - CNC plus

Masse ..... 2 950 kg

Raccordements
- Puissance installée ..... 13 kVA
- Air comprimé ..... 6 bars

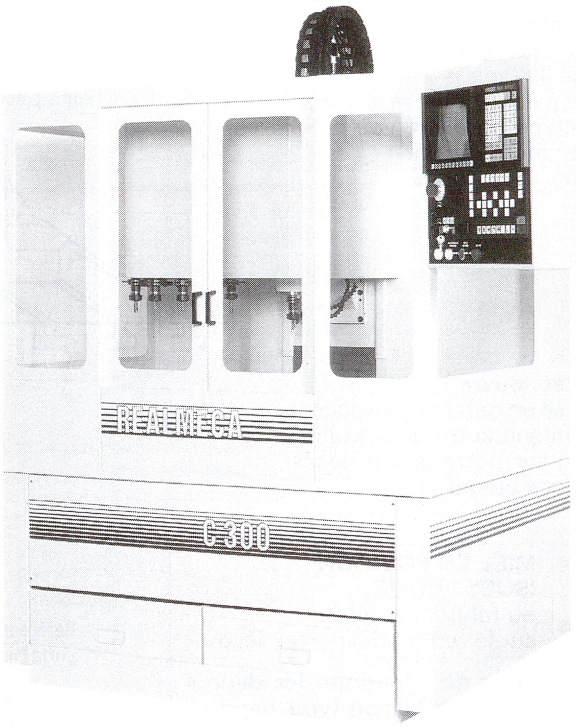
Volumes usinables



A

MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE MOCN (RÉALMÉCA) (suite)

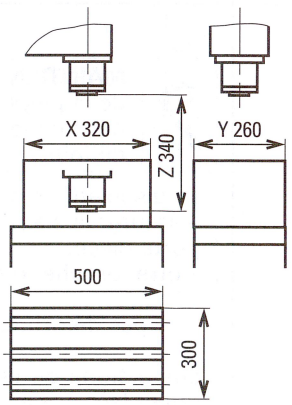
• Centre d'usinage vertical C 300 V



Doc. Réalméca

Caractéristiques techniques	
Capacité	
Course X	320 mm
Course Y	260 mm
Course Z	340 mm
Table	500 × 300 mm
Broche normale	
Vitesse de broche	100 à 6 000 tr/min
Puissance moteur	3,7/5,5 kW
Cône de broche	ISO 30
Broche HF	
Vitesse de broche	3 000 à 42 000 tr/min
Puissance de broche	11 kW
Cône de broche	ISO 30
Avances	
Avance de travail	0 à 10 m/min
Avance rapide	10 m/min
Résolution	0,001 mm
Changeur d'outils	
Capacité changeur	12
Type d'outils	ISO 30
Diamètre maxi des outils	∅ 70 mm
Longueur maxi des outils	120 mm
Poids maxi	2,5 kg
Directeur de commande	
NUM - HEIDENHAIN - FANUC	
Masse	2 850 kg
Raccordements	
Puissance installée	12 kVA
Air comprimé	6 bars

Volumes usinables

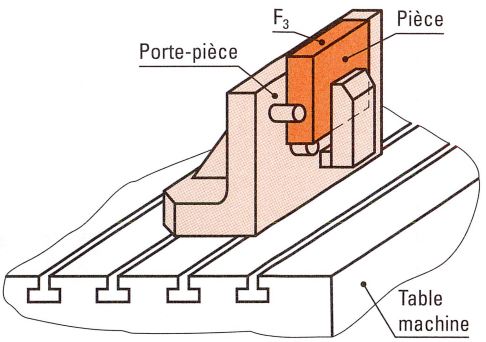


2.2. RELATION PIÈCE → PORTE-PIÈCE → MACHINE

2.2.1. LIAISONS MÉCANIQUES ENTRE SOLIDES

MISE EN ŒUVRE D'UNE LIAISON MÉCANIQUE ENTRE SOLIDES

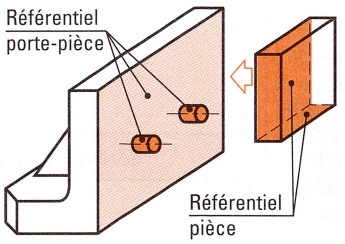
Exemple
Liaison pièce/porte-pièce
Phase 30 (*voir p. 29*)
Porte-pièce : équerre de montage (type Norelem, *voir p. 57*)
Pièce : mors mobile



Mise en œuvre
La mise en œuvre d'une liaison mécanique entre deux solides (pièce sur porte-pièce) nécessite deux étapes.

1 MISE EN POSITION ISOSTATIQUE
du référentiel pièce sur le référentiel porte-pièce

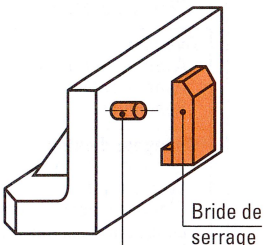
Elle permet de supprimer les degrés de liberté de la liaison (*voir page ci-contre*).
Elle peut être définie :
– par une symbolisation géométrique (*voir p. 48-49*) utilisée pour la rédaction de l'avant-projet d'étude de fabrication (APEF) ;
– par une symbolisation technologique (*voir p. 50-51*) utilisée pour la rédaction du contrat de phase.



2 MAINTIEN EN POSITION
de la pièce sur le porte-pièce dans la position géométrique définie

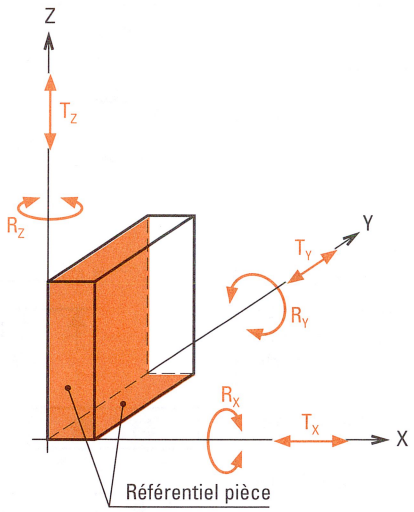
Le dispositif de maintien doit :
– assurer la stabilité de la pièce sur le porte-pièce,
– être proche de l'usinage sans le gêner,
– ne pas déformer la pièce.

Les actions de serrage seront appliquées face aux appuis de mise en position. La force du serrage sera minimale mais toujours supérieure à celle des efforts de coupe.
Il est défini par une symbolisation technologique (*voir p. 50-51*) utilisée pour la rédaction du contrat de phase.



A

DEGRÉS DE LIBERTÉ (DL)



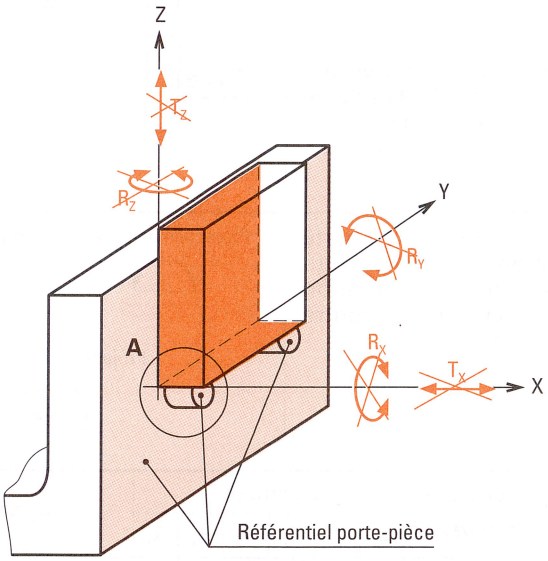
Le référentiel pièce n'est pas lié géométriquement au référentiel porte-pièce. Dans l'espace, par rapport au repère **XYZ**, la pièce peut se déplacer selon **6 mobilités** élémentaires appelées **degrés de liberté (DL)** :

– 3 DL en translation :

T_X, T_Y, T_Z

– 3 DL en rotation :

R_X, R_Y, R_Z



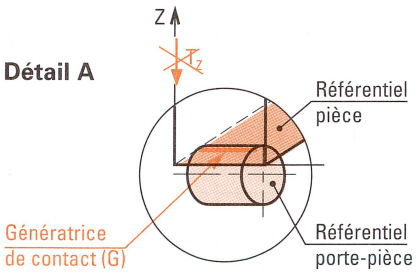
Le référentiel pièce est lié au référentiel porte-pièce. Par rapport au repère XYZ, cette mise en position isostatique supprime globalement **5 degrés de liberté** dans la liaison pièce/porte-pièce :

– 2 DL en translation :

T_X, T_Z

– 3 DL en rotation :

R_X, R_Y, R_Z



Chaque contact, ponctuel en théorie, entre les deux référentiels supprime un degré de liberté. Par exemple, la génératrice de contact (G) supprime la translation T_Z.

Relation pièce → porte-pièce → machine

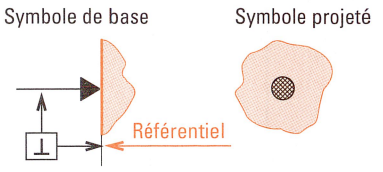
A. Symbolisation géométrique

(d'après NF E 04-013)

NORMALE DE REPÉRAGE

Définition

Chaque contact est représenté par un vecteur normal (perpendiculaire) à la surface considérée du référentiel. On l'appelle **normale de repérage**.



Principales règles d'installation

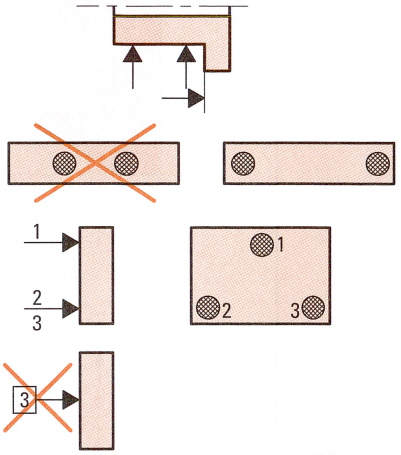
Les normales de repérage sont installées :

– du côté libre de la matière directement sur la surface du référentiel (éventuellement sur une ligne de rappel en cas de manque de place) ;

– et éloignées au maximum (meilleure stabilité) ;

– sur les vues où leurs positions facilitent leur compréhension ;

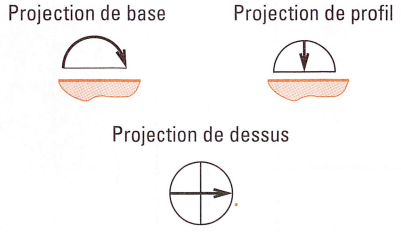
– et affectées d'un indice numérique de 1 à 6.



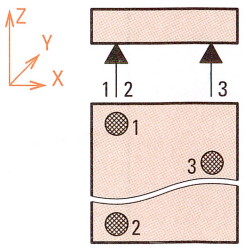
Remarque : la représentation abrégée qui précise strictement le nombre de degrés de liberté supprimés n'est pas conseillée.

CAS PARTICULIER

Suppression directe d'un degré de liberté en rotation pour obtention d'une cote angulaire ou d'une spécification d'orientation (//, ⊥, ∠) : utiliser le symbole ci-contre (3 possibilités de représentation).

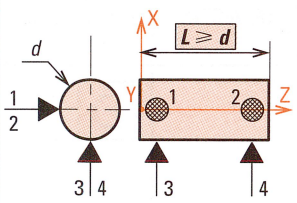
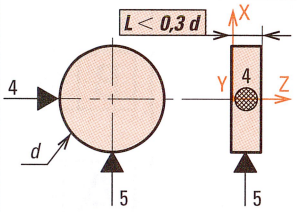
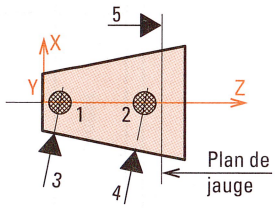


PRINCIPALES LIAISONS ÉLÉMENTAIRES UTILISÉES EN ISOSTATISME

Surface du référentiel	Désignation de la liaison	Nb de DL supprimés	Nature DL						Symbolisation
			T_X	T_Y	T_Z	R_X	R_Y	R_Z	
Surface plane	**Appui plan** (supprime le maximum de DL sur la surface considérée)	3			•	•	•		
	Linéaire rectiligne	2	•					•	
	Ponctuelle	1		•					

Liaisons mécaniques entre solides

PRINCIPALES LIAISONS ÉLÉMENTAIRES UTILISÉES EN ISOSTATISME (suite)

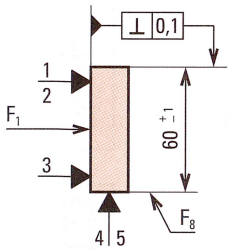
Surface du référentiel	Désignation de la liaison	Nb de DL supprimés	Nature DL T_X	T_Y	T_Z	R_X	R_Y	R_Z	Symbolisation
Surface **cylindrique**	**Pivot glissant** (supprime le maximum de DL sur la surface considérée)	4	●	●		●	●		
	Linéaire annulaire	2	●	●					
Surface **conique**	**Pivot**	5	●	●	●	●	●		

MISE EN POSITION ISOSTATIQUE

Les surfaces composant le référentiel sont, en général, les surfaces de référence des spécifications à respecter.

Le nombre de normales à installer sur une surface est fonction :
– de la précision de(s) spécification(s) liée(s) à cette surface,
– de son étendue.

Exemple :
phase **30**
fraisage
mors mobile



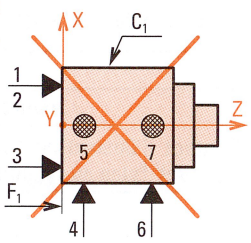
Appui plan sur $\mathbf{F_1}$
(grande surface, tolérance = 0,1).
Linéaire rectiligne sur $\mathbf{F_8}$ (tolérance = 2).

La mise en position (**a**) est hyperstatique (sur les rotations R_X R_Y) : impossibilité d'assurer la liaison sur tous les contacts, en même temps, sans déformation.

Une mise en position (**b**) est isostatique :

– si le nombre de normales de repérage est égal au nombre de degrés de liberté à supprimer et ne dépasse pas 6 ;
– si chacune des normales de repérage supprime un degré de liberté sur une seule surface à la fois.

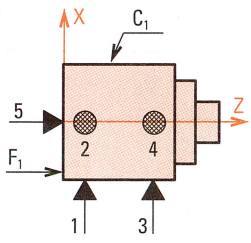
a



Appui plan sur F_1
T_Z R_X R_Y
supprimés.

Pivot glissant
sur C_1
T_X T_Y R_X R_Y
supprimés.

b



Pivot glissant
sur C_1
T_X T_Y R_X R_Y
supprimés.
Ponctuelle sur F_1
T_Z supprimé.

Relation pièce → porte-pièce → machine

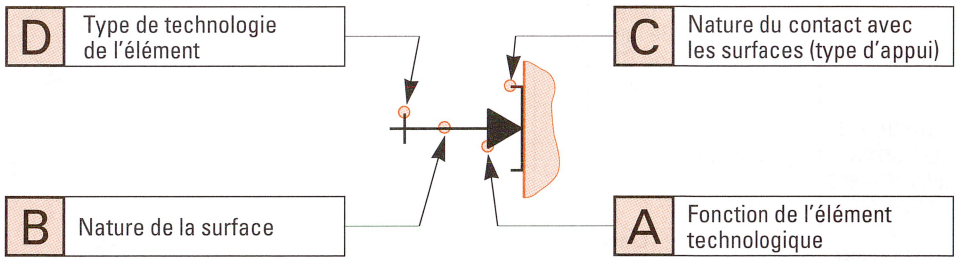
B. Symbolisation technologique

(d'après NF E 04-013)

OBJECTIF

Cette représentation définit par des symboles les solutions technologiques utilisées pour assurer la mise en position et le maintien des pièces lors de leur fabrication. Elle figure sur les dessins des contrats de phase.

SYMBOLES



A — Fonction de l'élément technologique

	MISE EN POSITION		MAINTIEN (éventuellement prélocalisation, butée aux efforts…)	
	Symbole de base	Symbole projeté	Symbole de base	Symbole projeté
Appui	Triangle équilatéral noirci		Triangle équilatéral vide	
Centrage		Centreur normal / dégagé		

B — Nature de la surface

La surface du référentiel est usinée (1 seul trait)	
La surface du référentiel est brute (double trait)	

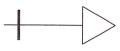
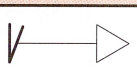
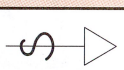
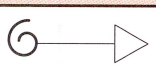
C — Nature du contact avec les surfaces (type d'appui)

Contact ponctuel	Contact surfacique plan ou cylindrique	Contact strié	Contact dégagé	Cuvette

Vé		Palonnier	Pointe fixe	Pointe tournante

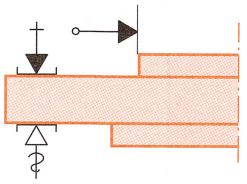
SYMBOLES (suite)

D

Symbolisation du type de technologie			
Appui fixe	Centrage fixe	Centrage réversible	Système à réglage réversible
			
	Système à réglage irréversible	Système à serrage	Système à serrage concentrique
			

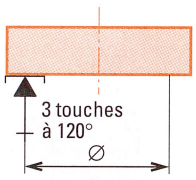
POSITION

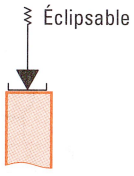
Le symbole est placé perpendiculairement (direction normale) du côté libre de la matière directement sur la surface concernée ou sur une ligne de rappel. Il faut les installer sur les vues permettant de les représenter tels qu'ils sont définis sur les tableaux précédents.

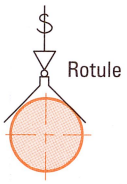


INSCRIPTIONS COMPLÉMENTAIRES

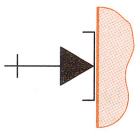
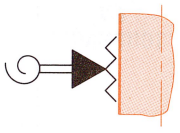
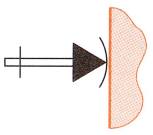
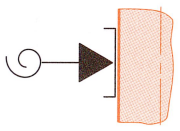
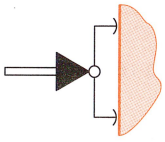
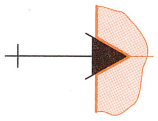
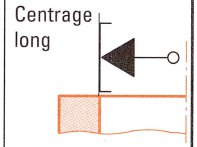
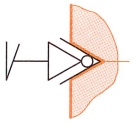
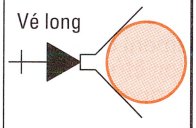
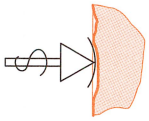
Certaines inscriptions sont parfois explicitement précisées pour éviter toute ambiguïté (voir exemples ci-contre et ci-dessous).







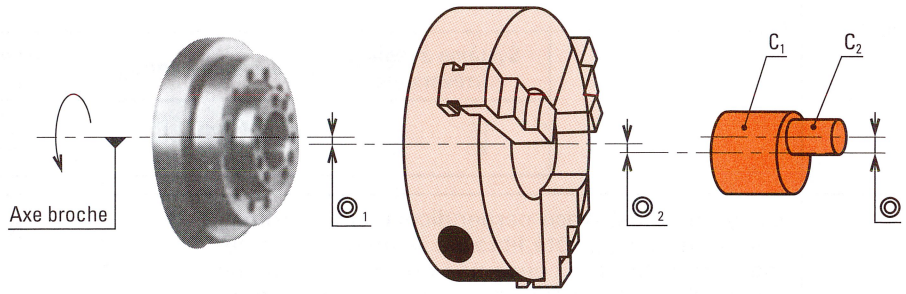
EXEMPLES DE SYMBOLES COMPOSÉS

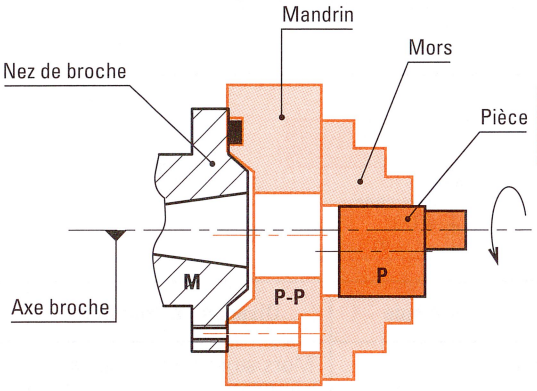
Dispositif et fonction	Symbole	Dispositif et fonction	Symbole
Contact surfacique fixe de mise en position sur une surface usinée.		Mors striés (durs) à serrage concentrique assurant une mise en position sur une surface brute.	
Contact ponctuel fixe de mise en position sur une surface brute.		Mors lisse (doux) à serrage concentrique assurant une mise en position sur une surface usinée.	
Palonnier de mise en position sur surface brute avec deux touches bombées.		Pointe fixe de mise en position sur une surface usinée.	
Centreur fixe long (ou court) de mise en position sur une surface usinée.		Pointe tournante de maintien en position.	
Vé fixe long (ou court) de mise en position sur une surface usinée.		Dispositif de maintien en position (bride) à contact ponctuel sur une surface brute.	

2.2.2. NOTIONS DE CIRCUIT GÉOMÉTRIQUE

MONTAGE EN L'AIR EN TOURNAGE

MACHINE ⇦ **PORTE-PIÈCE** ⇦ **PIÈCE**
Nez de broche — Mandrin 3 mors





(Définition *coaxialité* ◎, *voir p. 25.*)

– $\oslash_1$: défaut de coaxialité
axe mandrin (**P-P**)/axe nez de broche (**M**).

Sa valeur dépend de la qualité des contacts dans la liaison (pas d'impuretés). Généralement négligeable.

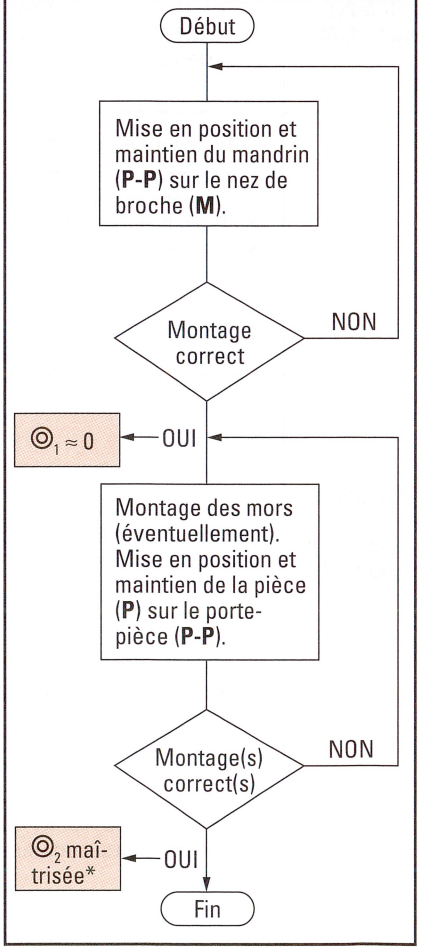
– $\oslash_2$: défaut de coaxialité
axe pièce (**P**)/axe mandrin (**P-P**).

Sa valeur dépend :
– du montage des mors (bien respecter l'ordre de montage),
– de la précision du **P-P**,
– de la qualité des contacts dans la liaison (pas d'impuretés, de bavures...).

– ◎ : défaut de coaxialité résultant mesuré sur la pièce entre l'axe de C_2 (cylindre généré) et l'axe de C_1 (cylindre lié au **P-P**).

* Sa valeur dépend essentiellement de $\oslash_2$ donc de la liaison **P/P-P**. Elle doit être inférieure ou égale à la tolérance imposée.

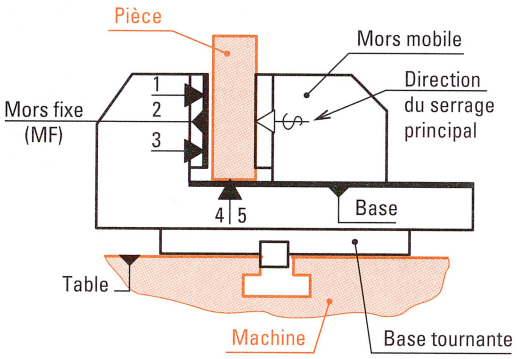
Procédure générale d'installation du circuit

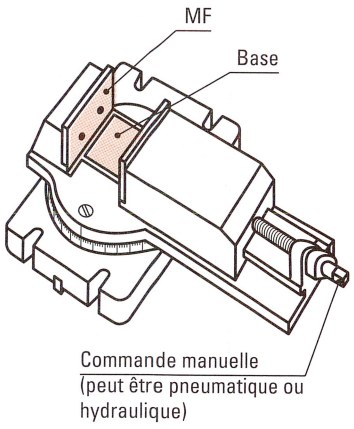


2.2.3. PORTE-PIÈCES LIÉS À LA MACHINE

PORTE-PIÈCES STANDARD DE FRAISAGE

• Étau à mors parallèles et à base tournante *(voir réglage p. 111)*





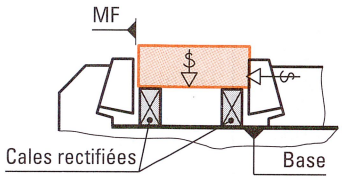
Liaison étau/machine *(voir p. 38)*.

Référentiel de base de l'étau pour la liaison avec les pièces :

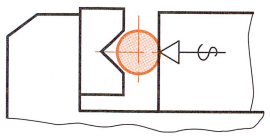
Base + mors fixe (MF)

Évolutions de l'étau :

– Mors plaqueurs. Les directions de serrage permettent de plaquer la pièce sur les deux surfaces du référentiel de l'étau (base et MF).



– Les mors sont interchangeables. Ils peuvent être lisses, striés (pour surface brute) et parfois dédiés à une forme spécifique de pièce (exemple ci-contre : liaison d'une pièce cylindrique sur un MF avec vé long).



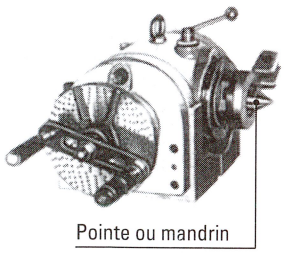
– L'étau convient essentiellement pour la liaison de pièces aux formes simples et régulières. La mise en position répétitive des pièces est, dans certains cas, assez peu précise, ce qui limite son utilisation en fabrication sérielle (éventuellement petite série unique). En revanche, il est très employé en fabrication unitaire.

• Diviseur universel

Liaison diviseur/machine identique à celle de l'étau *(voir p. 38)*.

Le référentiel de base pour la liaison avec les pièces dépend du porte-pièce utilisé : mandrin, pointe... *(voir p. 54 à 56)*.

De plus en plus remplacé pour les travaux de division par les commandes numériques, le diviseur est essentiellement employé en fabrication unitaire.

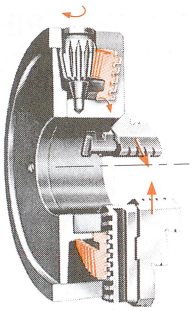


PORTE-PIÈCES STANDARD DE TOURNAGE

• Mandrins à serrage concentrique

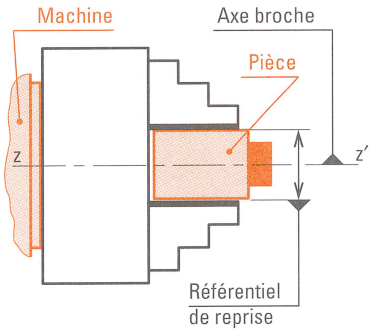
Assurent à la fois la mise en position et le maintien des pièces liaison mandrin/machine (*voir p. 38, 52*).

Principe de fonctionnement : une rotation sens horaire sur un des satellites de serrage permet une rotation de la couronne spirale qui entraîne simultanément en translation les mors vers l'axe (action de serrage concentrique).
On en recense trois types.

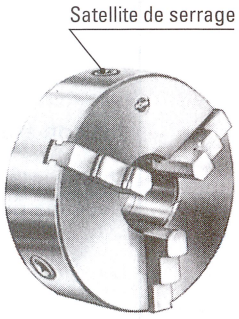


– Mandrin à 3 mors durs à l'endroit

Liaison pièce/3 mors durs (*voir p. 60*).







Défaut de coaxialité usuel ≈ $\varnothing 0{,}1 \leqslant \odot \leqslant \varnothing 0{,}3$.

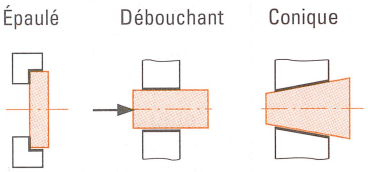
Utilisé en fabrication unitaire et en fabrication de série pour la reprise de pièces en général brutes. Existe en 4 mors pour le montage de pièces de forme prismatique.

– Mandrin à 3 mors doux montés sur semelle

Le référentiel de reprise pour la liaison des pièces est usiné en fonction de la forme des surfaces du référentiel de ces dernières.

Défaut de coaxialité usuel : $\odot \approx \varnothing 0{,}05$.

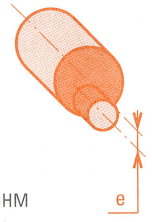
Utilisé en fabrication unitaire et en fabrication de petites séries, il permet une reprise précise sans marquage des pièces.



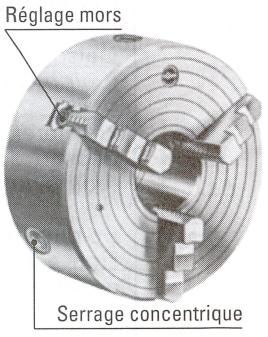
(*Voir p. 60*)

– Mandrin à 3 mors durs réglables indépendants

Utilisé essentiellement pour la réalisation de surfaces usinées excentrées (e) par rapport aux surfaces du référentiel de reprise.
Existe en 4 mors pour le montage de pièces de forme prismatique.



Doc. RÖHM



A

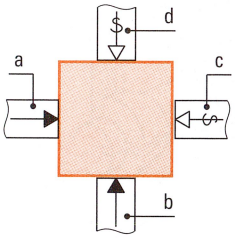
PORTE-PIÈCES STANDARD DE TOURNAGE (suite)

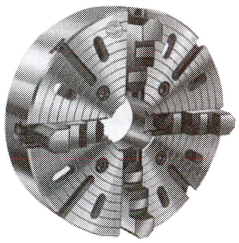
• Mandrin 4 mors à serrage indépendant *(voir réglage p. 113)*.

Les mors a et b assurent la mise en position.

Les mors c et d assurent le maintien.

Utilisé essentiellement en fabrication unitaire pour la reprise de pièces prismatiques. Mise en œuvre assez longue.



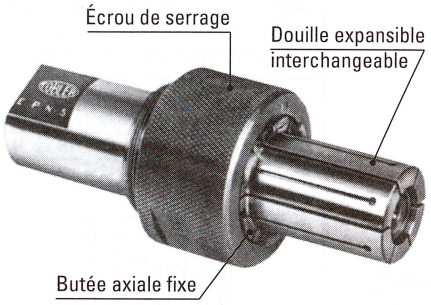


Doc. RÖHM

• Mandrin de reprise expansible

Liaison pièce/mandrin de reprise (voir fig. 1 et 2).

- La douille assure le centrage long en général sur l'alésage de reprise et le maintien grâce au serrage concentrique résultant de l'expansibilité de la douille lorsqu'on agit sur l'écrou de serrage.
- La butée axiale fixe assure l'arrêt en translation sur l'axe.



Type EPN monté entre pointes

Doc. TOBLER

Liaison mandrin de reprise/machine :

Sur cône morse	Entre pointes

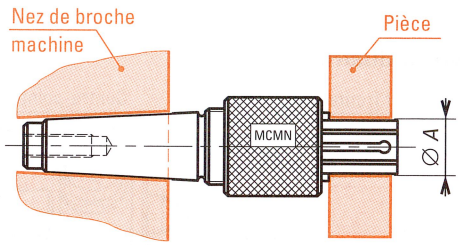
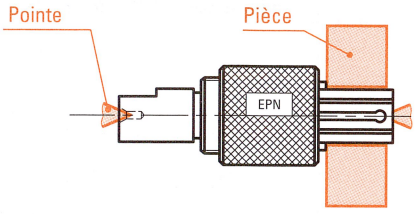

	

Figure 1	Figure 2

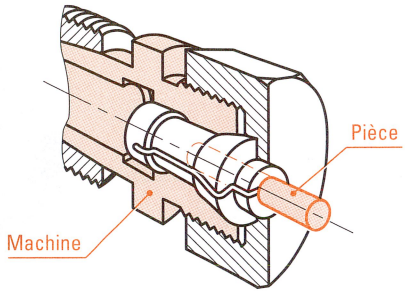
Il permet une reprise de pièce précise : défaut de coaxialité ◎ = ∅ 0,01 sans marquage des surfaces de reprise.

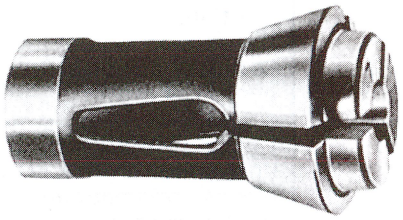
Ce porte-pièce est essentiellement utilisé pour des usinages à faibles efforts de coupe (F_c) compatibles avec la force limitée du serrage (F_s) par pincement $F_s > F_c$. C'est un **porte-pièce de finition**.

La douille expansible est interchangeable. Il faudra consulter le catalogue constructeur pour le dimensionnement de la douille (∅ *A*).

PORTE-PIÈCES STANDARD DE TOURNAGE (suite)

• Pinces



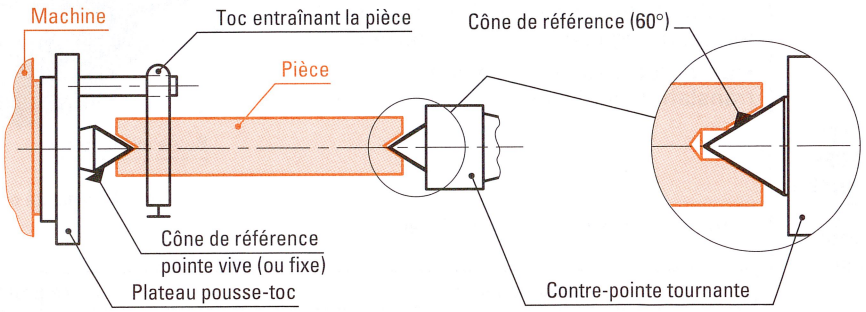


Peuvent être poussées (exemple ci-dessus) ou tirées.

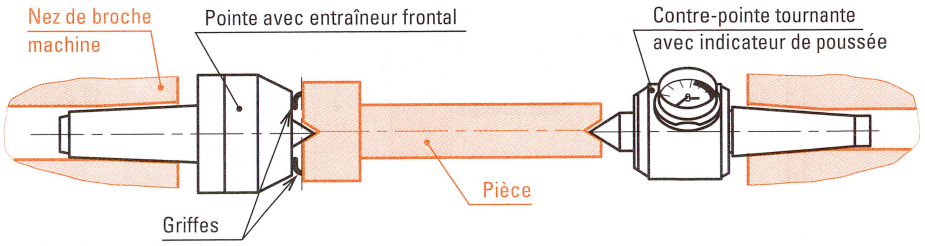
Défaut de coaxialité usuel ≈ ∅ 0,01 % ⩽ ◎ ⩽ ∅ 0,02 % .

Elles permettent l'usinage des pièces directement dans la barre (brut étiré en général). Elles existent en plusieurs sections ○, ◇, ⬡... et sont surtout utilisées sur les tours en commande numérique.

• Pointes *(voir réglage p. 112)*



– Montage entre pointes de type industriel

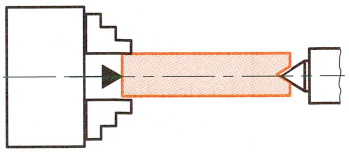


Liaison pointe vive, plateau pousse-toc/machine (*voir p. 38*).
Liaison pièce/pointes (*voir p. 61*).

Défaut de coaxialité usuel : ◎ ≈ ∅ 0,05 % maxi .

Très utilisé en fabrication unitaire ou fabrication de série pour la reprise des pièces demi-longues et longues.

Remarque : la contre-pointe tournante peut être associée avec un mandrin. Il s'agit du **montage mixte** (*voir liaison p. 61*).



A

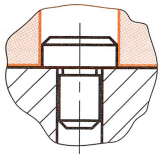
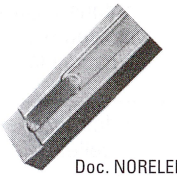
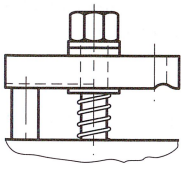
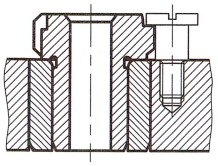
PORTE-PIÈCES DÉDIÉS MONTAGE D'USINAGE

Les montages d'usinage sont spécifiquement conçus pour une phase. On dit qu'ils sont *dédiés* à une phase. Ils sont uniques et peuvent rarement être réutilisés. C'est une solution peu flexible.

Ils conviennent essentiellement aux moyennes et grandes séries répétitives.

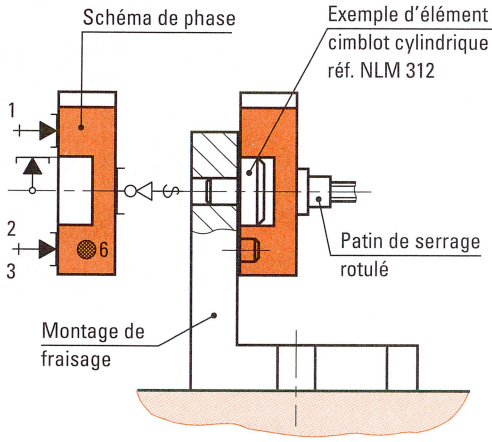
Les montages d'usinage sont coûteux. Ils doivent être amortis par le nombre de pièces à usiner.

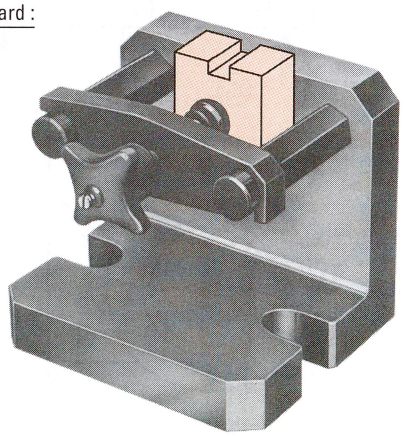
Ils sont conçus de la manière suivante : on rapporte des éléments standard (ex. : éléments Norelem) sur un élément moulé ou soudé, ce qui permet de réduire les coûts de réalisation et d'exploitation.

Fonction à assurer	Exemples d'éléments standard Norelem		
	Désignation	Visualisation	Schéma en situation
Mise en position géométrique de la pièce (matérialisation d'une liaison linéaire annulaire : centrage court)	Cimblot cylindrique réf. NLM 312, 313.	 Doc. NORELEM	
Serrage de la pièce	Bride coulissante réf. NLM 401.	 Doc. NORELEM	
Guidage des outils tournants (exemple : foret...)	Canon de perçage amovible (type M) réf. NLM 819.	 Doc. NORELEM	

Ils peuvent concerner les phases de fraisage, tournage, perçage, etc.

• Montage de fraisage (exemple)





Doc. NORELEM

2.2.4. PORTE-PIÈCE MODULAIRE

Les porte-pièces de type modulaire sont réalisés très rapidement à partir d'éléments complémentaires et adaptables. Ils conviennent à une situation donnée pour une durée définie, ce qui permet une plus grande flexibilité dans le système de production.

Ils permettent toutes les applications (pas de limites de dimensions et de formes des surfaces de reprise).

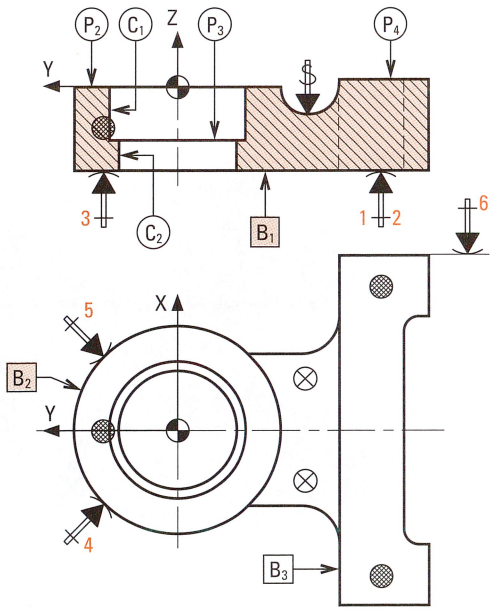
Ils conviennent pour les fabrications de petites et moyennes séries et également pour certaines fabrications unitaires (exemple : prototype).

Principaux éléments modulaires

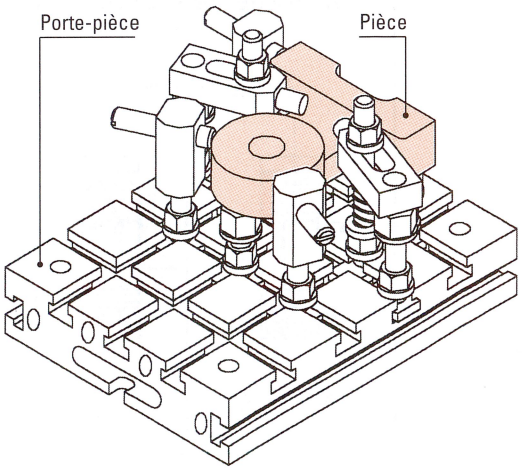
Types d'éléments	Exemples	Fonctions
Élément de base.	Plateaux, équerres, plaques, socles...	Assurer la structure de base du porte-pièce. Assurer la liaison du porte-pièce sur la machine.
Éléments de mise en position géométrique.	Lardons, appuis, supports en vé, centreur, plaques de positionnement...	Assurer la matérialisation de la mise en position géométrique de la pièce sur le porte-pièce selon le contrat de phase.
Éléments de maintien.	Brides, vés palonnés, vis, rondelles, écrous.	Assurer le maintien en position de la pièce pendant l'usinage.

Exemple de matérialisation liaison « pièce/porte-pièce » phase 100

Phase 100



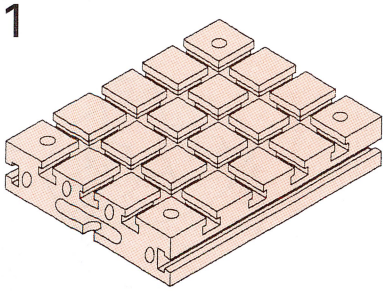
- Appui plan sur B_1 (1, 2, 3).
- Centrage court sur B_2 (4, 5).
- Butée en rotation (6).
- Serrages normaux par 2 brides.



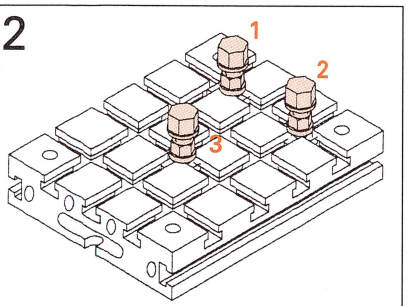
Porte-pièce modulaire (d'après DOGA)
(voir gamme de montage page ci-contre)

A

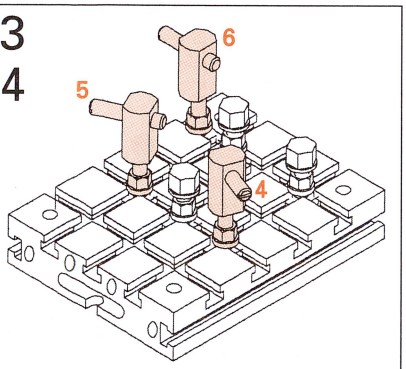
1



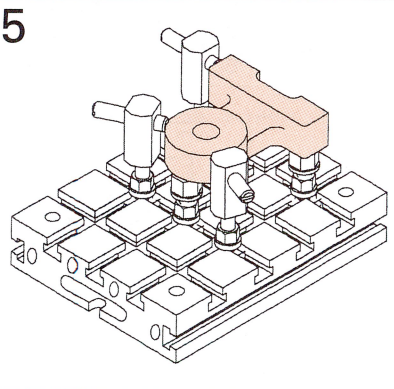
2



3
4



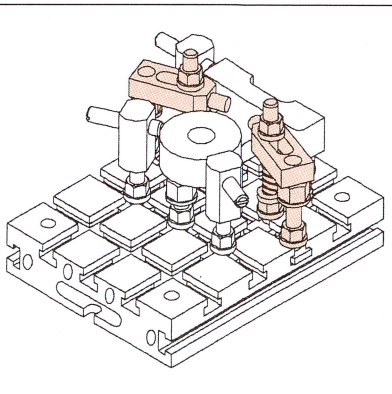
5



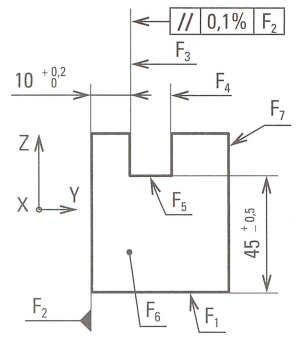
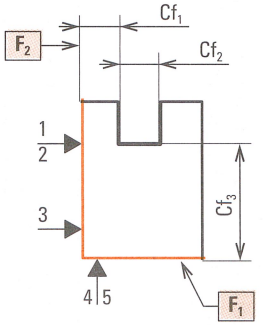
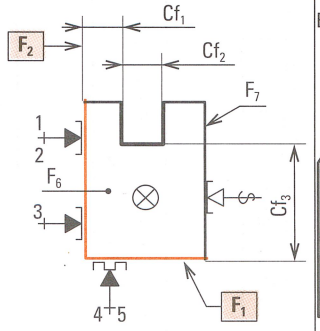
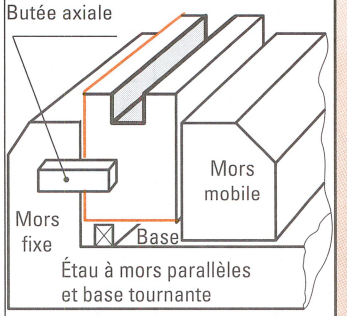
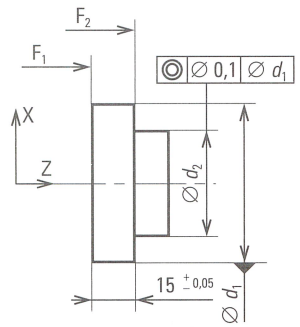
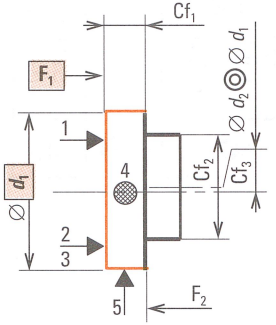
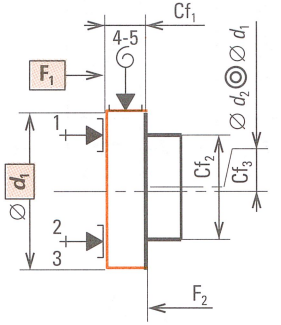
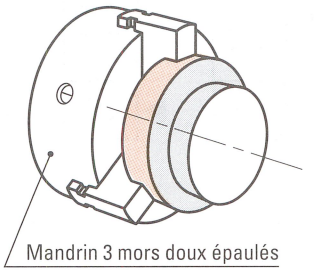
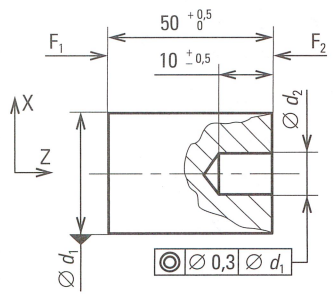
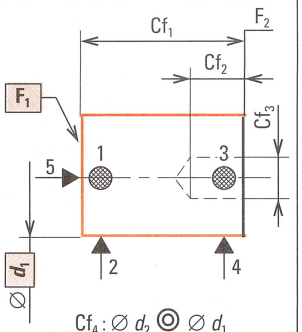
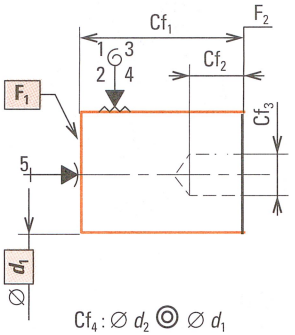
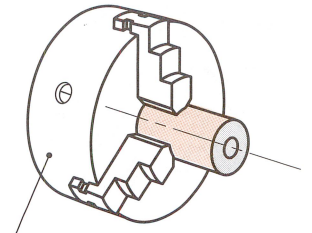
Gamme de montage

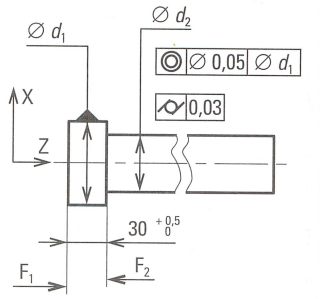
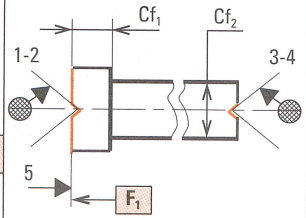
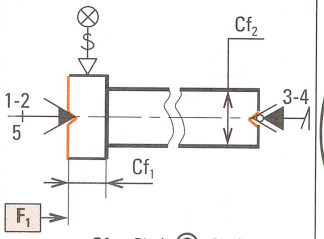
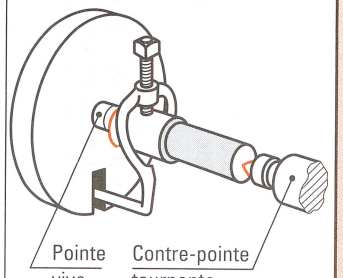
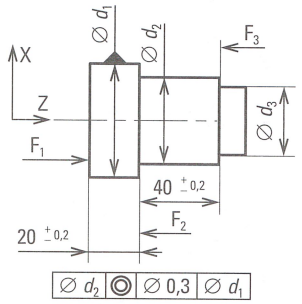
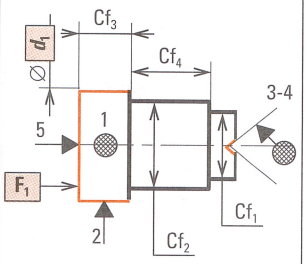
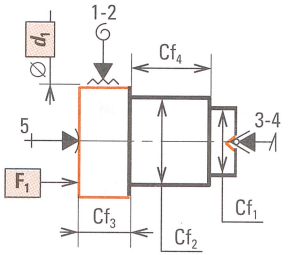
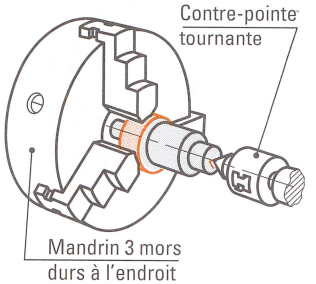
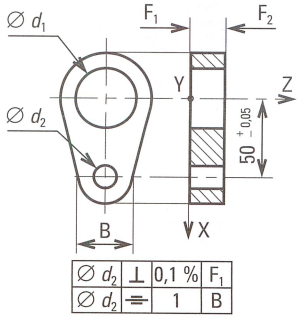
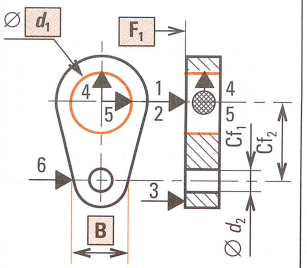
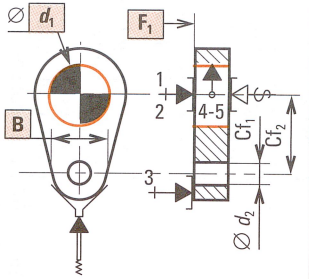
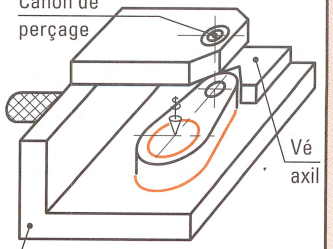
1. Sélectionner et mettre en place la plaque de base.
2. Sélectionner et mettre en place les éléments matérialisant l'appui plan (1, 2, 3).
3. Sélectionner et mettre en place les éléments matérialisant le centrage court (4, 5).
4. Sélectionner et mettre en place l'élément matérialisant la butée (6).
5. Mettre en place la pièce et régler les différents éléments pour obtenir le parallélisme de la surface d'appui B_1 par rapport à la plaque de base.
6. Sélectionner et mettre en place les éléments de maintien de la pièce.
7. Serrer les écrous des brides.
   CONTRÔLER TOUTES LES FIXATIONS.

6
7



D'après DOGA

Dessin de définition partiel	Définition de la liaison	Symbolisation géométrique	Symbolisation technologique	Exemples de matérialisation de la liaison
	**MISE EN POSITION** • Appui plan sur F2 (– 3 DL), 1-2-3. • Appui linéaire rectiligne sur F1 (– 2 DL), 4-5. **MAINTIEN** • Serrage sur F_7 avec mors mobile. • Butée axiale sur F_6 : opposition aux efforts.			
	**MISE EN POSITION** • Appui plan sur F1 (– 3 DL), 1-2-3. • Centrage court (linéaire annulaire) sur ∅ d1 (– 2 DL), 4-5. **MAINTIEN** • Serrage concentrique sur ∅ d1 avec 3 mors doux.			Montage en l'air  Mandrin 3 mors doux épaulés
	**MISE EN POSITION** • Centrage long (pivot glissant) sur ∅ d1 (– 4 DL), 1-2-3-4. • Appui ponctuel sur F1 (– 1 DL), 5. **MAINTIEN** • Serrage concentrique sur ∅ d1 avec 3 mors durs striés (à l'endroit).	 Cf_4 : ∅ d_2 ◎ ∅ d_1	 Cf_4 : ∅ d_2 ◎ ∅ d_1	Montage en l'air  Mandrin 3 mors durs à l'endroit

Dessin de définition partiel	Définition de la liaison	Symbolisation géométrique	Symbolisation technologique	Exemples de matérialisation de la liaison
	**MISE EN POSITION** • Mise en position radiale et axiale (liaison pivot) sur les centres d'usinage (– 5 DL). **MAINTIEN** • Maintien axial avec contre-pointe tournante. • Entraînement par toc.	 $Cf_3 : \varnothing d_2 \text{ ◎ } \varnothing d_1$	 $Cf_3 : \varnothing d_2 \text{ ◎ } \varnothing d_1$	Montage entre pointes  Pointe vive — Contre-pointe tournante
	**MISE EN POSITION** • Mise en position radiale et axiale (liaison pivot) sur ∅ d_1 (– 2 DL), 1-2, sur F_1 (– 1 DL), 5, et centre d'usinage (– 2 DL), 3-4. **MAINTIEN** • Serrage concentrique sur ∅ d_1 avec 3 mors durs. • Maintien radial avec contre-pointe tournante.	 $Cf_5 : \varnothing d_2 \text{ ◎ } \varnothing d_1$	 $Cf_5 : \varnothing d_2 \text{ ◎ } \varnothing d_1$	Montage mixte  Contre-pointe tournante Mandrin 3 mors durs à l'endroit
	**MISE EN POSITION** • Appui plan sur F_1 (– 3 DL), 1-2-3. • Centrage court sur ∅ d_1 (– 2 DL), 4-5. • Butée par vé axil sur B (– 1 DL), 6. **MAINTIEN** • Serrage sur F_2 : écrou + rondelle fendue.	 $Cf_3 : \varnothing d_2 \perp F_1$ $Cf_4 : \varnothing d_2 = B$	 $Cf_3 : \varnothing d_2 \perp F_1$, $Cf_4 : \varnothing d_2 = B$	Canon de perçage  Vé axil Montage de perçage dispositif de serrage non représenté

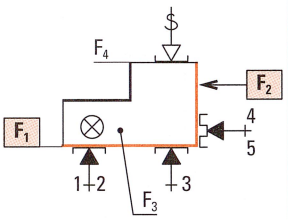
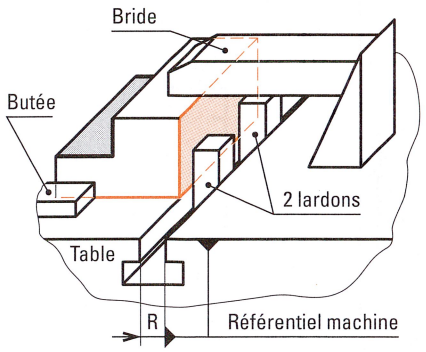
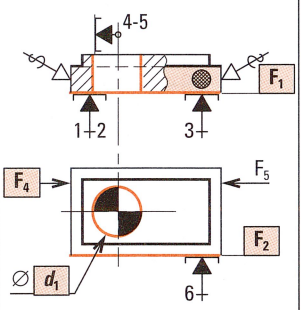
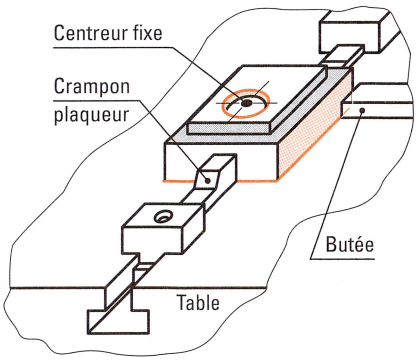
2.2.6. LIAISON PIÈCE/MACHINE

CARACTÉRISTIQUES

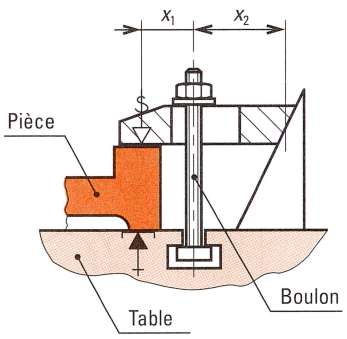
La pièce est liée directement sur le référentiel de la machine sans interface porte-pièce.

Cette solution économique et précise (moins de liaisons dans le circuit géométrique, donc moins de dispersions) est cependant limitée à des pièces dont les surfaces du référentiel de reprise sont de bonne qualité géométrique et de formes simples.

EXEMPLES DE MONTAGE SUR TABLE

Définition de la liaison	Symbolisation technologique schéma de phase	Matérialisation de la liaison pièce/machine
MISE EN POSITION • Appui plan : F_1 sur table (– 3 DL), 1-2-3. • Appui linéaire rectiligne F_2 sur 2 lardons (– 2 DL), 4-5. **MAINTIEN** • Serrage sur F_4 avec bride crénelée. • Butée sur F_3 (opposition aux efforts et prélocalisation).		
MISE EN POSITION • Appui plan : F_1 sur table (– 3 DL), 1-2-3. • Centrage court ∅ d_1 sur centreur court (– 2 DL), 4-5. • Butée sur F_2 (– 1 DL), 6. **MAINTIEN** • Serrage sur F_4 et F_5 avec crampons plaqueurs.		

RÈGLES DE BASE DU BRIDAGE



Afin d'éviter les déformations de la pièce, la direction du serrage est opposée aux appuis.

Installer la bride près de l'usinage sans le gêner.

Bien plaquer la bride sur la surface de serrage (meilleure stabilité de la pièce au moment du serrage, risque de marquage réduit).

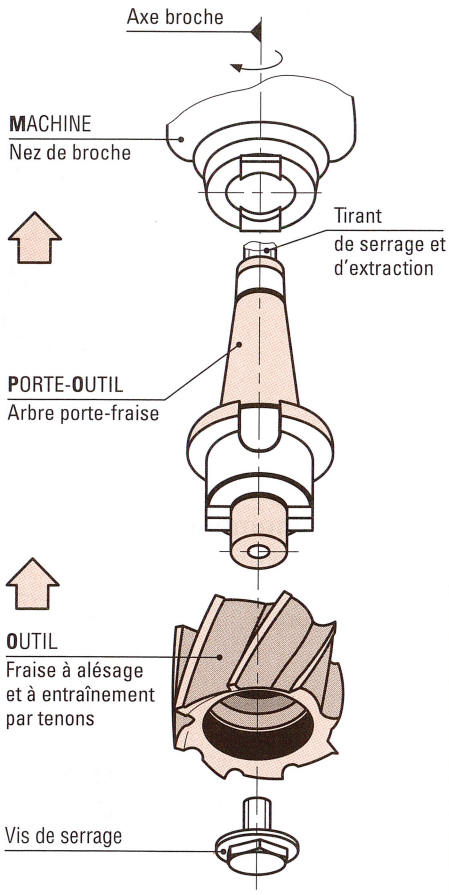
La distance x_1 doit être inférieure à x_2 afin que la force de serrage soit maximale sur la pièce.

2.3. RELATION OUTIL → PORTE-OUTIL → MACHINE

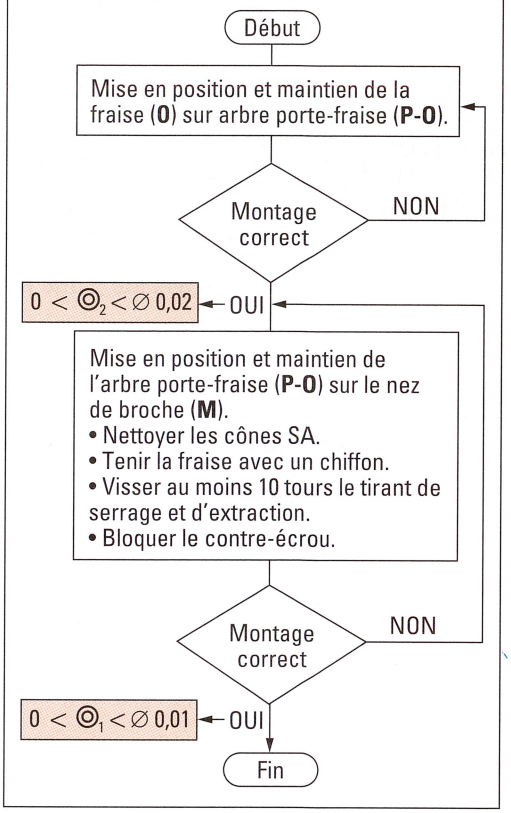
2.3.1. NOTIONS DE CIRCUIT GÉOMÉTRIQUE

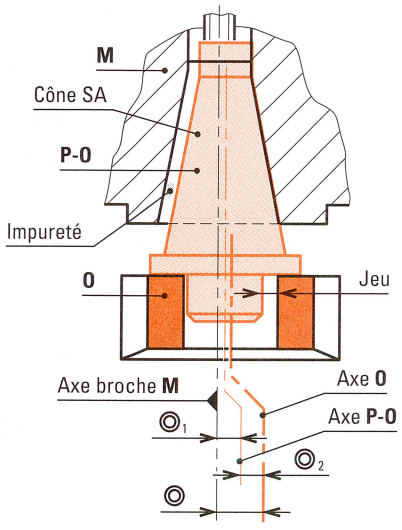
A

MONTAGE D'UNE FRAISE À ALÉSAGE À ENTRAÎNEMENT PAR TENONS SUR FRAISEUSE CONVENTIONNELLE



Procédure générale d'installation du circuit





– ◎1 : défaut de coaxialité axes **P-O/M**.

Sa valeur dépend de la qualité des contacts dans la liaison (pas d'impuretés).

⚠ Bien engager les tenons du nez de broche dans les rainures du **P-O**.

$0 < ◎_1 < ∅\ 0{,}01$

– ◎2 : défaut de coaxialité axe **O**/axe **P-O**.

Sa valeur dépend de la nature de la liaison géométrique entre **O** et **P-O**. Dans l'exemple ci-contre, elle dépend du jeu sur le centrage court.

$0 < ◎_2 < ∅\ 0{,}02$

– ◎ : défaut de coaxialité résultant entre axe **O**/axe **M**.

$◎ = ◎_1 + ◎_2$

Remarque : le défaut ◎ entraîne des imprécisions pour certains usinages (ex. : rainurage à la fraise 2 tailles).

2.3.2. CIRCUITS GÉOMÉTRIQUES EN FRAISAGE

LIAISON ARBRE PORTE-FRAISE (P-O) SUR LE NEZ DE BROCHE (M)

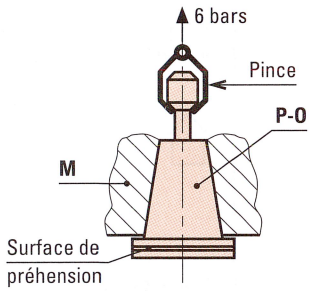
Mise en position de l'arbre porte-fraise (**P-O**) sur le nez de broche (**M**) (*voir p. 38*).

Maintien du **P-O** sur **M** :

– sur fraiseuse conventionnelle avec tirant de serrage et d'extraction (*voir règles de montage p. 63*).

Remarque : utilisation d'une lunette pour la liaison d'un arbre porte-fraise long (fraisage horizontal) ;

– sur centre d'usinage et fraiseuse conventionnelle à commandes assistées par serrage pneumatique à l'aide d'une pince.



LIAISON FRAISE (O) SUR ARBRE PORTE-FRAISE (P-O)

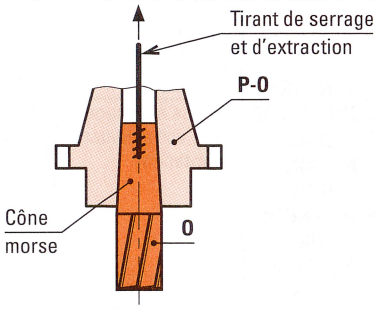
• Fraise 2 tailles à alésage et à entraînement par tenons (*voir p. 122*).

• Fraise 2 tailles à queue conique

Mise en position **O/P-O** : centrage long sur cône morse.

Maintien **O/P-O** : avec tirant de serrage.

◎$_2$ < ∅ 0,01

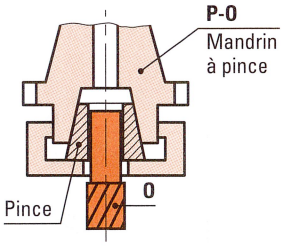


• Fraise 2 tailles à queue cylindrique

Mise en position **O/P-O** : centrage long sur queue cylindrique.

Maintien **O/P-O** : par pincement (serrage pince).

◎$_2$ = ∅ 0,01



• Fraise 3 tailles

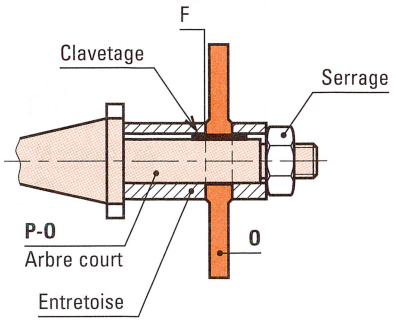
Mise en position **O/P-O**.

Appui plan sur face F.

Centrage court sur alésage.

Maintien **O/P-O** :
– par serrage axial en bout,
– entraînement en rotation par clavetage.

◎$_2$ fonction jeu centrage court



2.3.3. CIRCUITS GÉOMÉTRIQUES EN TOURNAGE

LIAISON PORTE-OUTIL SUR MACHINE

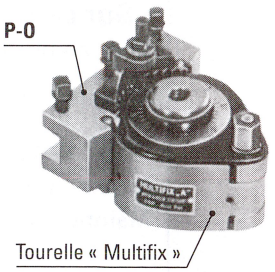
• Tourelle fixe et porte-outil interchangeable

Ce dispositif équipe les tours conventionnels (voir ci-contre) et les tours conventionnels à commandes assistées.

Chaque **P-O** est équipé d'un outil préréglé.

Dispersion (Δ) de reprise **P-O** :

$\Delta = \pm 0{,}01$



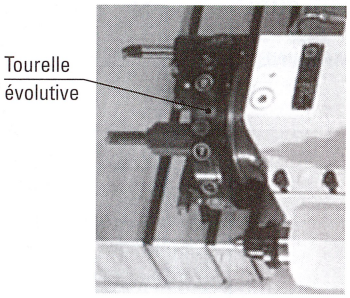
• Tourelle porte-outil évolutive

Ce dispositif équipe les centres d'usinage et les tours conventionnels à commandes assistées.

La mise en place de l'outil programmé se déroule selon le cycle suivant :
– désindexation de la tourelle,
– rotation de la tourelle jusqu'à la mise en place de l'outil programmé,
– indexation de la tourelle.

Dispersion (Δ) de mise en place de l'outil :

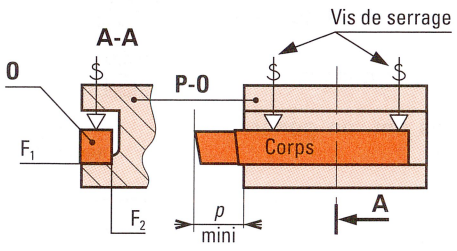
$\Delta \approx 0{,}01$



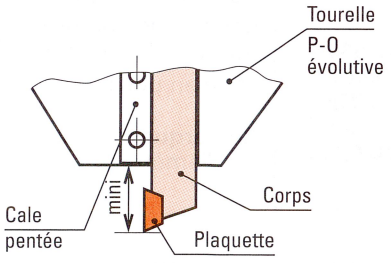
Realmeca T 200

LIAISON OUTIL SUR PORTE-OUTIL

• Liaison outil (O) (corps) sur porte-outil (P-O)



Sur P-O interchangeable



Sur tourelle P-O

Mise en position : appui plan sur F_1 et appui linéaire rectiligne sur F_2.

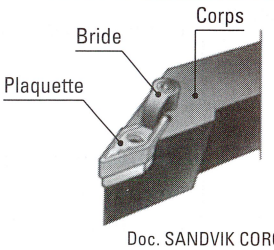
Maintien :
– par 2 vis de serrage (**P-O** interchangeable),
– par coin de serrage (tourelle **P-O**).

⚠ Réduire le porte-à-faux (p_{mini}) de la partie active de l'outil.

• Liaison plaquette interchangeable sur corps d'outil

Mise en position : appuis plan et linéaire rectiligne sur l'empreinte du corps.

Maintien par bride (voir figure ci-contre), par vis, par levier, par coin... selon la forme de la plaquette et les opérations à réaliser.



Doc. SANDVIK COROMANT

2.3.4. CIRCUITS GÉOMÉTRIQUES EN PERÇAGE

LIAISON PORTE-OUTIL SUR MACHINE

• Sur centre d'usinage

Mise en position : liaison pivot sur cône SA (*voir p. 38, 64*).

Maintien (*voir p. 64*).

• Sur perceuse

Mise en position : liaison pivot sur cône morse (*voir p. 38*).

Maintien par adhérence, entraînement en rotation avec tenon.

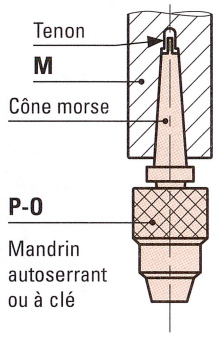


Fig. 1

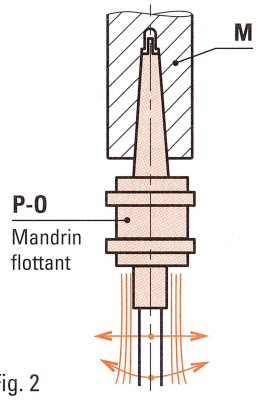


Fig. 2

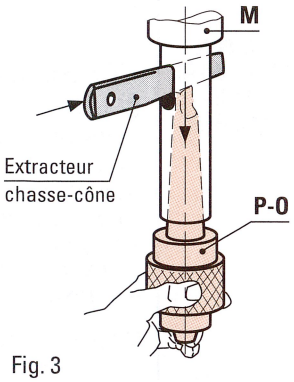


Fig. 3

Autre adaptation possible : mandrin à échange rapide d'outils (non représenté).

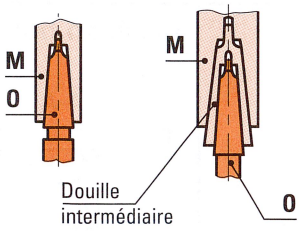
LIAISON DIRECTE OUTIL SUR MACHINE

• Foret, alésoir à queue conique

Ces outils sont liés directement ou indirectement dans le nez de broche de la machine **M** selon le numéro de leur cône morse.

Mise en position et maintien (voir ci-dessus).

Remarque : les outils concernés ont, en général, un diamètre important (⩾ ∅ 15).



Montage direct — Montage indirect

LIAISON OUTIL SUR PORTE-OUTIL

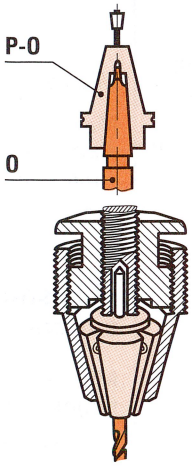
• Forets, alésoir à queue conique

Montés sur centre d'usinage.
Mise en position et maintien (voir ci-dessus).

• Forets, fraise à lamer à queue cylindrique

Mise en position et maintien assurés par les 3 mors à serrage concentrique (voir fig. ci-contre).

Défaut de coaxialité : ◎ ≈ ∅ 0,1 à ∅ 0,3.



• Alésoir à queue cylindrique

Liaison sur mandrin à pince (*voir p. 64*) ou sur mandrin flottant (voir fig. 2 ci-dessus).

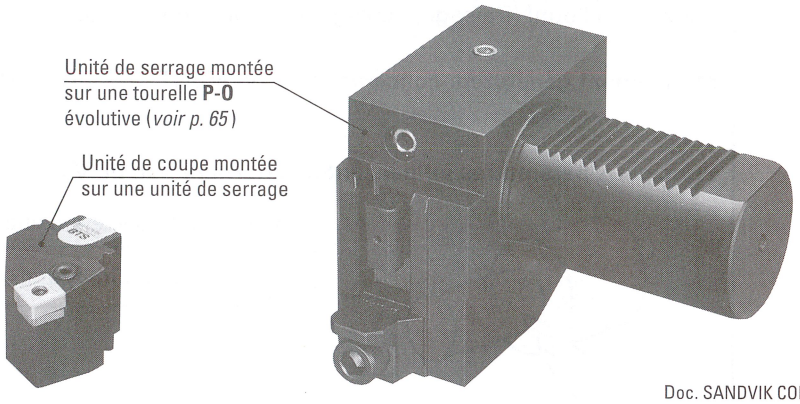
2.3.5. PORTE-OUTIL MODULAIRE

A

EXEMPLE EN TOURNAGE : SYSTÈME BLOCK TOOL (BTS)

SANDVIK COROMANT

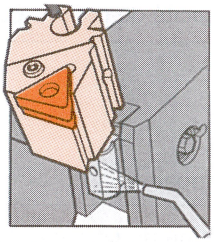
Comme tout système modulaire (*voir porte-pièce modulaire, p. 58*), ce dispositif permet d'améliorer entre autres la productivité, la flexibilité et la gestion des outillages (standardisation, rationalisation) d'un poste de production.



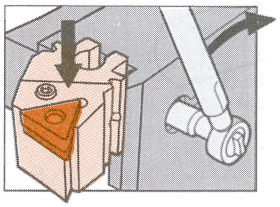
Doc. SANDVIK COROMANT

Montage manuel d'une unité de coupe

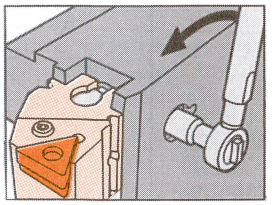
Doc. SANDVIK COROMANT



Soufflage des impuretés avant montage



Mise en place de l'unité de coupe (bien assurer les contacts)

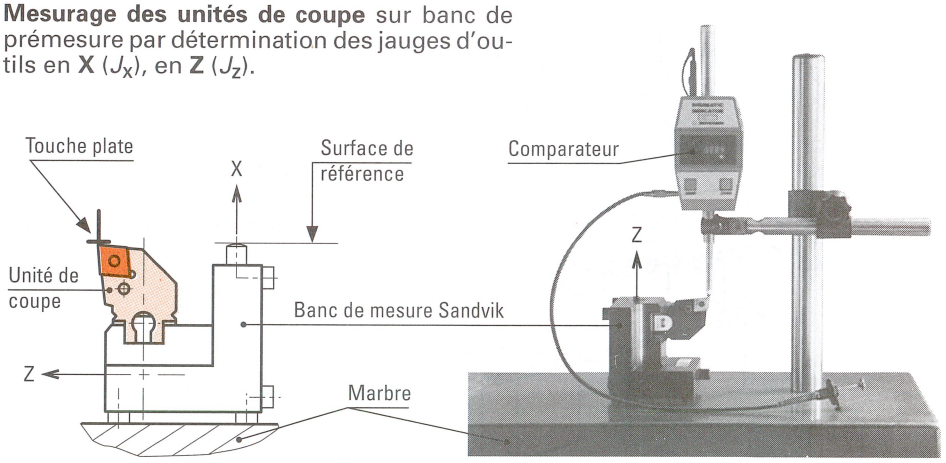


Serrage manuel à la clé

Précision de la répétitivité d'un démontage/montage d'une même unité de coupe :

X = ± 0,002 | Z = ± 0,005

Mesurage des unités de coupe sur banc de prémesure par détermination des jauges d'outils en **X** (J_X), en **Z** (J_Z).



Doc. SANDVIK COROMANT

2.4. DONNÉES DES RÉGLAGES DU COUPLE OUTIL/PIÈCE

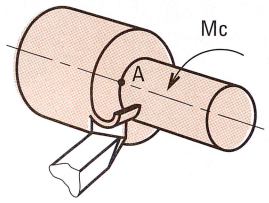
2.4.1. RÉGLAGES CINÉMATIQUES DES MOUVEMENTS GÉNÉRATEURS

VITESSE DE COUPE (Vc)

Définition
La vitesse de coupe constitue la grandeur cinématique de base du couple OUTIL/PIÈCE. Elle est exprimée en mètres par minute (**m/min**).
Elle correspond au déplacement en mètres effectué par un point (**A**) lié à la pièce (tournage) ou à l'outil (fraisage, perçage) pendant une minute.

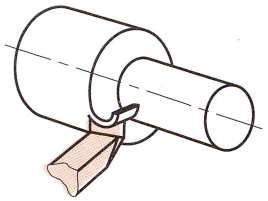
Mouvement générateur concerné : MOUVEMENT DE COUPE (**Mc**).

Principaux paramètres influençant la détermination de Vc



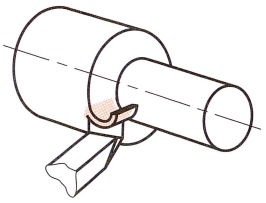
• Matière de la pièce à usiner

Usinabilité matière ↗, **Vc** ↗



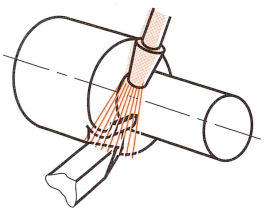
• Matière de la partie active de l'outil

Capacité de coupe ↗, **Vc** ↗



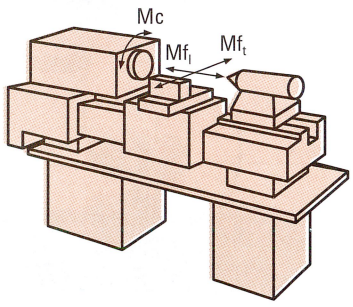
• Section du copeau

Section du copeau ↗, **Vc** ↘



• Lubrification

Lubrification ↗, **Vc** ↗



• Machine utilisée

Robustesse, précision, puissance ↗, **Vc** ↗

• Durée de vie de l'outil (*voir p. 138*)

Durée de vie outil ↗, **Vc** ↘

A

VITESSE DE COUPE (Vc) (suite)

Détermination de Vc

• *Graphiquement*, à partir d'un abaque prenant en compte les principaux paramètres d'influence : cette méthode permet de déterminer la vitesse de coupe avec une approximation acceptable.

• *En utilisant les lois sur la coupe* (Taylor) : à partir d'une durée de vie choisie en fonction d'une limite d'usure de la partie active de l'outil, cette méthode permet la détermination précise et rigoureuse de la vitesse de coupe (*voir p. 140*).

Procédure du réglage cinématique du Mc

Pour régler la vitesse du mouvement de coupe **Mc** sur la boîte de vitesses de la chaîne cinématique, il convient de définir une fréquence de rotation exprimée en tours par minute (**tr/min**).

Cette grandeur cinématique de réglage est déterminée à partir de la vitesse de coupe **Vc** et du diamètre ***d*** considéré sur la pièce ou l'outil.

• *Par le calcul*

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

(*n* en tr/min, Vc en m/min, *d* en mm)

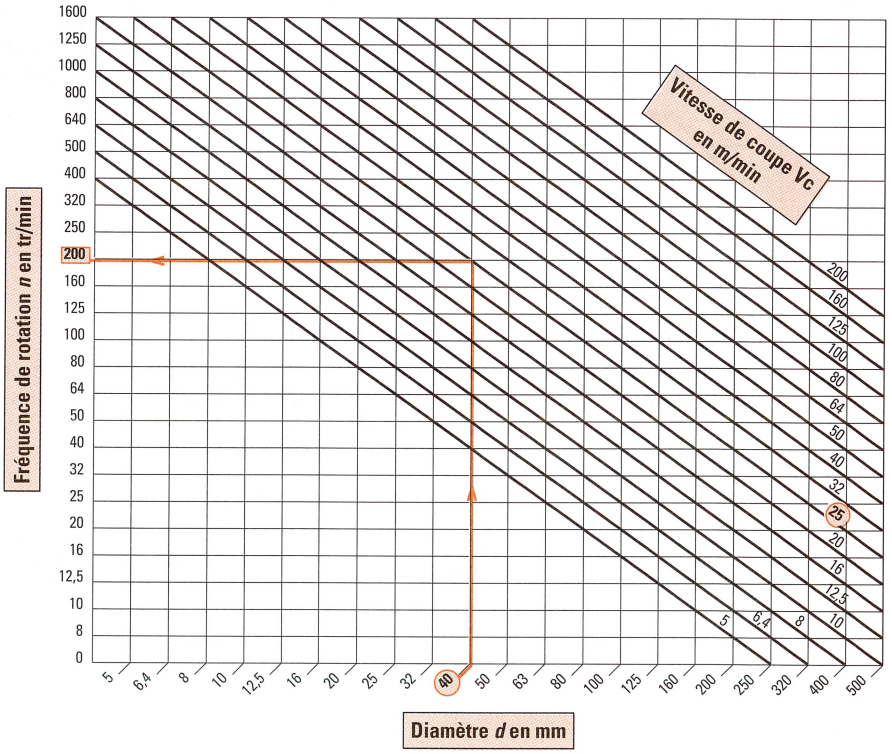
Application : $V = 25$ m/min, $d = 40$ mm

$$n = \frac{1000 \times 25}{3{,}14 \times 40} = 199 \text{ tr/min}$$

• *Graphiquement à l'aide d'un abaque*

Détermination graphique de la fréquence de rotation ***n*** à partir de l'abaque ci-dessous et de l'exemple précédent.

Avec Vc = 25 m/min et un diamètre de fraise $d = 40$ mm, on lit : $n = 200$ tr/min.



Données des réglages du couple outil/pièce

VITESSE D'AVANCE (Vf)

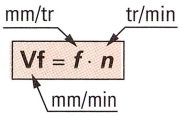
Mouvement générateur concerné : MOUVEMENT D'AVANCE (**Mf**)

La vitesse d'avance est déterminée à partir d'une valeur d'avance de base dont l'expression varie selon le procédé d'usinage :

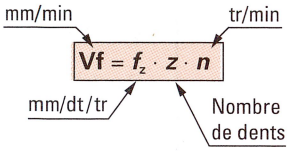
– **tournage :** (***f***) avance exprimée en millimètres par tour (**mm/tr**),

– **fraisage :** (f_z) avance exprimée en millimètres par dent et par tour (**mm/dt/tr**).

Procédures de réglage



• Sur le **tour**, on réglera directement ***f*** sur la boîte de vitesses des avances de la chaîne cinématique ; expression de la vitesse d'avance résultante du **Mf** donné à l'outil ;



• sur la **fraiseuse**, on réglera la vitesse d'avance **Vf** exprimée en millimètres par minute (**mm/min**) et calculée à partir de f_z.

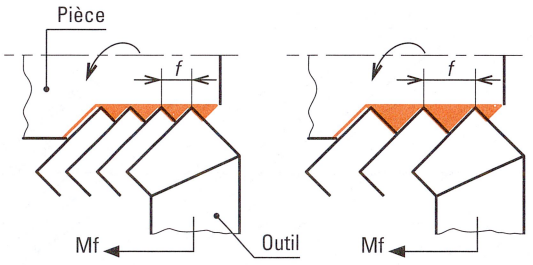
Principaux critères de choix

• Matière de l'outil (acier rapide ou carbure métallique).

• Type d'opération (ébauche, finition).

• Spécifications de **rugosité** imposées sur les surfaces générées (*voir p. 26*).

Influence de l'avance sur la rugosité

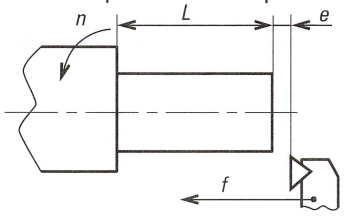


On constate qu'avec un même outil l'importance des stries prises en compte par le critère de rugosité varie avec la valeur de l'avance ***f***.

Précision rugosité ↗, ***f*** ↘

Influence de l'avance sur le temps de coupe

La vitesse d'avance influence directement la durée du temps de coupe (**Tc**), temps durant lequel l'outil coupe la matière et génère la ou les surface(s).



Exemple en tournage :

n : vitesse de rotation en tr/min.
f : avance en mm/tr.
L : longueur usinée en mm.
e : distance de sécurité en mm.
Tc : temps de coupe en min.

$$Tc = \frac{L + e}{n \cdot f}$$

2.4.2. GRANDEURS GÉOMÉTRIQUES

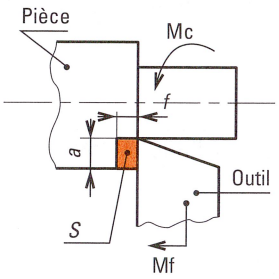
PÉNÉTRATION (*a*)

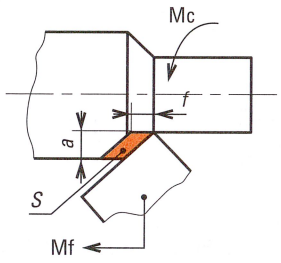
Lors de l'usinage, le volume de matière enlevé dépend de l'engagement de l'outil dans la pièce. Cet engagement, appelé pénétration (***a***), s'exprime en millimètres (**mm**).

Principaux critères de détermination

- Type d'opération (ébauche, finition).
- Précision des spécifications imposées (notamment spécification de forme).
- Rigidité du couple outil/pièce.
- Puissance de la machine.

Associée à l'avance ***f***, la pénétration ***a*** permet de déterminer une autre grandeur géométrique de la coupe : la **section du copeau** (***S***).





En tournage

$S = a \cdot f$

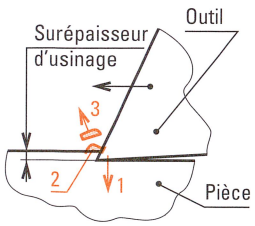
mm^2 mm mm/tr

COPEAU MINIMUM

- **En finition**

Si la valeur de la surépaisseur d'usinage à couper est inférieure à une valeur minimale admissible de matière, l'outil travaille dans de mauvaises conditions. La matière est d'abord comprimée (1) puis refoulée (2) et enfin arrachée (3).

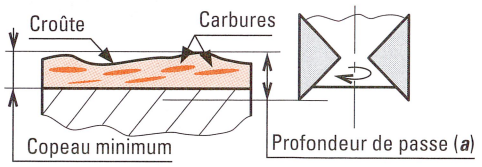
Conséquences :
– frottement intense outil/pièce qui provoque un échauffement important, donc une usure accélérée de l'outil ;
– risque d'écrouissage et rugosité altérée sur la surface générée.



- **En ébauche**

L'existence d'une croûte et de carbures impose une profondeur de passe ***a*** importante.

$a > 1{,}5$



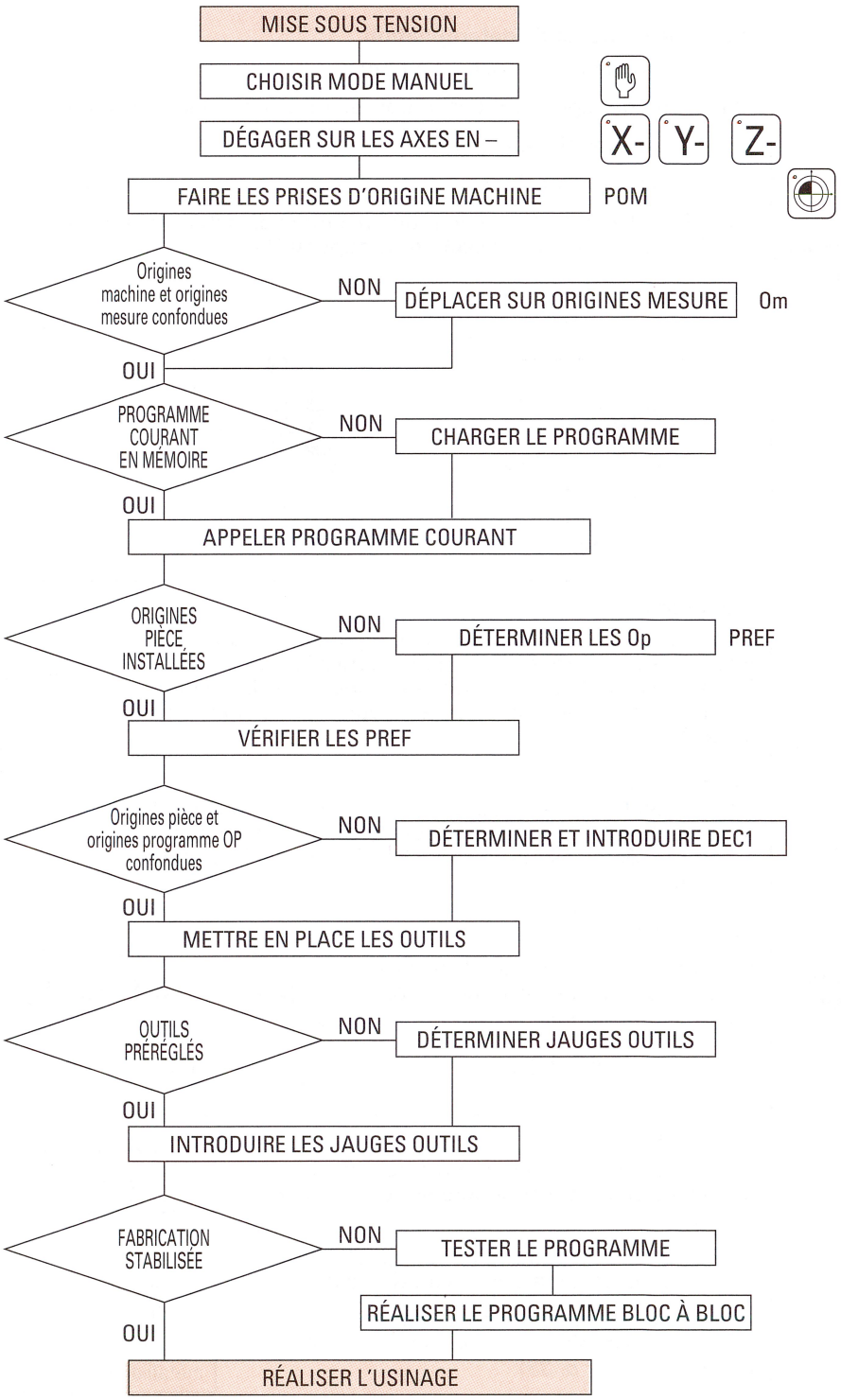
Remarques

- La valeur du copeau minimum est fonction de la finesse de l'arête coupante et du type d'opération...
- La valeur du copeau minimum peut affecter, selon le type de génération, les valeurs de ***a*** et ***f***.
- Dans tous les cas, le copeau minimum est utilisé comme condition dans le calcul des cotes de fabrication (*voir p. 33*).

Opérations	Copeau minimum
Ébauche écroûtage	1,5
Finition avec acier rapide	0,05
Finition avec carbure métallique	0,15

2.5. PRÉPARATION D'UNE MACHINE-OUTIL À COMMANDE NUMÉRIQUE

2.5.1. PROCÉDURE DE MISE EN ŒUVRE

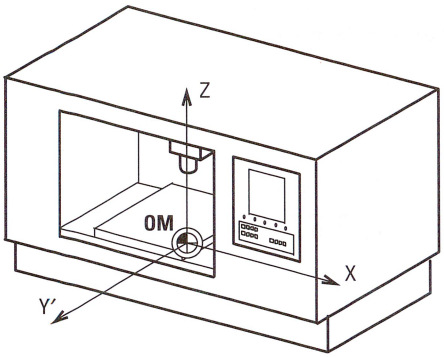


2.5.2. PRISES D'ORIGINE MACHINE (POM)

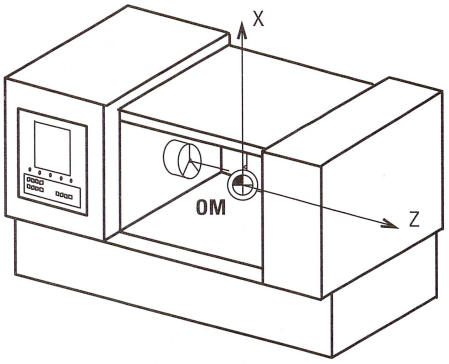
Avant toute mise en service, une machine-outil à commande numérique doit être **initialisée**. Cette opération consiste à déplacer les chariots vers un point défini par des butées électriques : c'est l'**origine machine** (**OM**).

Ce point est le point de référence de la machine. Il est atteint en réalisant les **prises d'origine machine** (**POM**).

Exemples :



Fraiseuse à commande numérique



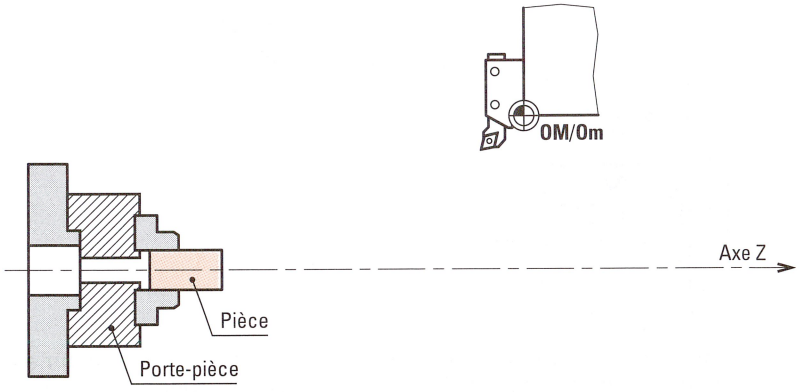
Tour à commande numérique

Le plus souvent, l'origine machine est confondue avec l'**origine mesure** (**Om**).

Dans le cas contraire, l'origine mesure est définie par un paramètre machine OM/Om spécifique. Lors de l'opération de prises d'origines, le calculateur connaît la valeur de ce paramètre et peut positionner le « zéro mesure ».

L'origine mesure est un point défini sur chaque **axe**. C'est l'origine **absolue** de la mesure.

Exemple de tournage : position origine machine et origine mesure sur l'axe **Z**.



2.5.3. ORIGINE PIÈCE

Pour des raisons pratiques, l'origine mesure ne peut être le point de référence pour la suite des opérations.

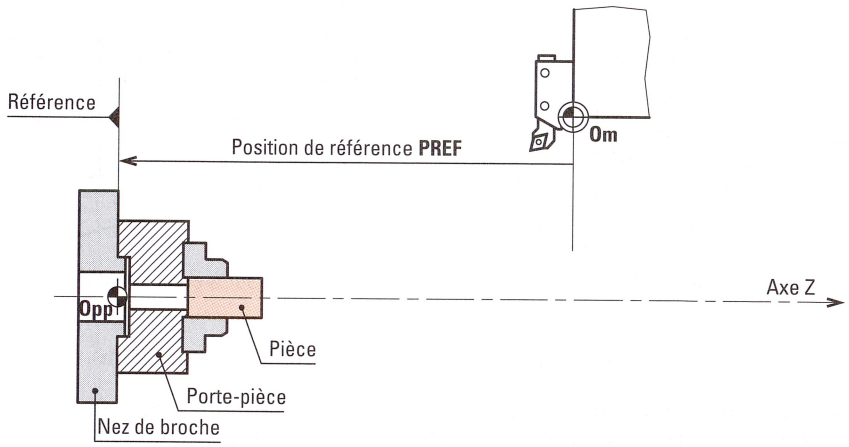
Il faut déterminer, sur chaque axe, un point de référence lié au porte-pièce (ou la pièce) sur lequel on peut se positionner.

Ce point est défini par rapport à l'origine mesure par le paramètre **PREF.**

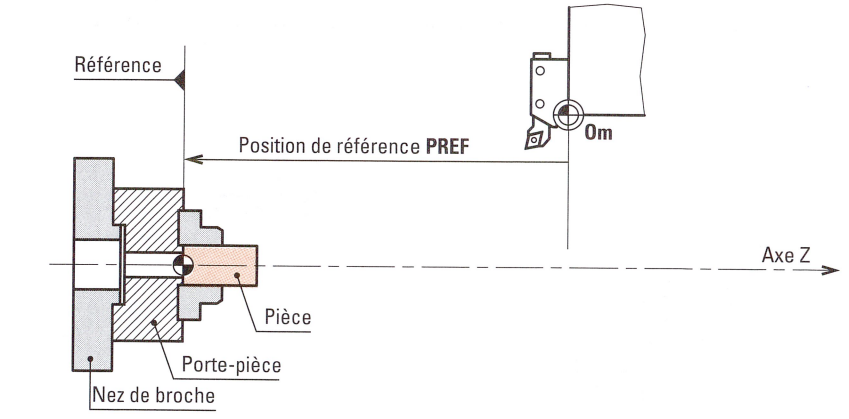
Les nouvelles origines (sur chaque axe) ainsi définies sont appelées :
– **origine porte-pièce** (**Opp**) si le point palpé est sur la référence broche/porte-pièce ou table/porte-pièce ;
– **origine pièce** (**Op**) si le point palpé est sur la référence porte-pièce/pièce.

Exemples : tournage

Cas du point déterminé sur la référence broche/porte-pièce



Cas du point déterminé sur la référence porte-pièce/pièce



Remarque : le paramètre PREF est déterminé lors de la réception de la machine et sa valeur est enregistrée par le directeur de commande. En général, c'est une donnée machine stabilisée (rarement modifiée).

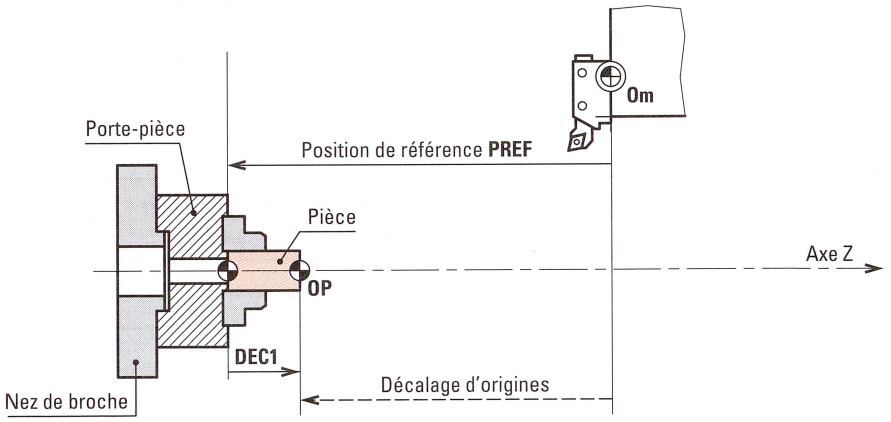
2.5.4. ORIGINE PROGRAMME

L'**origine programme** (**OP**) est l'origine des axes qui a servi à établir le programme. Elle est choisie par le bureau des méthodes. Toutes les coordonnées des points des cycles d'usinage sont définies par rapport à l'OP à partir des cotes de fabrication (*voir p. 78 et 79*).

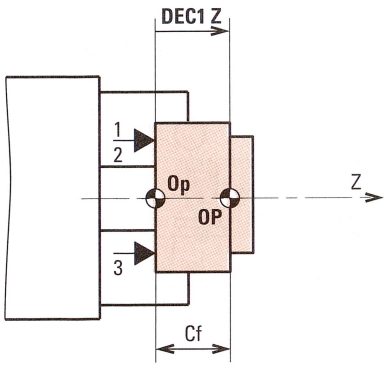
L'origine programme est définie par rapport à l'origine pièce par un paramètre sur chaque axe : **DEC1** (NUM).

Remarque : si l'origine pièce est confondue avec l'origine programme, il n'y a pas lieu de déterminer des DEC1.

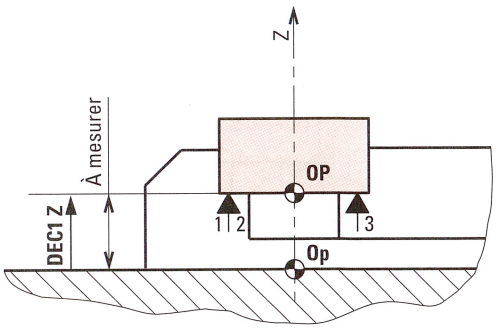
Exemples :



Détermination des DEC1



Le paramètre DEC1 peut être défini sans mesure s'il est égal à une cote de fabrication **Cf** déterminée sur le contrat de phase.



Le paramètre DEC1 peut être déterminé par mesurage direct, indirect ou par tangentement.

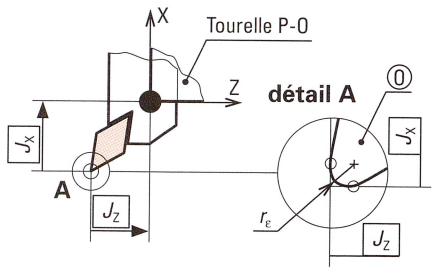
À partir des paramètres PREF et DEC1, le directeur de commande numérique (DCN) détermine le **décalage d'origines** (distance OP/Om) sur chaque axe. Cette information est indispensable au DCN pour gérer le déplacement de l'élément générateur de l'outil selon le cycle défini par le programme (coordonnées liées à l'OP).

2.5.5. JAUGE D'OUTIL

La **jauge d'outil** est la distance entre le point origine du porte-outil (appelé **point courant**) et le point générateur de l'outil.

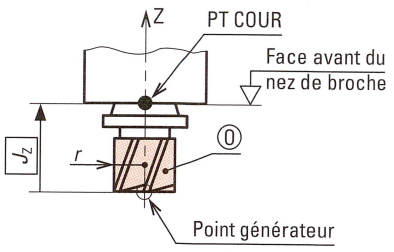
Elle peut être mesurée directement sur la machine ou sur un banc de préréglage dans le cas d'une préparation décentralisée.

• **Exemple en tournage**



N° d'outil	N° correcteur outil	Jauge		r_ε
		J_X	J_Z	
T3	D3	18,52	3,76	0,8

• **Exemple en fraisage**

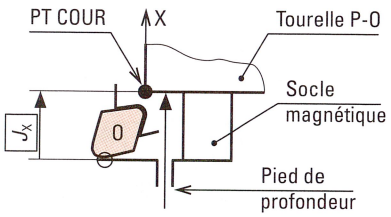


N° d'outil	N° correcteur outil	Jauge	
		J_Z	r
T1	D1	70,56	16

• **Méthodes de vérification**

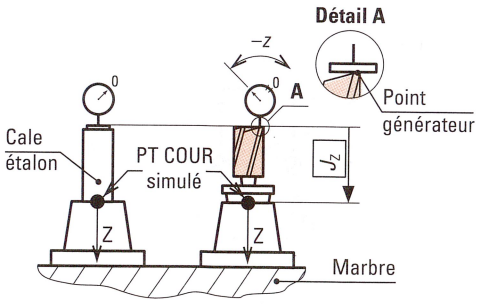
Par mesurage direct sur la machine

Exemple : mesure de J_X sur tour CN avec pied de profondeur monté sur socle magnétique $J_X \pm 0{,}02$.



Par mesurage différentiel sur banc de préréglage

Mesure effectuée hors du centre d'usinage avec comparateur à cadran à touche plate (*voir principe p. 163*) $J_Z \pm 0{,}01$.



PT COUR = point courant

2.5.6. NOTIONS DE POINT COURANT (NUM)

Le **point courant** ✦ est le point qui est mesuré lors de tous les déplacements.

Ce point est accessible pour faciliter les procédures de prise d'origine par tangentement. En général, le constructeur le place sur des éléments liés au porte-outil.

Sa mesure peut s'afficher à l'écran par rapport à l'origine mesure (**Om**) ou par rapport à l'origine programme (**OP**).

2.5.7. NOTIONS DE PROGRAMMATION

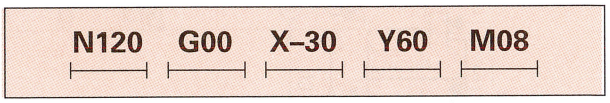
A

LANGAGE DE PROGRAM-MATION

Structure
Le langage de programmation (code ISO) se compose de **blocs** constitués de **mots**.

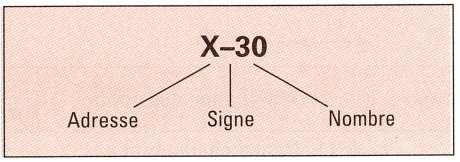
Un **bloc** est une suite d'instructions (de mots) sur une ligne.

Exemple :



Un **mot** est constitué d'une adresse et/ou d'un signe et d'un nombre.

Exemple :



N120 ⇨ Repérage du bloc ⟶ Numéro de bloc.

G00 ⇨ Adresse G ⟶ Fonction préparatoire. Elle prédispose la machine à travailler.

X–30 ⇨ Coordonnée du point à atteindre sur l'axe des X.

M08 ⇨ Adresse M ⟶ Fonction auxiliaire. Elle déclenche un relais dans l'armoire de puissance. M08 = début de l'arrosage.

Autre exemple : **N220 G01 X100 Y25 S250 F100 T1 01**

F100 ⇨ Adresse F ⟶ Code de la vitesse d'avance.

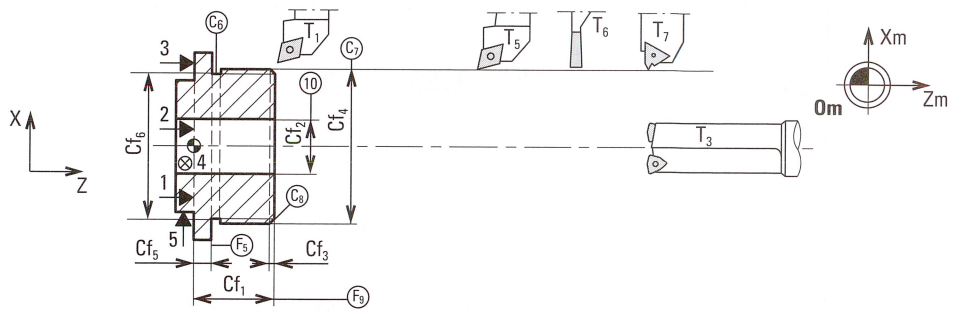
T1 01 ⇨ Adresse T ⟶ Code de l'outil choisi. T1 = outil n° 1. 01 = premier correcteur.

S250 ⇨ Adresse S ⟶ Code de vitesse de coupe : 250m/min.

Remarque : le format de chaque mot est une des caractéristiques des directeurs de commande. Il faut donc consulter le manuel s'y rapportant pour lire un programme.

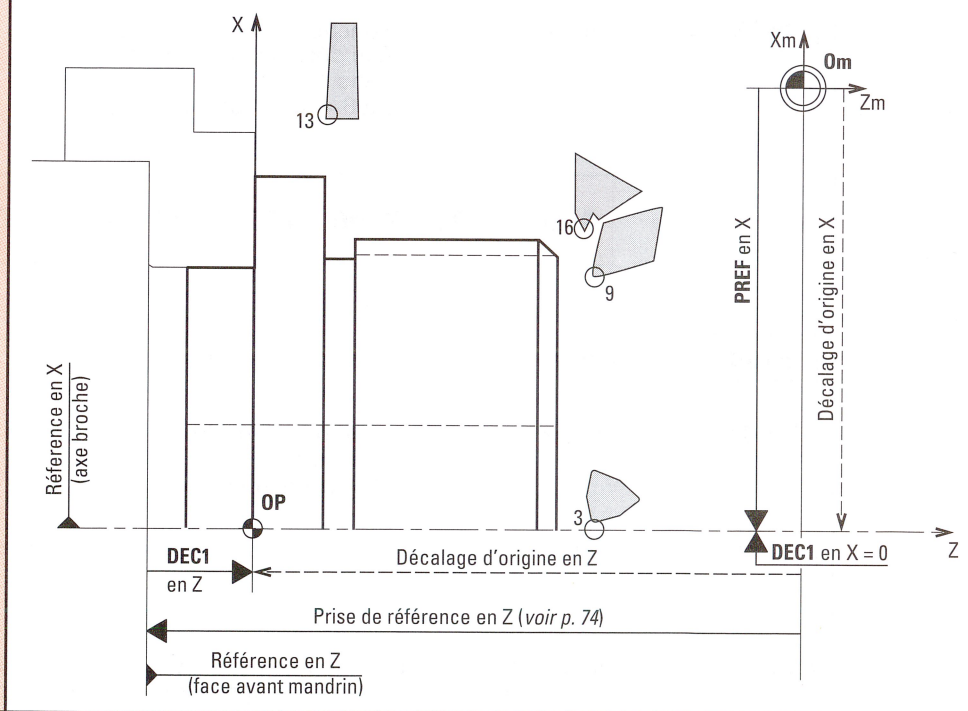
Préparation d'une machine-outil à commande numérique

CONTRAT DE PHASE 30 - TOURNAGE	Ensemble : VÉRIN DE CALAGE	Pièce : vis crantée Matière : 20 S 200 Type de fabrication : 50 pièces/mois/5 ans
Machine : tour à commande numérique HES 300	Porte-pièce : mandrin 3 mors durs	



Désignation des opérations	Désignation des outils	Vc m/min	n tr/min	f mm/tr	Vf mm/min	Tc min
a) Dressage en finition F9 Cf1 = 26,5 moyen	T1 : Outil à charioter et à dresser PCLN	120		0,25		
b) Perçage C10 débouchant Cf2 = 30	T3 : Foret coupe acier ∅ 30		1 700	0,1	136	
c) Contournage C7 F5 en ébauche + 0,5 au diamètre + 0,25 en longueur	T1 : Outil à charioter et à dresser PCLN	120		0,25		
d) Contournage C8 C7 en finition Cf3 = 2 à 45° Cf4 = 55 moyen	T5 : Outil à charioter et à dresser PCLN	160		0,1		
e) Rainurage en finition F5 C6 Cf5 = 6,5 moyen Cf6 = 52 moyen	T6 : Outil à saigner TMAX Q-CUT	175		0,15		
f) Filetage C7 M55 Pas 2	T7 : Outil à fileter		700	2		

REPÉRAGE DES CYCLES D'USINAGE



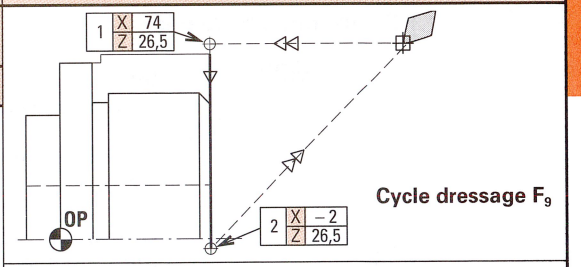
A

Listage programme code ISO de tournage

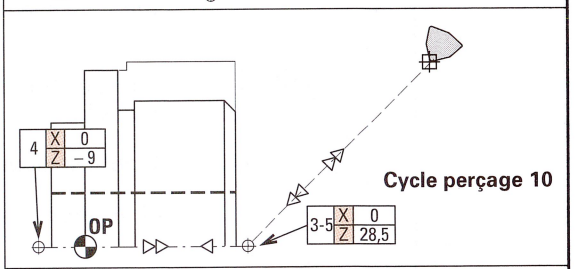
% 54 ÉCROU CRANTÉ PHASE 30

N° bloc	Désignation des blocs	
N010	G90 G95 G52 G0 X0 Z0	
N020	G92 S1500	
N030	G97 S600 M42 M4	
N040	T1 D1 M6 (Outil à charioter et à dresser)	
N050	X74 Z26.5	(1)
N060	G96 S120 M8	
N070	G1 F.25 X-2 M5	(2)
N080	G52 G0 X0 Z0	
N090	T3 D3 M6 (Foret 30)	
N100	G97 S1700 M3	
N110	X0 Z28.5	(3)
N120	G87 Z-9 P5 F.1 M5	(4)
N130	G80 G52 G0 X0 Z0	
N140	T1 D1 M6 (Outil à charioter et à dresser)	
N150	G97 S600 M4	
N160	X70 Z28.5	(6)
N170	G96 S120	
N180	G79 N230	
N190	G1 X47 Z28.5	
N200	X55 Z24.5	
N210	Z7	
N220	X70	(7)
N230	G64 N220 N190 I.5 K.25 P2 F.25	
N240	X70 Z7	
N250	Z28.5	
N260	X47	
N270	G97 S600	
N280	G80 G52 G0 X0 Z0	
N290	T5 D5 M6 (Outil à charioter et à dresser finition)	
N300	G42 X47 Z28.5	(9)
N310	G96 S160	
N320	G77 N190 N220 F.1	
N330	G97 S600	
N340	G52 G40 G0 X0 Z0	
N350	T6 D6 M6 (Outil à saigner)	
N360	X72 Z6.5	(13)
N370	G96 S175	
N380	G1 F.15 X67 Z6.5	
N390	X52 G4 F.2	(14)
N400	X67 M5	(15)
N410	G52 G0 X0 Z0	
N420	T7 D7 M6 (Outil à fileter)	
N430	X57 Z31	(16)
N440	G97 S700 M3	
N450	G33 X55 Z8 K2 EB30 P1.226 Q.07 S10 M9	(17)
N460	G80 G52 G0 X0 Z0	
N470	M2	

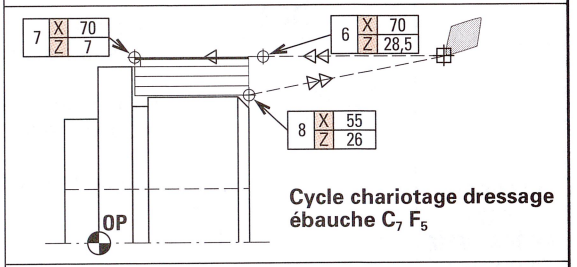
Visualisation des cycles d'usinage Détermination des coordonnées



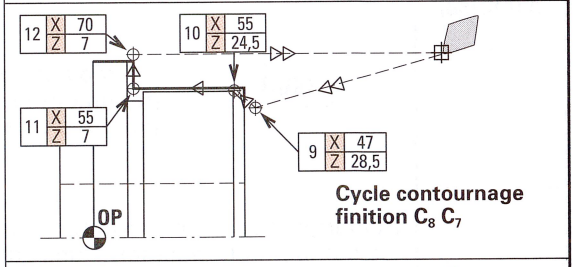
Cycle dressage F_9



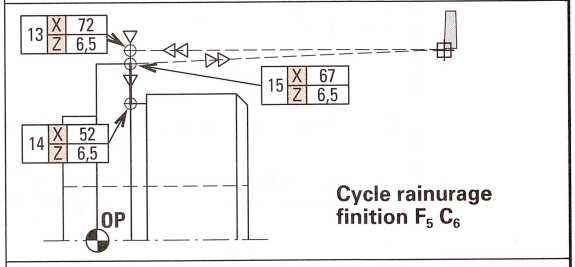
Cycle perçage 10



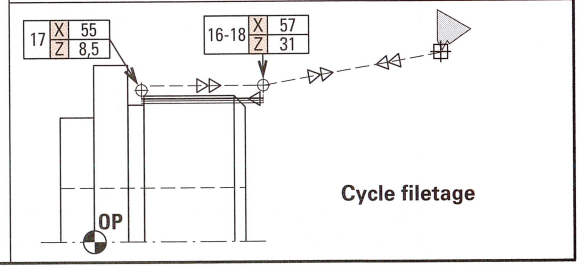
Cycle chariotage dressage ébauche C_7 F_5



Cycle contournage finition C_8 C_7



Cycle rainurage finition F_5 C_6



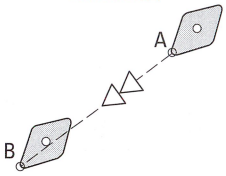
Cycle filetage

DÉCODAGE D'UN PROGRAMME (CODE ISO)

• Fonctions préparatoires

Déplacements de base

G00

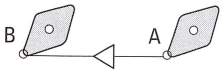


Interpolation linéaire en vitesse rapide (10 m/min) d'un point A à un autre point B.

L'outil se déplace en avance rapide sans contrôle précis de la trajectoire.

Utilisation : approche rapide de l'outil de son point de dégagement vers la pièce et inversement.

G01

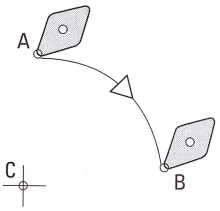


Interpolation linéaire en vitesse travail d'un point A à un autre point B.

L'outil se déplace en avance programmée (voir G94 G95).

Utilisation : génération des surfaces planes.

G02

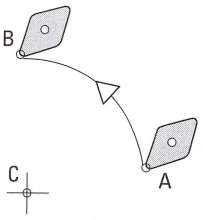


Interpolation circulaire dans le sens **antitrigonométrique** en vitesse travail d'un point A à un autre point B.

L'outil se déplace suivant un arc de cercle de centre C (coordonnées I, J) avec avance programmée.

Utilisation : génération des surfaces cylindriques.

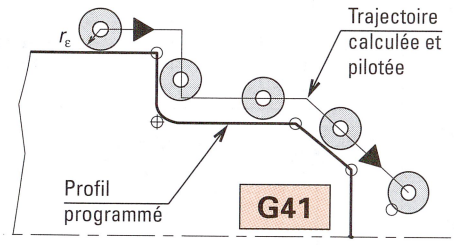
G03



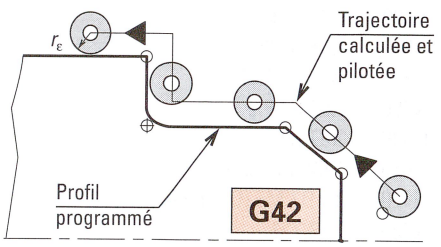
Interpolation circulaire dans le sens **trigonométrique** en vitesse travail d'un point A à un autre point B.

Remarque : dans un programme, une fonction d'un déplacement de base est annulée par la programmation d'une autre fonction.
Exemple : G01 est annulée par G00 ou G02 ou G03.

Correction de rayon à gauche du profil



Correction de rayon à droite du profil



Lors d'un contournage, le point générateur évolue le long du rayon de bec de l'outil. Dans ce cas, le directeur de commande numérique calcule une trajectoire pilotant le centre du rayon de bec r_ε de la plaquette à partir du profil à exécuter.

Vitesses

G94 La vitesse d'avance sera exprimée en mm/min.

G95 La vitesse d'avance sera exprimée en mm/tr.

G92 Sxxx La fonction G92 suivie de l'adresse S indique une limitation de la valeur de la vitesse de broche.

G96 La fonction G96 fera varier automatiquement la vitesse de la broche pour obtenir une vitesse de coupe constante.
Remarque : cette fonction devra obligatoirement être précédée de la fonction limitation de la vitesse de broche.

G97 La vitesse de broche sera exprimée en tr/min.

Cycles d'usinage (exemples)

G81 Cycle de perçage centrage.

G82 Cycle de perçage chambrage.

G83 Cycle de perçage avec débourrage.

G84 Cycle de taraudage.

G87 Cycle de perçage avec brise-copeaux.

G80 Annulation des cycles d'usinage précédents.

• Fonctions auxiliaires

M00 Arrêt programmé. **M01** Arrêt optionnel.

M02 Fin de programme pièce.

M03 Rotation de broche sens **antitrigonométrique**.

M04 Rotation de broche sens **trigonométrique**.

M06 Changement d'outil.

M07 Arrosage. **M09** Arrêt de l'arrosage.

M40 à **M45** 6 gammes de vitesses de broche.

Adresses courantes

D : numéro de correcteur d'outil.
F : en G33 = nombre de filets, en G94 = vitesse d'avance.
I et **J :** en G2 et G3 = coordonnées du centre du cercle.
K : en G33 = pas du filet, en G64 = surépaisseur.
P et **Q :** profondeurs de passe.
T : numéro d'outil.

2.6. SÉCURITÉ

2.6.1. PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

INRS

PRINCIPALES CAUSES DES ACCIDENTS

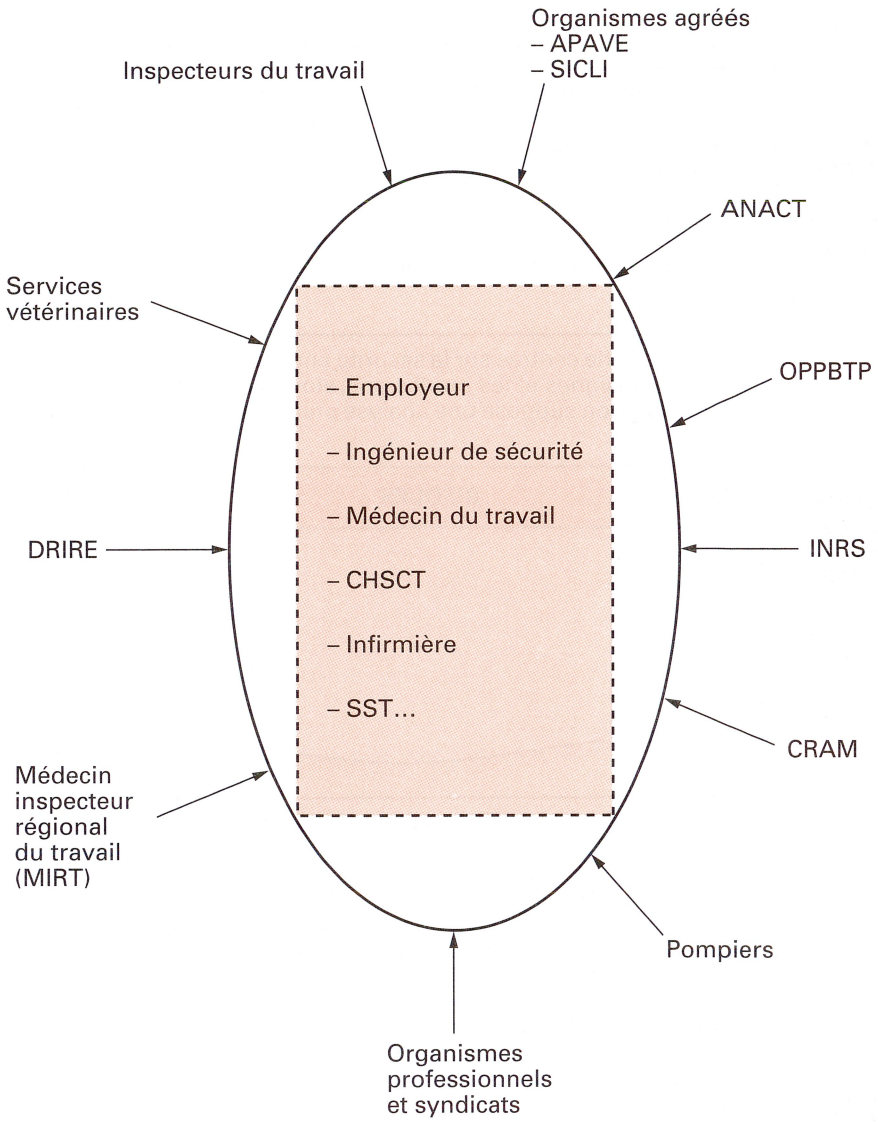
(Statistiques 1993)

	Chutes de plain-pied	Chutes de hauteur	Manutention manuelle	Masse en mouvement
AT-Arrêt	145 218	90 593	213 547	47 553
Jours IT	5 734 745	5 256 548	7 312 740	1 243 008
AT-IP	9 884	10 313	14 000	2 640
Taux IP	76 141	114 658	104 136	25 040
Décès	20	128	15	43

	Manutention mécanique	Véhicules	Machines	Engins TP
AT-Arrêt	23 759	24 776	35 608	1 477
Jours IT	902 832	1 577 120	1 231 571	104 848
AT-IP	2 030	4 232	4 389	255
Taux IP	21 195	79 344	38 240	3 983
Décès	45	364	14	11

	Outils	Électricité	Appareils divers	Autres
AT-Arrêt	50 634	1 045	14 951	26 771
Jours IT	1 031 910	44 222	340 934	1 003 337
AT-IP	2 395	128	625	2 186
Taux IP	13 528	3 652	9 774	34 804
Décès	1	25	33	156

AT : **A**ccidents du **T**ravail
IT : **I**ncapacité **T**emporaire
IP : **I**ncapacité **P**ermanente



ANACT : Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail.
APAVE : Association parisienne de propriétaires d'appareils à vapeur et électriques.
CHSCT : Comité d'hygiène et de sécurité et des conditions de travail.
CRAM : Caisse régionale d'assurance maladie.
DRIRE : Direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement.
INRS : Institut national de recherche et de sécurité.
OPPBTP : Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics.
SST : Sauveteur secouriste du travail.

2.6.2. FICHES DE POSTE

INRS

PRÉSENTATION

Les fiches de poste ne sont qu'un des outils pouvant contribuer à la prévention des risques.
Leur mise en place n'a de signification que si elles s'inscrivent dans un ensemble de mesures visant la formation du personnel à la sécurité.

CHOIX DES POSTES

Deux critères peuvent aider à choisir les postes :
– la fréquence des changements de titulaires du poste,
– l'importance des risques.
La priorité sera donnée aux postes susceptibles d'être tenus par des opérateurs différents.

CHOIX DE FICHE DE CONTRÔLE

On choisira de préférence celles qui intègrent la sécurité dans le corps même de la fiche.

FICHE DE POSTE NE TRAITANT QUE DES ASPECTS DE SÉCURITÉ

Ce type de fiche centrée sur la sécurité énonce les actions dangereuses à éviter et rappelle les consignes et les modes opératoires à respecter.
Son élaboration suppose une analyse préalable des risques (mécaniques, électriques, chimiques...).

PHASES	RISQUES	MODES OPÉRATOIRES CONSEILLÉS OU À ÉVITER

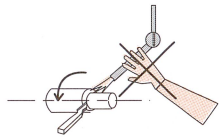
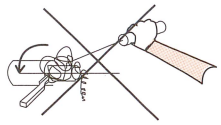
FICHE DE POSTE INTÉGRANT LES ASPECTS DE SÉCURITÉ

La fiche aborde successivement les différentes phases de travail. Pour chacune d'elles, les principales opérations à effectuer sont indiquées, y compris celles qui concernent la prévention des risques.
Les modes opératoires peuvent être détaillés ou limités aux points clés, pour éviter que les documents ne deviennent d'une utilisation longue et fastidieuse.
Les points clés sont définis comme des modes opératoires qui conditionnent la bonne exécution des tâches en efficacité, qualité et sécurité.

Présentation de la fiche
On accordera un soin particulier à la présentation de la fiche :
– texte clair,
– langage simple,
– illustrations par des photos, schémas et croquis.

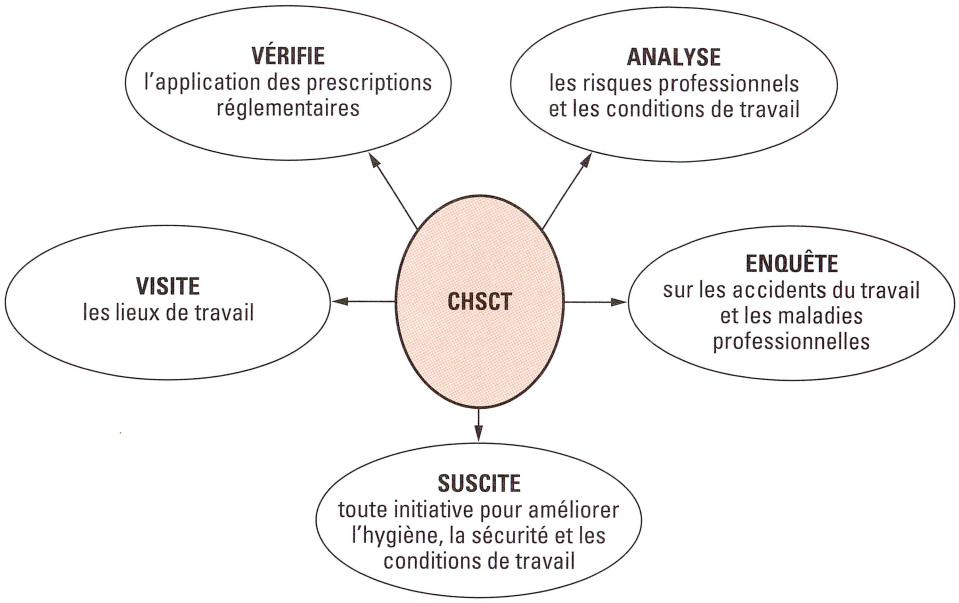
PHASES	PRINCIPALES OPÉRATIONS À EFFECTUER

EXEMPLE DE FICHE DE POSTE SÉCURITÉ POUR UN TOUR CONVENTIONNEL

Phases	Principales opérations à effectuer
1 – Avant la prise en charge 	• Revêtir les protections individuelles : – chaussures de sécurité, – vêtements non flottants, – lunettes (si risque de projection de copeaux).
2 – Prise en charge	• Vérifier le serrage des éléments mobiles réglables. • Dégager la tourelle porte-outils. • Installer tous les protecteurs. • Faire fonctionner la machine à faible vitesse et vérifier le fonctionnement du bouton d'arrêt d'urgence.
3 – Réglages	• S'assurer de l'impossibilité d'une mise en marche intempestive avant d'effectuer les réglages. • Remettre tous les protecteurs avant de contrôler la qualité des réglages effectués. **Ne jamais intervenir sur la machine pendant la marche !**
4 – Conduite de la machine  	• Lors du fonctionnement en marche automatique, la machine doit être sous surveillance constante. • **Constat d'anomalie (bourrage ou enroulement de copeaux, lubrification mal dirigée...) : arrêter la machine avant intervention !** • Changer les éléments usés anormalement avant risque de casse. • Utiliser la machine conformément à son mode de fonctionnement normal.
5 – Évacuation des déchets  	• Lorsque le bac à copeaux est plein, il faut le retirer en respectant les consignes de manipulation des charges lourdes. Vider les copeaux à l'endroit prévu spécialement à cet effet. • Les huiles de coupe usées doivent être stockées dans des récipients spécifiques.
6 – Fin de l'activité	• La machine doit être remise en état en prévision de la prise en charge par une autre personne. • **Ne pas mettre autrui en situation dangereuse !**

2.6.3. COMITÉ D'HYGIÈNE, DE SÉCURITÉ ET DES CONDITIONS DE TRAVAIL (CHSCT)

MISSIONS



COMPOSITION

PRÉSIDENT
Le chef d'établissement

MEMBRES		
Personnels de l'entreprise (employés, cadres...)	Médecin du travail	Responsable sécurité

INVITÉS		
Inspecteur du travail	Représentant de la Caisse d'assurance maladie	Autre personne qualifiée de l'entreprise + experts

FONCTIONNEMENT

Le comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail doit se réunir au moins une fois par trimestre à l'initiative du chef d'établissement.

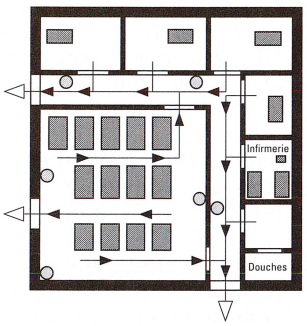
Il donne son avis sur les documents se rattachant à sa mission (*voir p. 87 et 88*).

Il est consulté avant toute décision de transformation ou d'aménagement des postes de travail.

Il émet un avis sur le bilan de la situation générale et le programme annuel de prévention au sein de l'établissement.

PANNEAU D'AFFICHAGE

PLAN D'ÉVACUATION



Dans tout lieu de travail, un plan d'évacuation rapide doit être affiché. Ce plan permet de repérer l'endroit où l'on se trouve et le chemin à emprunter pour gagner l'issue la plus proche.

En cas d'alerte signifiée par un signal sonore, l'évacuation s'effectue dans l'ordre et sans précipitation.

Généralement ce plan indique la position des différents extincteurs.

CONSIGNES DE SÉCURITÉ



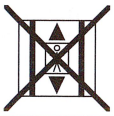
Incendie



Gardez votre calme
Téléphonez au 18



Attaquez le foyer au moyen d'extincteurs sans prendre de risque



N'utilisez pas les ascenseurs ou monte-charge

Les fiches « Consignes de sécurité » indiquent la conduite à tenir en cas d'accident ou d'incident.

Elles ont pour thèmes les risques d'accidents susceptibles de survenir dans l'entreprise :
- incendie (voir exemple ci-contre),
- accident corporel,
- accident d'origine électrique,
- intoxications,
- brûlures,
- aspersion par produits chimiques...

LIGNES TÉLÉPHONIQUES



Internes	
Chef d'établissement :	6000
Médecin du travail :	6111
Infirmerie :	6006
Responsable sécurité :	6118
Titulaires diplôme sauveteur secouriste du travail (SST) :	6618
Externes	
Pompiers :	18
SAMU :	15
Hôpital :	03 83 83 70 00
Centre anti-poison :	03 83 32 36 36
Inspection du travail :	03 83 01 11 30

Les principaux numéros de téléphone à appeler en cas d'urgence doivent être affichés à proximité de tous les terminaux téléphoniques présents dans l'atelier.

Ils permettent l'appel des secours en cas d'urgence mais également de prendre contact avec toutes les personnes concernées par la sécurité et les conditions de travail.

Sécurité

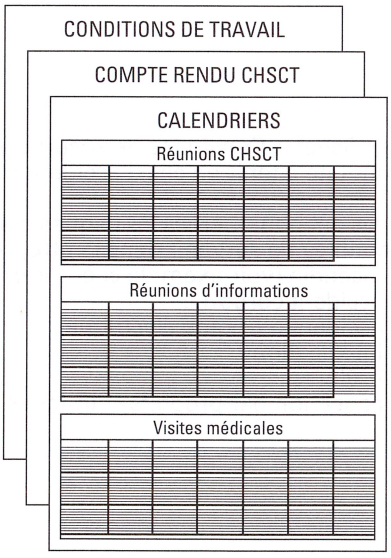
PANNEAU D'AFFICHAGE



Le règlement intérieur, établi dans le cadre du CHSCT, indique toutes les précautions à prendre au sein de l'atelier compte tenu des risques et des conditions de travail.

Le non-respect des consignes affichées peut entraîner des sanctions ou, en cas d'accident, la responsabilité totale du fautif.

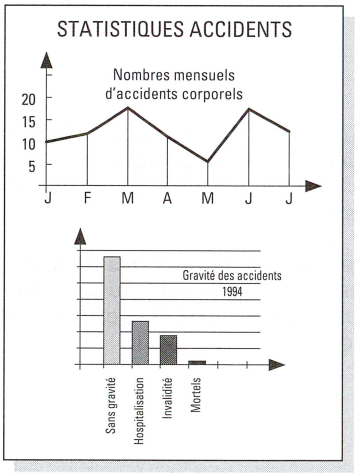
Le règlement intérieur doit être appliqué par toutes les personnes présentes dans l'atelier, qu'elles appartiennent ou non à l'entreprise (visiteurs, élèves stagiaires...).



Les différents comptes rendus des réunions des CHSCT sont communiqués à l'ensemble du personnel.

Des réunions d'information sur des thèmes portant sur la prévention des risques professionnels peuvent être organisées dans l'entreprise. (*Exemples :* conséquences de l'alcoolisme, d'un excès de fatigue...).

Les calendriers des différentes réunions et des visites médicales sont également affichés.



La mise en place d'une démarche qualité au sein de l'entreprise (*voir p. 185*) a une conséquence sur le suivi du nombre et la gravité des accidents = **ZÉRO accident**.

Les conséquences économiques de ces accidents sont nombreuses pour l'entreprise :
– arrêts de travail,
– immobilisation du matériel non conforme,
– amendes en cas de fautes reconnues...

Ces graphiques permettent également la sensibilisation du personnel à la prévention des risques professionnels.

2.6.4. MACHINES ET ÉQUIPEMENTS DE TRAVAIL

A

MISE EN CONFORMITÉ

Ces prescriptions s'appliquent :

– à toutes les machines en service dans l'entreprise au 1er janvier 1993 et qui sont maintenues en service après le 1er janvier 1997 ;

– aux machines d'occasion mises sur le marché depuis le 15 janvier 1993.

Pour les machines en service, ce décret est applicable depuis le 15 janvier 1993 et a laissé un délai de 4 ans (1er janvier 1997).

Il n'est pas dans l'esprit du décret 93-40 d'exiger que toutes les machines en service atteignent un niveau de sécurité identique à celui des machines neuves sur lesquelles la sécurité a été intégrée dès l'origine.

CHAMP D'APPLICATION

Articles	Éléments ou organes concernés
R. 233.15	Éléments mobiles de transmission
16	Éléments mobiles de travail
17	Protecteurs. Dispositifs de protection
18	Action volontaire de mise en marche
19	Organes de service
20	Signalisation
21	Éclatement. Rupture
22	Projection. Chute de pierres
23	Éclairage
24	Risque de brûlure
25	Risque électrique
26	Arrêt général
27	Arrêt au poste de travail
28	Arrêt d'urgence
29	Séparation des énergies
30	Risque d'incendie. Explosion

Nota : ces articles sont développés dans la brochure ED770 de l'INRS intitulée *Machines et équipements de travail. Mise en conformité.*

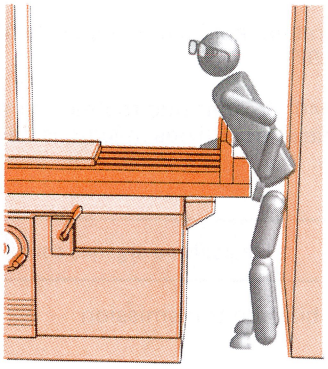
2.6.5. DISPOSITIFS DE PROTECTION DES MACHINES-OUTILS

A. Risques, phénomènes dangereux

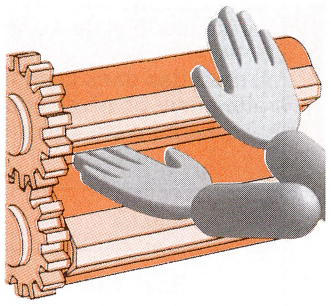
Telemecanique

RISQUES MÉCANIQUES

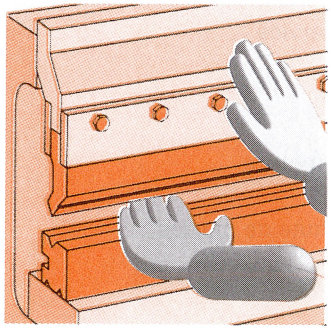
Écrasement



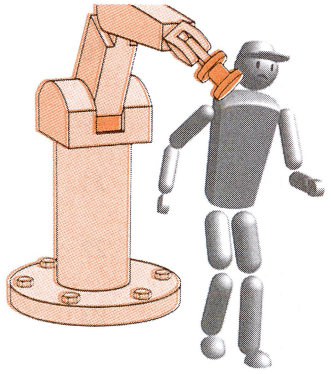
Happement, enroulement, entraînement, emprisonnement



Perforation, piqûre, cisaillement, sectionnement, coupure

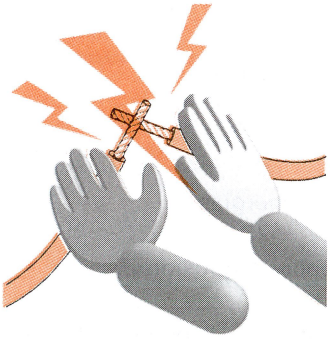


Choc

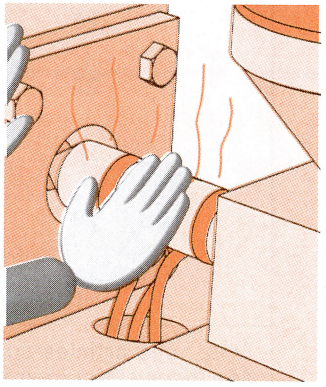


RISQUES ÉLECTRIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES

Électrocution



Brûlure



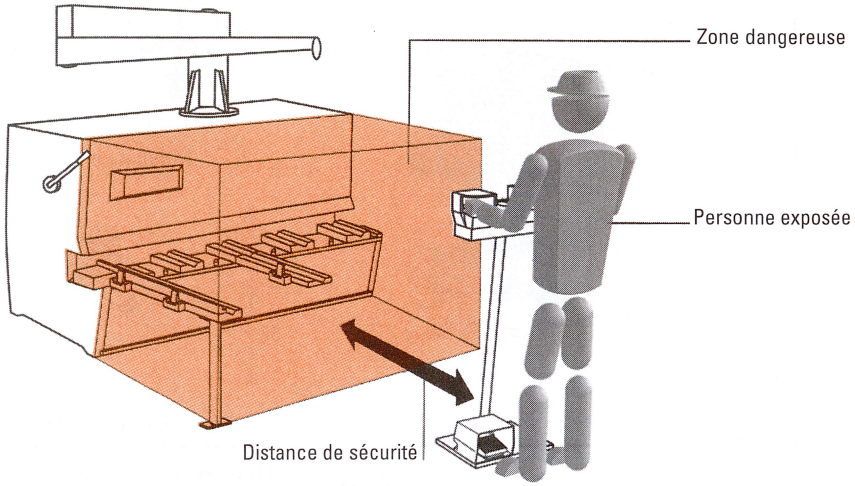
B. Zones dangereuses

Telemecanique

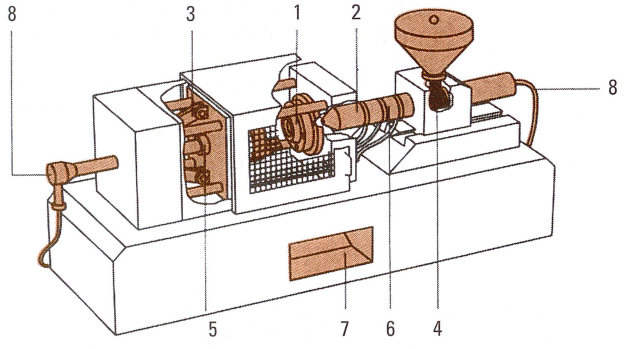
A

NOTION DE ZONE

Zone dangereuse : tout volume à l'intérieur et/ou autour d'une machine dans lequel une personne est exposée à un risque de lésion.
Distance de sécurité : c'est la distance minimale à laquelle un dispositif de protection doit être placé par rapport à la zone dangereuse pour empêcher l'atteinte de celle-ci.
Personne exposée : personne se trouvant entièrement ou en partie dans une zone dangereuse.

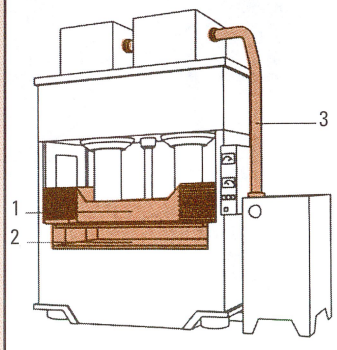


EXEMPLES DE ZONES DANGEREUSES

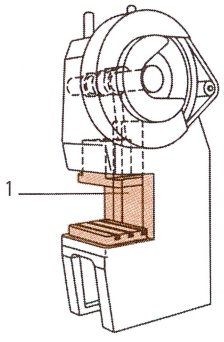


Presse à injecter horizontale

1. Zone du moule.
2. Zone de l'unité d'injection en mouvement, en particulier zone de la buse.
3. Zone de mécanisme de fermeture.
4. Zone d'alimentation.
5. Zone de mouvement des noyaux et des éjecteurs (éventuels).
6. Zone des colliers chauffants du cylindre de plastification.
7. Zone d'évacuation des pièces.
8. Zone des circuits hydrauliques (pression).



Presse hydraulique



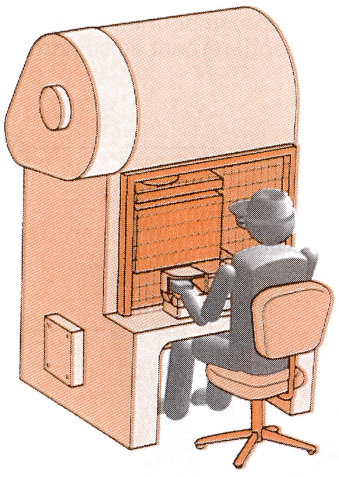
Presse mécanique

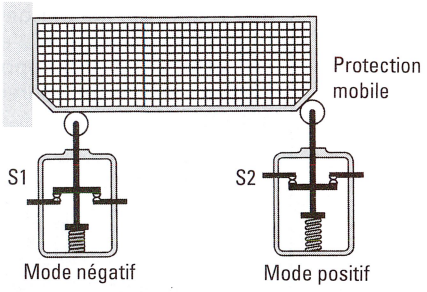
1. Zone des outils : entre les outils, le piston, le coulisseau (risque : écrasement, cisaillement, choc).
2. Zones associées : coussins mobiles, éjecteurs de pièces (risque : choc, happement).
3. Zone des circuits hydrauliques (risque : éjection de fluide sous pression, brûlure).

C. Types de protections

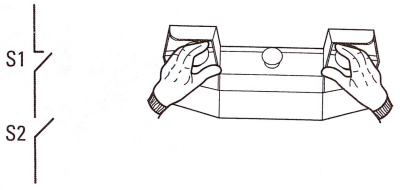
Telemecanique

PROTECTION INDIVIDUELLE



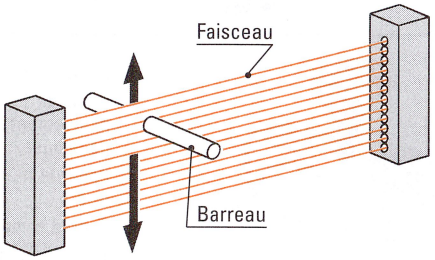


Machine en fonctionnement



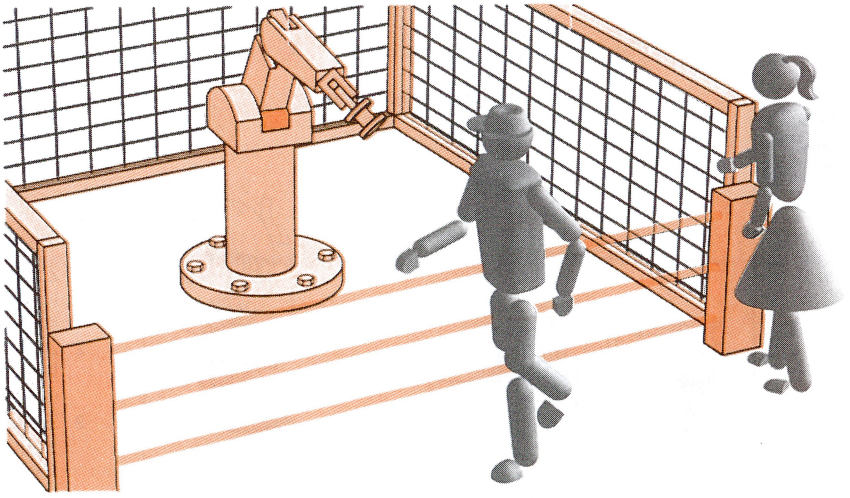
Pour relais de commande bimanuelle

PROTECTION COLLECTIVE



La réponse de la barrière de sécurité sur la totalité de la hauteur protégée doit être régulièrement testée au moyen d'un barreau de test de diamètre égal à la résolution de la barrière.

Après chaque mise en route de la machine dangereuse, il convient de vérifier qu'un arrêt immédiat se produit lorsqu'un faisceau quelconque est interrompu par un objet non transparent.



2.6.6. INSTALLATION ET PROTECTION D'UNE PERCEUSE

A

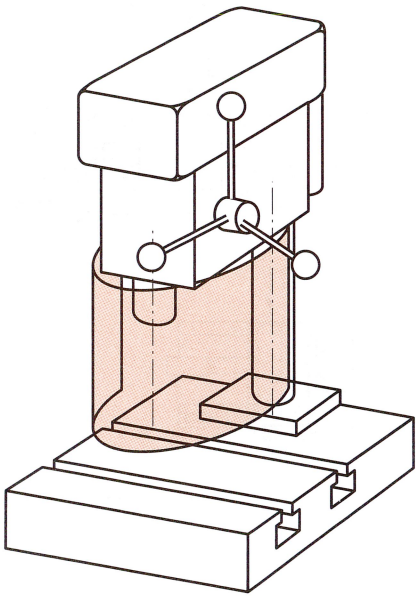
CONSIGNES DE PROTECTION

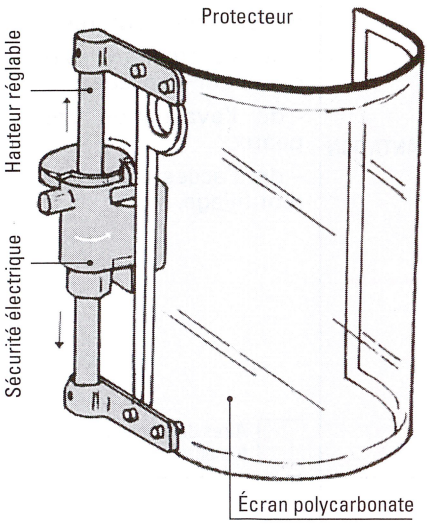
PROSCRIRE tout objet risquant de provoquer un accident avec l'outil en mouvement :
- une montre,
- un bracelet,
- une bague ou une alliance.

UTILISER un pinceau pour le nettoyage du poste de travail.

PROSCRIRE :
- la cravate,
- le foulard,
- les cheveux longs (utiliser la casquette ou la résille),
- la veste et les manches non boutonnées.

EXEMPLE DE PROTECTION SUR PERCEUSE SENSITIVE À TABLE RAINURÉE

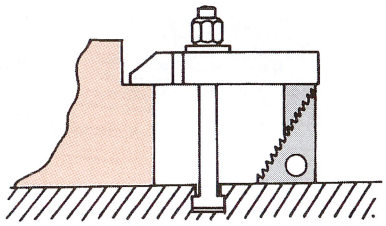




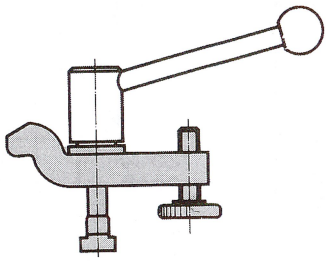
Doc. PAROLAI

MONTAGES DIRECTS SUR LA TABLE (PIÈCE BRIDÉE) Amf

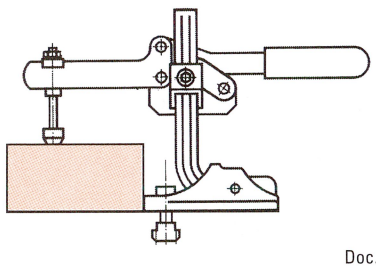
Pendant le perçage, la sécurité impose d'éviter tout déplacement de la pièce dû aux efforts de coupe. La pièce doit donc être fixée (voir exemples ci-dessous).



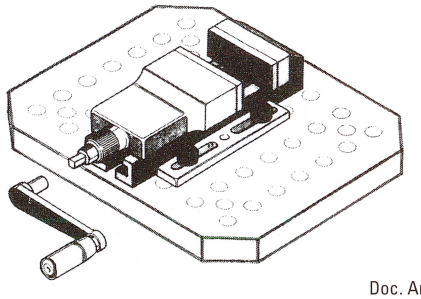
Doc. Amf



Doc. Amf



Doc. Amf



Doc. Amf

2.6.7. INSTALLATION ET PROTECTION D'UN TOUR

MANUTENTION

La notice technique de la machine, établie par le constructeur, doit préciser le mode de manutention prévu pour sa mise en place (poids, points d'élingage, équipements spéciaux...).

IMPLANTATION

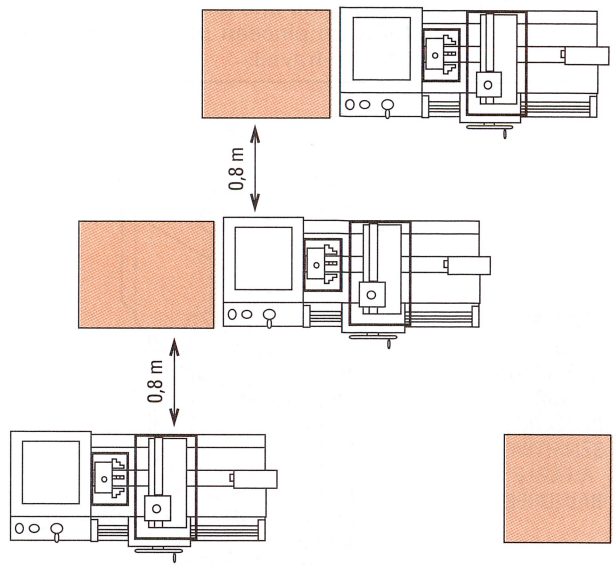
Mode d'implantation de plusieurs tours évitant que chaque opérateur traverse le plan de rotation du mandrin de chacun des tours voisins.

Il faudra tenir compte :

– de la circulation des pièces et de leur stockage,

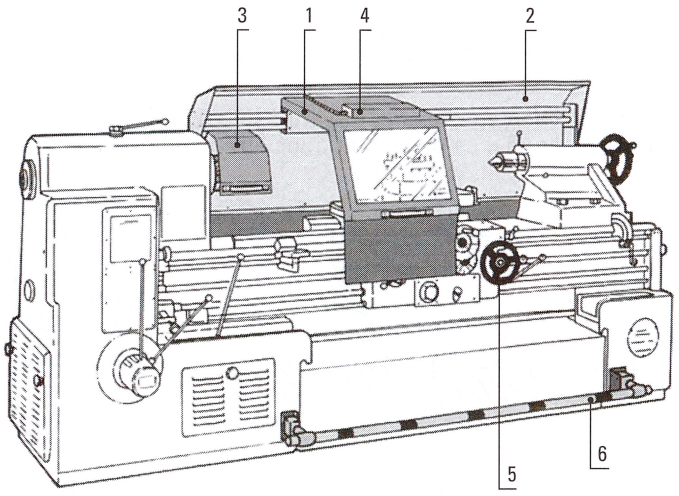
– de l'évacuation des copeaux,

– de l'accès aux armoires d'outillage.



Aires de stockage temporaires

PROTECTION (PAROLAI)



Doc. PAROLAI

1 Protecteur mobile transparent muni d'une bavette et d'un contact électrique de verrouillage.
2 Protecteur fixe de la partie arrière du tour.
3 Protecteur mobile du mandrin.
4 Éclairage de la zone de travail.
5 Volant de manœuvre à poignée escamotable.
6 Arrêt d'urgence par pédale.

2.6.8. INSTALLATION ET PROTECTION D'UNE FRAISEUSE

A

MANUTENTION

La notice technique de la machine, établie par le constructeur, doit préciser le mode de manutention prévu pour sa mise en place (poids, points d'élingage, équipements spéciaux...).

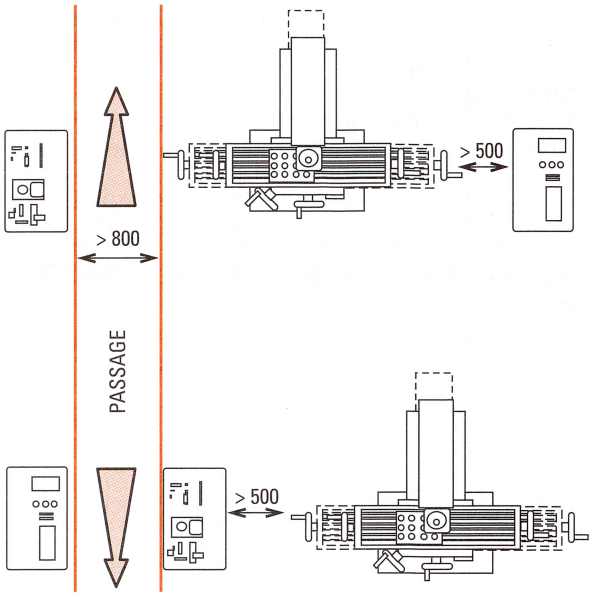
IMPLANTATION

Le passage et les allées de circulation du personnel entre les machines doivent avoir une largeur d'au moins 80 cm.

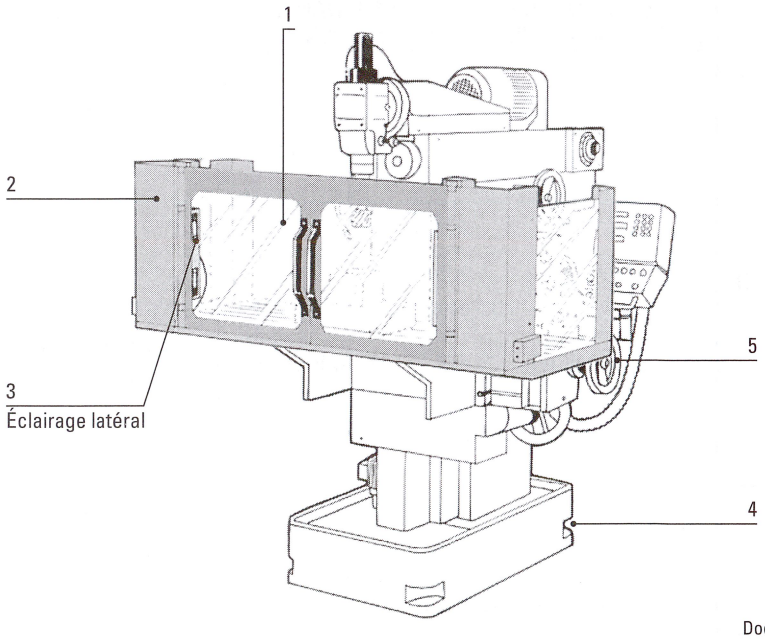
Le sol doit permettre un déplacement en toute sécurité.

Pour définir l'encombrement « hors tout » d'une fraiseuse, il faut tenir compte des déplacements de la table, du chariot transversal et/ou de la tête d'usinage.

Il faudra tenir compte :
– de la circulation des pièces,
– de l'évacuation des copeaux,
– des interventions.



PROTECTION



Doc. PAROLAI

1 Protecteur mobile transparent muni d'un contact électrique de verrouillage.
2 Protecteurs fixes latéraux.
3 Éclairage de la zone de travail.
4 Fixation de la machine au sol, assure la stabilité.
5 Volant de manœuvre à poignée escamotable.
Cette machine peut être équipée d'un arrêt d'urgence à pédale.

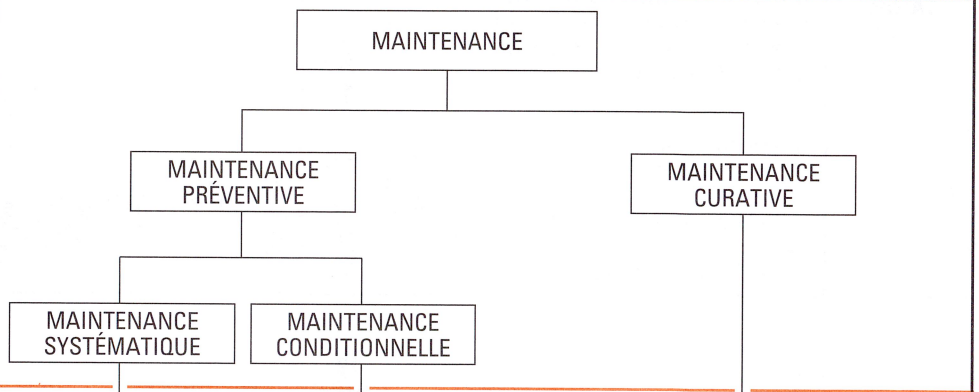
2.7. MAINTENANCE DE PREMIER NIVEAU

2.7.1. RÈGLES GÉNÉRALES

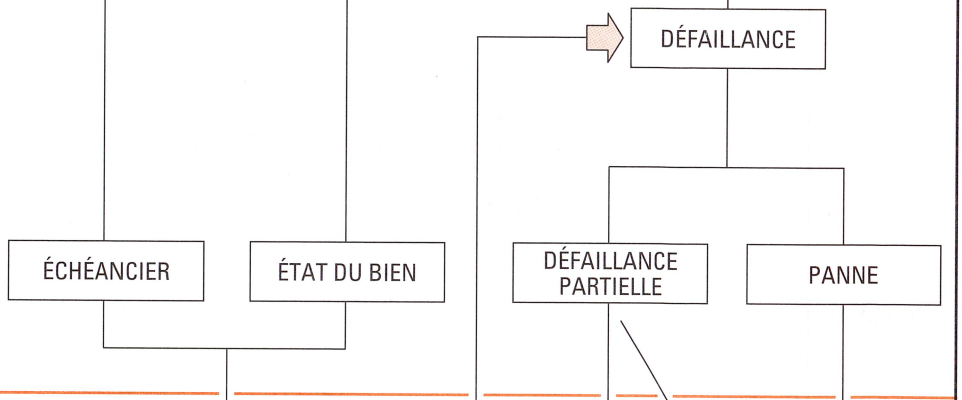
DÉFINITION	**Maintenance** (NF X 60-000/010) Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.
MAINTENANCE PREMIER NIVEAU	Il s'agit de réglages simples prévus par le constructeur ou le service de maintenance, au moyen d'éléments accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement. *Exemples :* – échange en toute sécurité d'éléments consommables tels que fusibles ou voyants ; – dégagement d'un produit défectueux sur une machine automatisée après la mise en sécurité de la machine. Ces interventions de premier niveau peuvent être réalisées par l'exploitant du bien, sans outillage particulier, à partir des instructions d'utilisation.

2.7.2. ORGANISATION DE LA MAINTENANCE

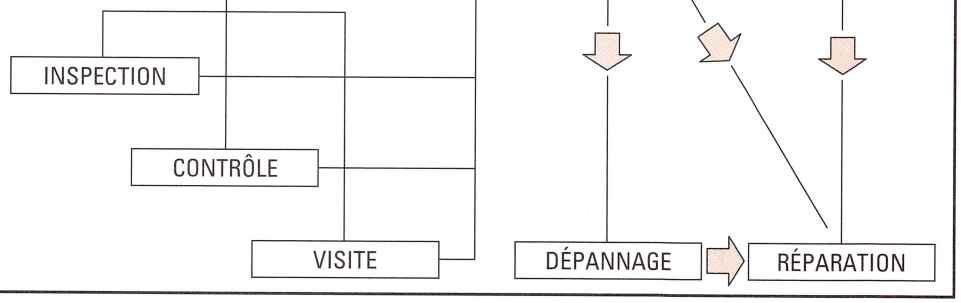
CONCEPT DE MAINTENANCE



ÉVÉNEMENT



OPÉRATION DE MAINTENANCE



2.7.3. MAINTENANCE PRÉVENTIVE

INSPECTION	C'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. *Exemple :* inspection des moyens de protection contre les risques d'accidents dans un atelier de productique mécanique. Ces activités d'inspection sont en général exécutées sans outillage spécifique et ne nécessitent pas d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.
CONTRÔLE	Ces activités de contrôle correspondent à des vérifications de conformité par rapport à des données préétablies, suivies d'un jugement. *Exemple :* contrôle du jeu fonctionnel dans une liaison mécanique par rapport aux spécifications du dessin technique. Le contrôle peut : – comporter une activité d'information, – inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement, – déboucher sur des actions correctives. La périodicité du contrôle peut être : – constante durant la phase de fonctionnement normal du matériel ; – variable, et de plus en plus courte, dès que le matériel entre dans sa phase d'usure. *Nota :* dans certains équipements, des systèmes de contrôle (capteurs...) peuvent être intégrés et les informations délivrées être traitées.
VISITE	C'est une opération de maintenance préventive qui se traduit par un examen détaillé et prédéterminé de tout ou partie du bien. *Exemple :* visite périodique des éléments de protection d'un système de production automatisé. Ces activités de visite peuvent : – entraîner des démontages partiels des éléments à visiter et, de ce fait, conduire à une immobilité du matériel ; – déboucher sur des opérations de maintenance curative.
MAINTENANCE PRÉVENTIVE SYSTÉMATIQUE NF X 60-010	Elle est effectuée d'après un échéancier établi selon le temps, le nombre d'unités d'usage (nombre de pièces fabriquées, poids de la matière d'œuvre, fréquence vibratoire, nombre de manœuvres...).
MAINTENANCE PRÉVENTIVE CONDITIONNELLE NF X 60-010	Elle est subordonnée à un type d'événement prédéterminé (autodiagnostic, information d'un capteur de température, de pression, mesure d'une usure...) révélateur de l'état de dégradation du bien.
MAINTENANCE CURATIVE NF X 60-010	C'est la maintenance effectuée après défaillance. – **Défaillance :** Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. – **Revalidation :** Elle se pratique sur un bien en fonctionnement apparemment normal ; elle a pour but de corriger l'altération produisant les résultats de mauvaise qualité afin d'obtenir le service de qualité souhaitée. – **Dépannage :** Action sur un bien en panne en vue de le remettre provisoirement en état de fonctionnement dans les plus brefs délais, avant réparation. – **Réparation :** Intervention définitive et limitée après panne ou défaillance. Elle a pour but de remettre définitivement l'installation de production en état de fonctionnement. Au-delà de ces limites, on entrera en maintenance de rénovation ou de reconstruction.

2.7.4. PROCÉDURES

EXEMPLES DE PROCÉDURES DE MAINTENANCE DE PREMIER NIVEAU

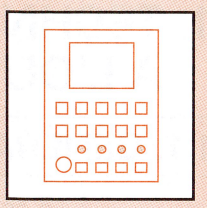
MAINTENANCE PRÉVENTIVE SYSTÉMATIQUE (fluides)

Nature	Indicateurs physiques	Périodicité	Opération effectuée par	
			Opérateur	Maintenance
Vérification niveau huile boîte de vitesses	Niveau	Mensuelle	●	
Complément	—			●
Vérification niveau graisse glissières	Niveau	Hebdomadaire	●	
Complément	—		●	
Vérification niveau fluide de coupe	Niveau	Quotidienne	●	
Complément	—		●	
Vérification qualité fluide de coupe	Aspect, odeur, effet	Hebdomadaire	●	
Changement				●

TABLEAU DE BORD

Date Heure	Nature	Indicateurs physiques	Intervention opérateur	Intervention service maintenance	ARRÊT MACHINE
10/2 16 h	Vibration du chariot porte-outil	Bruit Etat de surface		X	X
12/2 8 h	Complément fluide de coupe	Débit insuffisant	X		
13/2 8 h	Touche « départ cycle » sans effet	Pas de réponse		X	X
13/2 16 h	Vibration du porte-outil	Etat de surface	X		X
20/2 10 h	Changement porte-outil			X	X
Nombre d'interventions du service maintenance au cours du mois de : Février					3
Nombre d'heures d'immobilisation de la machine :					12

B Conduite de l'usinage



1. Techniques d'usinage à l'outil coupant



1.1. Génération des surfaces 100

1.2. Gestion de l'usinage 104
1.2.1. Opérations d'usinage 104
1.2.2. Décomposition de l'usinage 105
1.2.3. Groupement de surfaces 108
1.2.4. Réglages spécifiques d'usinage 109
1.2.5. Réglages géométriques du poste d'usinage 110
1.2.6. Procédures de réglage du couple outil/pièce 114

1.3. Relation outil → opération → forme générée 118

1.4. Système modulaire pour montage d'outils 128

2. Coupe des matériaux



2.1. Étude de l'outil de coupe 129
2.1.1. Géométrie de l'outil 129
2.1.2. Propriétés des matériaux de la partie active 134

2.2. Conditions de coupe 136
2.2.1. Efforts et puissance de coupe 136
2.2.2. Lubrification 138
2.2.3. Durée de vie des outils 138

3. Conditions de travail et prévention, ergonomie



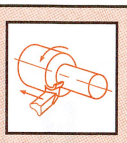
3.1. Limites d'intervention 142

3.2. Protection et recommandations 146

3.3. Environnement et conditions de travail 149
3.3.1. Bruit 149
3.3.2. Ambiances thermiques 150
3.3.3. Risques chimiques 151
3.3.4. Incendie et lieu de travail 152
3.3.5. Risques électriques 155

3.4. Ergonomie 156

1. TECHNIQUES D'USINAGE À L'OUTIL COUPANT



1.1. GÉNÉRATION DES SURFACES

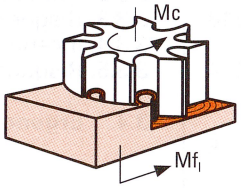
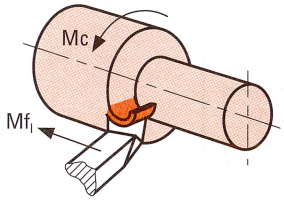
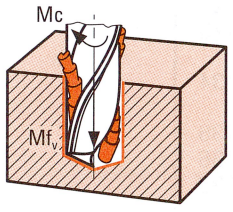
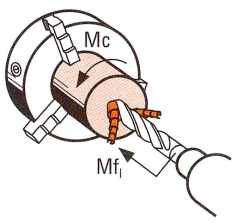
DÉFINITION DES MOUVEMENTS GÉNÉRATEURS

Le couple outil/pièce a pour objectif de générer des surfaces par enlèvement de matière (production de copeaux).

Dans le cas d'une génération simple, ce couple reçoit deux mouvements générateurs :

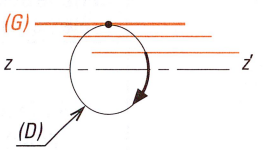
- le **mouvement de coupe** (Mc) animé d'une vitesse de coupe Vc (la plus grande) ;
- le **mouvement d'avance** (Mf) animé d'une vitesse d'avance Vf (la plus lente).

Selon les procédés d'usinage chacun de ces mouvements peut :
– être donné à l'outil ou à la pièce ;
– avoir des trajectoires de déplacement circulaire ou rectiligne ;
– disposer d'une ou plusieurs possibilités de déplacement en direction et sens.

Procédé d'usinage	Visualisation	Caractéristiques des mouvements générateurs
Fraisage sur fraiseuse CN ou conventionnelle ou conventionnelle à commandes assistées		Mc : circulaire donné à l'**outil** Mf_l : longitudinal rectiligne donné à la **pièce** ou à l'**outil** selon le type de machine Autres Mf disponibles : – Mf_t transversal ; – Mf_v vertical.
Tournage sur tour CN ou conventionnel ou conventionnel à commandes assistées		Mc : circulaire donné à la **pièce** Mf_l : longitudinal rectiligne donné à l'**outil** Autre Mf disponible : – Mf_t transversal.
Perçage		Sur perceuse sensitive : Mc : circulaire donné à l'**outil** ; Mf_v : vertical rectiligne donné à l'**outil** par l'opérateur.
		Sur tours : Mc : circulaire donné à la **pièce** ; Mf_l : longitudinal rectiligne donné à l'**outil** – automatique si l'outil est monté sur la tourelle porte-outil (tour CN ou tour conventionnel à commandes assistées) ; – manuel si l'outil est monté sur la poupée mobile (tour parallèle à charioter).

LIGNES FORMATRICES

Ce sont des lignes (droite ou cercle en général) utilisées dans les modèles géométriques de génération de surface.



Exemple ci-contre : modèle géométrique de génération d'une surface cylindrique.

On distingue :

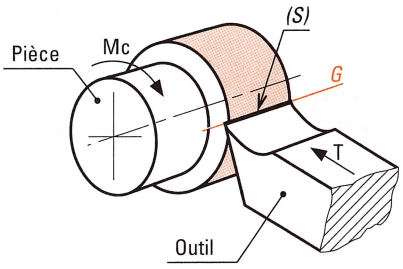
– la génératrice (*G*) : élément géométrique mobile dans le modèle ;

– la directrice (*D*) : élément géométrique fixe dans le modèle. Elle donne la direction du mouvement à la génératrice (support de son déplacement).

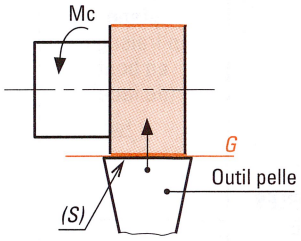
MODES DE GÉNÉRATION TRAVAIL DE FORME ET D'ENVELOPPE

Les modes de génération sont définis selon la matérialisation des lignes formatrices.

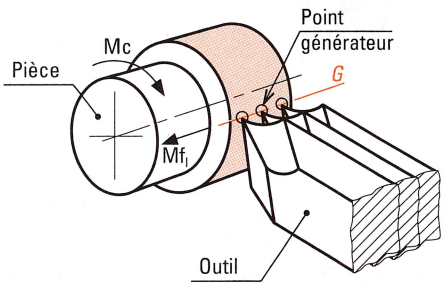
• **Génération** (ou travail) **de forme**



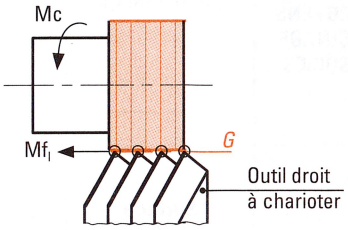
La forme de la génératrice *G* de la surface correspond à la forme de l'arête principale de coupe *S* de l'outil.



• **Génération** (ou travail) **d'enveloppe**



La forme de la génératrice *G* de la surface correspond à l'enveloppe des positions successives prises par le point générateur de l'outil, donc à la trajectoire du Mf donné à l'outil.

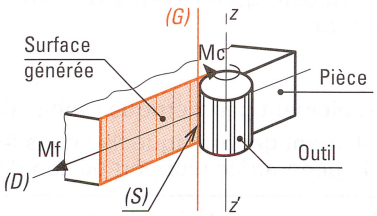
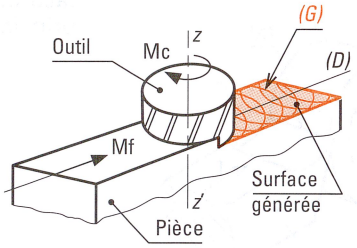
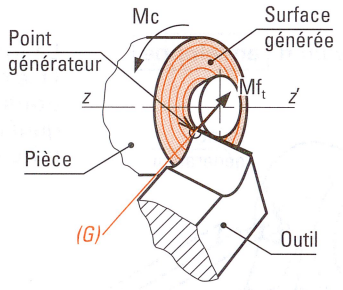
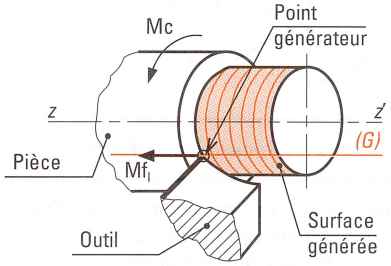
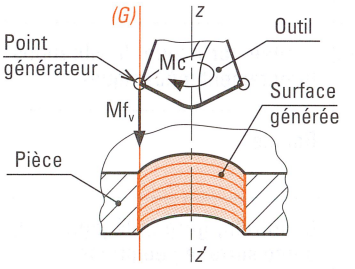


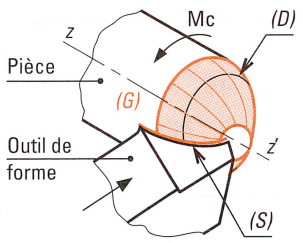
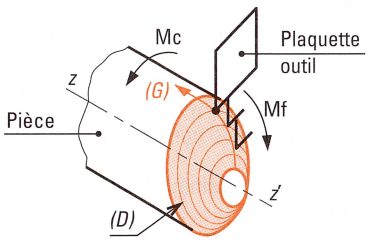
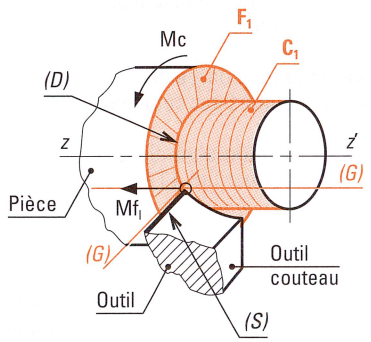
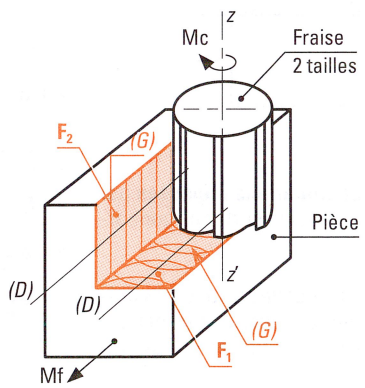
ANALYSE COMPARATIVE SUCCINCTE DES MODES DE GÉNÉRATION

Élément d'analyse	Génération de forme	Génération d'enveloppe
Précision de la forme obtenue sur la surface générée.	Plus ou moins précise. Elle dépend de la rectitude de *S* et parfois de sa position.	Précise. Elle dépend de la qualité géométrique de la machine et parfois d'un réglage géométrique (*voir p. 110 à 113*).
Dimension de la surface générée.	Limitée car risque de vibrations (broutement mécanique).	Sans limite, sous réserve d'un montage adapté.
Temps de coupe (Tc)	Rapide.	Plus important. Il dépend de la valeur de l'avance *f*.
Typologie des surfaces générées.	Chanfrein, gorge, dégagement, petite surface peu précise.	Toutes les autres surfaces élémentaires ou associées.

Génération des surfaces

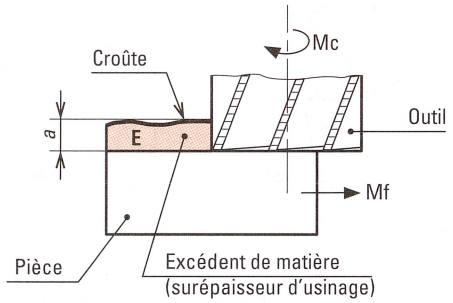
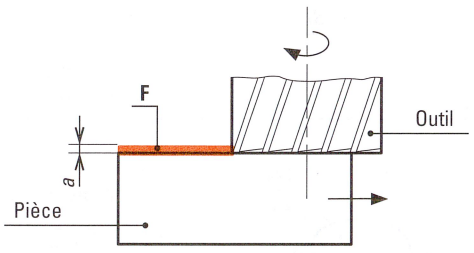
EXEMPLES DE GÉNÉRATION DE SURFACES ÉLÉMENTAIRES COURANTES AVEC LIGNES FORMATRICES ET MOYENS D'USINAGE ASSOCIÉS

Surface générée élémentaire	Schéma couple outil/pièce avec lignes formatrices associées	Matérialisation des lignes formatrices
Surface plane en fraisage : surfaçage en roulant (de profil) 		*G* : arête principale de coupe (*S*) *D* : trajectoire rectiligne du mouvement d'avance Mf *zz'* : axe broche **forme** / enveloppe
Surface plane en fraisage : en bout (de face) 		*G* : trajectoire circulaire du mouvement de coupe Mc *D* : trajectoire rectiligne du mouvement d'avance Mf *zz'* : axe broche forme / **enveloppe**
Surface plane en tournage par dressage		*G* : trajectoire rectiligne du mouvement d'avance Mf$_t$ *D* : trajectoire circulaire du mouvement de coupe Mc *zz'* : axe broche forme / **enveloppe**
Surface cylindrique extérieure en tournage par chariotage cylindrique		*G* : trajectoire rectiligne du mouvement d'avance Mf$_l$ *D* : trajectoire circulaire du mouvement de coupe Mc *zz'* : axe broche forme / **enveloppe**
Surface cylindrique intérieure en perçage		*G* : trajectoire rectiligne du mouvement d'avance Mf$_v$ *D* : trajectoire circulaire du mouvement de coupe Mc *zz'* : axe broche forme / **enveloppe**

	Forme(s) générée(s)	Schéma couple outil/pièce avec lignes formatrices associées	Matérialisation des lignes formatrices
GÉNÉRATION DE SURFACES ÉLÉMENTAIRES DE FORME PARTICULIÈRE	**Arrondi** en tournage à l'outil de forme		*G* : arête principale de coupe (*S*) *D* : trajectoire circulaire du mouvement de coupe Mc *zz'* : axe broche forme | enveloppe
	Arrondi en tournage à l'outil à copier sur commande numérique		*G* : trajectoire circulaire du mouvement d'avance Mf *D* : trajectoire circulaire du mouvement de coupe Mc *zz'* : axe broche forme | enveloppe
GÉNÉRATION DE SURFACES ÉLÉMENTAIRES ASSOCIÉES COURANTES AVEC LIGNES FORMATRICES ET MOYENS D'USINAGE ASSOCIÉS	**Épaulement** (*voir p. 16*) réalisé en tournage		F_1 : surface plane *G* : arête principale de coupe de l'outil *D* : trajectoire circulaire du mouvement de coupe Mc *zz'* : axe broche forme | enveloppe C_1 : surface cylindrique forme | enveloppe (*voir p. 102*)
	Épaulement (*voir p. 16*) réalisé en fraisage		F_1 : surface plane réalisée en roulant (fraisage de profil) forme | enveloppe (*voir p. 102*) F_2 : surface plane réalisée en bout (fraisage de face) forme | enveloppe (*voir p. 102*)

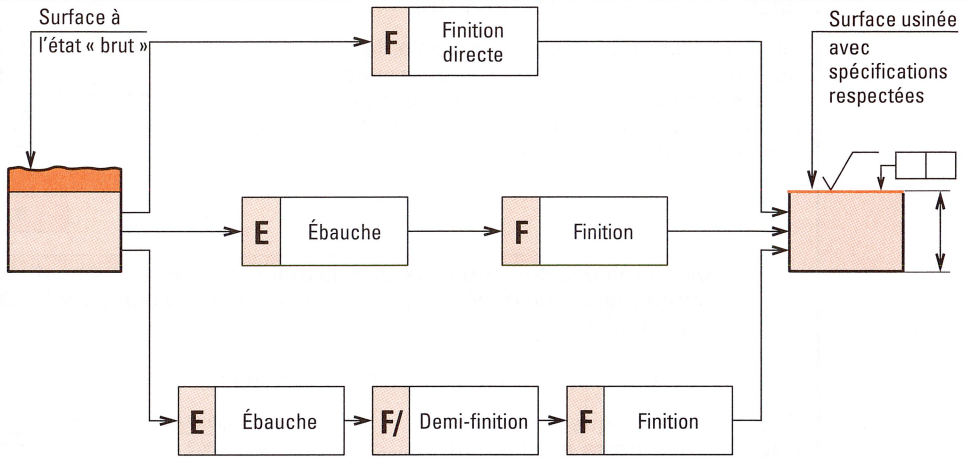
1.2. GESTION DE L'USINAGE

1.2.1. OPÉRATIONS D'USINAGE

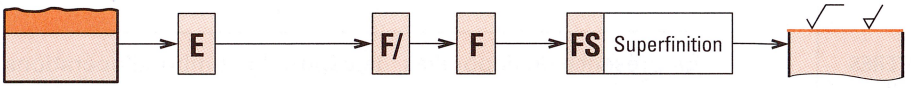
Nature	Rôles	Principales caractéristiques du poste d'usinage
ÉBAUCHE E	 – **Éliminer** la croûte superficielle liée au procédé d'obtention du brut par une opération d'écroûtage. – **Éliminer** les fortes surépaisseurs d'usinage (excédent important de matière).	– Machine puissante et robuste. – Appareillages porte-pièce et porte-outil rigides avec serrages conséquents. Porte-à-faux réduits. – Outil : matière adaptée, géométrie et formes spécifiques : grosse denture, denture brise-copeaux, angle de coupe γ négatif... – Conditions de coupe courantes : • vitesse de coupe suivant paramètres ; • **f = 0,2 à 0,3 mm** ; • **$a \geqslant 2$ mm**.
DEMI-FINITION F/	– **Préparer une finition précise** en corrigeant les défauts de forme résultant d'une ébauche importante. Cela permet d'assurer une surépaisseur constante et faible en finition (condition d'autant plus nécessaire que la finition est précise). – **Réaliser une finition partielle** (une partie des spécifications imposées sont respectées par cette opération). *Exemple :* les tolérances de position d'un alésage sont réalisées en **F/** si ce dernier est fini à l'alésoir monté flottant.	Mêmes caractéristiques qu'en finition (voir ci-dessous).
FINITION F	 – **Respecter toutes les spécifications imposées** par le dessin de définition sur la ou les surfaces concernées par l'opération. – **Remarque :** le respect d'un état de surface très précis peut imposer un usinage par abrasion (rectification...). Ce type de finition est parfois désigné superfinition.	– Machine présentant des qualités géométriques précises. – Appareillages porte-pièce et porte-outil avec appuis précis et serrages plus modérés (faible effort de coupe). – Outil : géométrie et formes spécifiques : dentures fines, forme de bec adaptée, λ_s positif, κ_r proche de 90°... – Conditions de coupe courantes : • vitesse de coupe majorée en finition ; • **$f_{mini} >$ copeau mini** *(voir p. 71)* ; • **a = 0,2 à 0,5 mm** à l'outil coupant ; • **a = 0,05 mm** en rectification.

1.2.2. DÉCOMPOSITION DE L'USINAGE

DÉMARCHES COURANTES



Cas particulier : lorsqu'un état de surface est trop précis pour être obtenu à l'outil coupant, la démarche se termine par une opération de superfinition : FS (rectification...).



CRITÈRES DE CHOIX DE LA DÉMARCHE

• Précision des spécifications

DIMENSIONNELLES

Qualité	*IT*	E	F/	F
⩾ 13	> 0,5			
9-10-11	0,5 > *IT* > 0,05			
8-7	*IT* < 0,05			

D'ÉTAT DE SURFACE

Rugosité	E	F/	F
⩾ 3,2 / Ra 3,2			
⩾ 0,8 / Ra 0,8			
0,4 / ⩽ Ra 0,4			

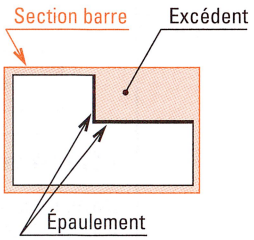
Si la précision des spécifications ↗, le nombre d'opérations ↗.

• Nature du brut

DÉBITÉ DANS LA BARRE

Ce type de brut entraîne, en général, des volumes d'excédent de matière importants (fortes surépaisseurs d'usinage).

Exemple ci-contre : usinage d'un épaulement en pleine matière.



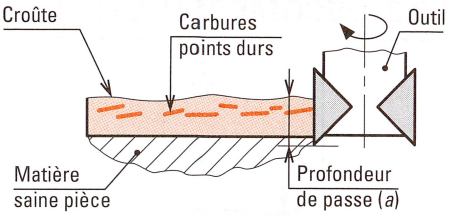
Si le volume de l'excédent de matière ↗, le nombre d'opérations ↗.

CRITÈRES DE CHOIX DE LA DÉMARCHE

• Nature du brut

BRUT AVEC CROÛTE EXTÉRIEURE

Les bruts laminés, moulés en sable, forgés présentent une croûte extérieure avec localisation de points durs résultant de phénomènes mécaniques ou thermiques liés au mode d'obtention.

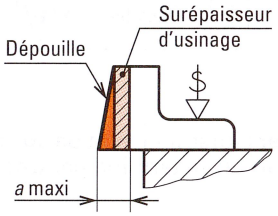


$a_{mini} > 1{,}5$ mm

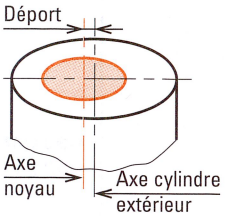
Pour éliminer cette croûte (assainir la matière), une opération d'ébauche (écroûtage) est en général à prévoir avec un outil à plaquette(s) carbure rapportée(s).

BRUT AVEC DÉPOUILLES (**1**), DÉPORT DE NOYAU (**2**)

Ces caractéristiques rencontrées sur les bruts moulés en sable entraînent d'importantes variations du copeau, donc des conditions de coupe délicates en ébauche.



1



2

En présence de dépouilles, de déport, le nombre d'opérations ↗.

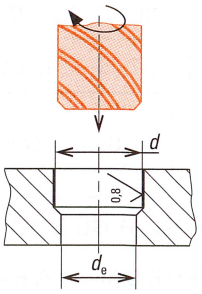
• Déformabilité de la pièce

Elle est directement liée à l'intensité des efforts de coupe qui devront être réduits.

Si la déformabilité de la pièce ↗, le nombre d'opérations ↗.

• Outil

La nature et la forme de l'outil conditionnent le nombre d'opérations.
Exemple : l'utilisation d'un alésoir de finition (sans coupe centrale) entraîne au minimum une opération préalable au perçage (diamètre d_e).



Selon la nature et la forme de l'outil, le nombre d'opérations varie.

• Génération de surface

Dans le cas de génération de surfaces élémentaires associées (*exemple :* épaulement, *voir p. 103*), la prédominance du travail d'enveloppe sur le travail de forme réduit les pressions de coupe et améliore les conditions de travail.

Si prédominance du travail d'enveloppe, le nombre d'opérations ↘.

B

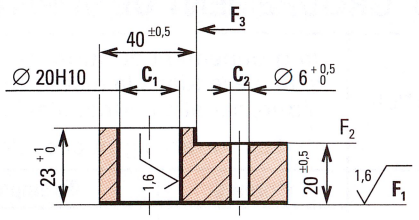
EXEMPLES DE DÉCOMPOSITION DE L'USINAGE

• Exemple 1 : articulation

– Brut dans la barre laminée.

– Matière : S275.

– Fabrication unitaire.



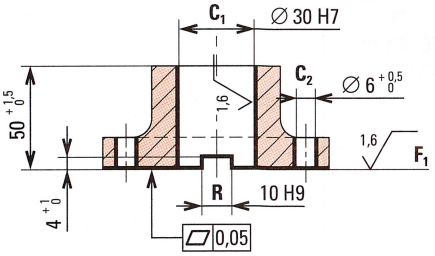
Surface(s)	Désignation des opérations	Nb d'op.	Outil	Justification
F_1	Surfaçages en bout – en ébauche – en finition	2	Fraise 1 taille à surfacer en acier rapide	– Écroûtage 1,6 – Obtention 1,6
F_2 F_3	Surfaçages combinés à prédominance en bout en finition	1	Fraise 2 tailles en acier rapide	– Spécifications peu précises – Excédent de matière compatible
C_1	– Centrage – Perçage ébauche (avant-trou) – Perçage ébauche – Perçage en finition	4	Foret à pointer Foret hélicoïdal Foret hélicoïdal Foret aléseur	– Fabrication unitaire } Éliminer l'excédent de matière – Obtention ∅ 20H10, 1,6
C_2	– Centrage – Perçage finition	2	Foret à pointer Foret hélicoïdal	– Fabrication unitaire – Spécification peu précise

• Exemple 2 : support

– Brut moulé en sable
∅ C_1 noyauté.

– Matière : FGS 600-2.

– Fabrication petite série
renouvelable 100 pièces/mois/3 ans.



Surface(s)	Désignation des opérations	Nb d'op.	Outil	Justification
F_1	Dressage – en ébauche – en finition	2	Outil à dresser en carbure	– Écroûtage 1,6 – Obtention 1,6, ▱ 0,05
C_1	Alésage – en ébauche – en demi-finition – en finition	3	Outils à aléser préréglés en carbure	– Écroûtage, déport – Correction défauts ébauche – Obtention ∅ 30H7, 1,6
C_2	Perçage en finition	1	Foret hélicoïdal	Spécification peu précise
R	Rainurage en finition	1	Fraise 3 tailles monobloc	Outil spécifique

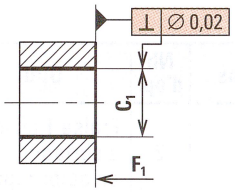
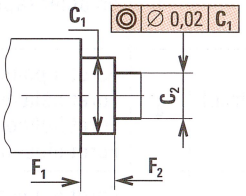
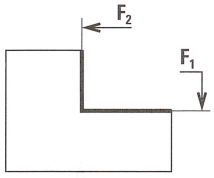
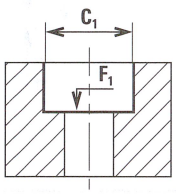
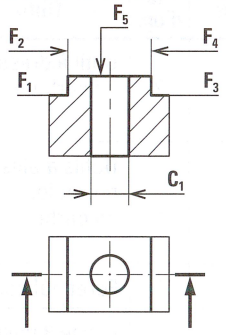
1.2.3. GROUPEMENT DE SURFACES

DÉFINITION

Un groupement de surfaces est un ensemble de surfaces réalisées sans démontage de la pièce (dans la même sous-phase). C'est une solution simple et souvent économique, car elle permet d'éviter l'utilisation de porte-pièces précis et coûteux.

⚠ Les surfaces groupées doivent toutes être accessibles à l'outil.

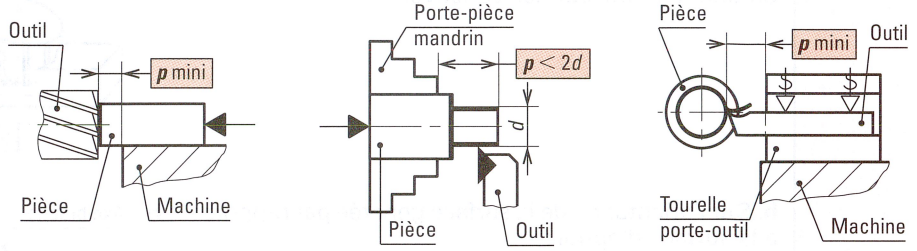
CRITÈRES DE DÉTERMINATION

Critères	Exemples	Commentaires	Groupement
Précision des spécifications	D'orientation 	L'obtention de la perpendicularité sera beaucoup plus aisée si on réalise les surfaces F_1 et C_1 sans démonter la pièce.	F_1 C_1
	De position 	L'obtention de la coaxialité sera beaucoup plus aisée et plus économique (utilisation d'un mandrin 3 mors durs) si on réalise les surfaces cylindriques C_1 et C_2 sans démonter la pièce.	C_1 C_2 F_1 F_2
Technologiques	Épaulement (*p. 16*) 	Certaines surfaces ne peuvent être réalisées séparément. Elles sont groupées par obligation technologique. *Exemples :* – Les surfaces F_1 et F_2 de l'épaulement seront réalisées en même temps par une fraise 2 tailles (*voir génération épaulement p. 103*). – Les surfaces C_1 et F_1 du lamage seront réalisées dans la même opération par une fraise à lamer (*voir p. 125*).	F_1 F_2
	Lamage (*p. 16*) 		C_1 F_1
Type de machine : utilisation rationnelle des moyens d'usinage	 Série unique : 500 pièces	Sur une machine à commande numérique, on réalisera toutes les surfaces puisqu'elles sont toutes accessibles aux outils.	F_1 F_2 F_3 F_4 F_5 C_1
		Dans le cas d'une fabrication sérielle avec machines conventionnelles équipées de butées, les surfaces F_5 et C_1 seront réalisées séparément. – Phase 20 : fraisage F_5 – Phase 30 : fraisage tenon → – Phase 40 : perçage C_1.	F_1 F_2 F_3 F_4

1.2.4. RÉGLAGES SPÉCIFIQUES D'USINAGE

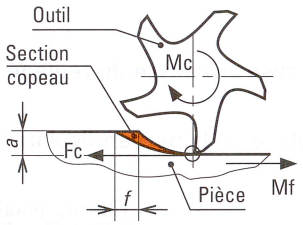
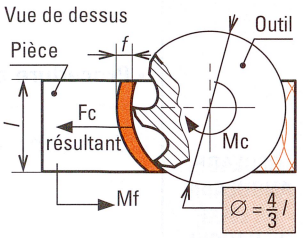
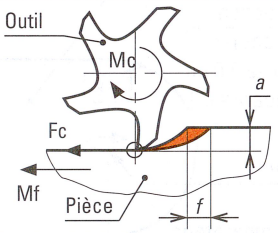
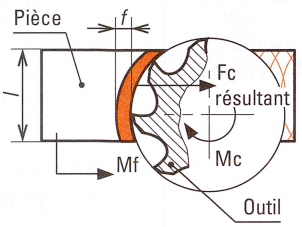
CAS GÉNÉRAL

Réglage du porte-à-faux (***p***) minimum dans les différentes liaisons du système de fabrication afin de rendre le couple outil/pièce plus rigide.
Cette exigence conditionne la qualité des surfaces générées (absence de défauts de forme liés aux déformations) et la sécurité.



EN FRAISAGE

En fraisage, selon le positionnement de l'outil par rapport à la pièce, on travaille en opposition ou en avalant (ou concordance).

Analyse succincte	Fraisage en roulant	Fraisage en bout
En opposition Conditions de coupe défavorables (pression de coupe importante, usure accélérée, altération de l'état de surface…). Rattrapage automatique du jeu dans le système vis-écrou du Mf utilisé.		
En avalant ou concordance Conditions de coupe plus favorables (état de surface amélioré, durée de vie de l'outil prolongée…). Pas de rattrapage de jeu du système vis-écrou du Mf utilisé.		

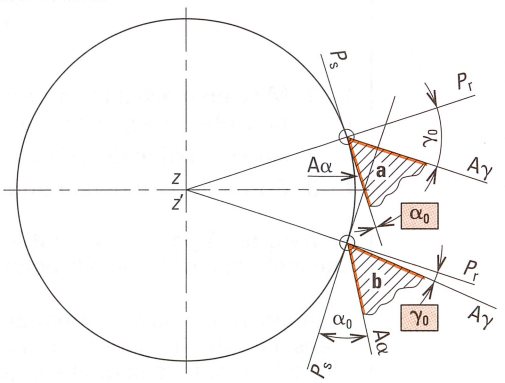
EN TOURNAGE

Réglage du point générateur utilisé de l'outil à hauteur d'axe broche *zz'* afin de conserver la valeur angulaire des angles de face γ_0, α_0 (*voir p. 131*).

a. Point générateur au-dessus de l'axe *zz'*.
Conséquence : $\alpha_0 \rightarrow 0$ risque de talonnage de l'outil sur la surface générée.

b. Point générateur en dessous de l'axe *zz'*.
Conséquence $\gamma_0 \searrow 0$ risque de perturbation dans la formation et le dégagement des copeaux.

Remarques : autres raisons justifiant ce réglage :
– imprécision dimensionnelle dans certains cas,
– excédent ou arrachement de matière en dessage.



1.2.5. RÉGLAGES GÉOMÉTRIQUES DU POSTE D'USINAGE

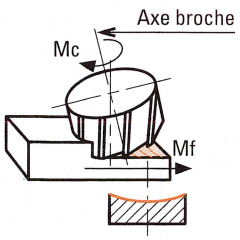
FRAISAGE

RÉGLAGE ANGULAIRE DE L'AXE DE BROCHE SUR FRAISEUSE UNIVERSELLE

• **Influences du réglage**

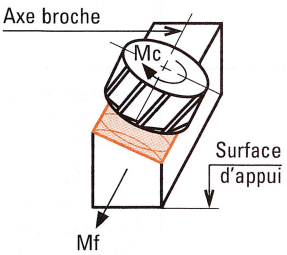
a. Sur la planéité de la surface générée : obtention d'une surface concave.

a



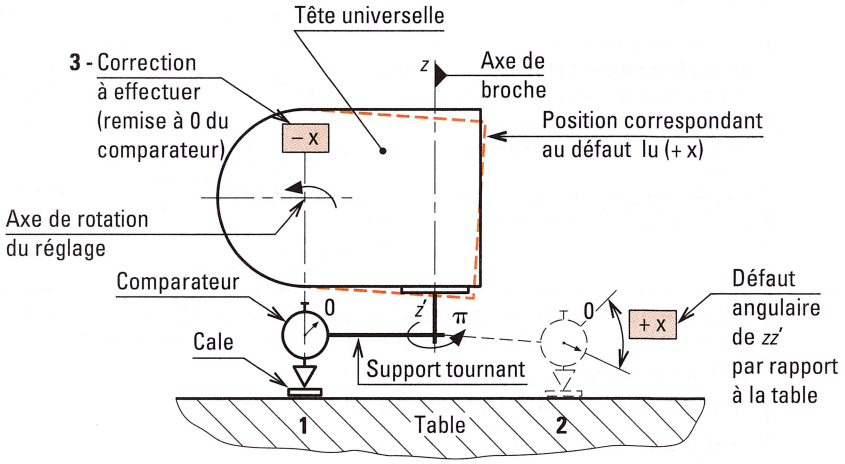
b. Sur l'orientation de la surface générée par rapport à la surface d'appui : obtention d'une surface non parallèle à la surface d'appui.

b



• **Procédure et mise en œuvre du réglage**

Exemple : réglage de la perpendicularité (⊥) de la broche par rapport à la table.



1 Mise en place du comparateur dans l'alignement de l'axe de rotation du réglage puis étalonnage (mise à zéro).

2 Après rotation de π (180°) du support tournant et lecture du défaut angulaire (+ x).

3 Correction du défaut angulaire par une remise à zéro du comparateur (– x).

Remarque : à partir d'une table sinus on peut, en appliquant cette procédure, régler une inclinaison de l'axe broche.

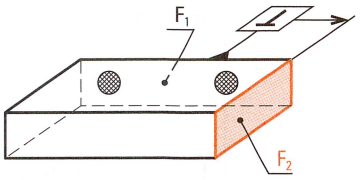
Sur une machine à commande numérique ou conventionnelle à commandes assistées, ce réglage géométrique est inutile puisque l'axe de broche est perpendiculaire à la table, aux qualités géométriques de la machine près.

FRAISAGE

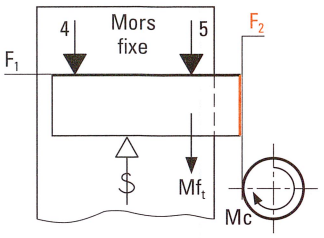
RÉGLAGE ANGULAIRE DU MORS FIXE D'UN ÉTAU

• Influence du réglage

Sur l'orientation de la surface générée (F_2) par rapport à la surface en appui sur le mors fixe (F_1).



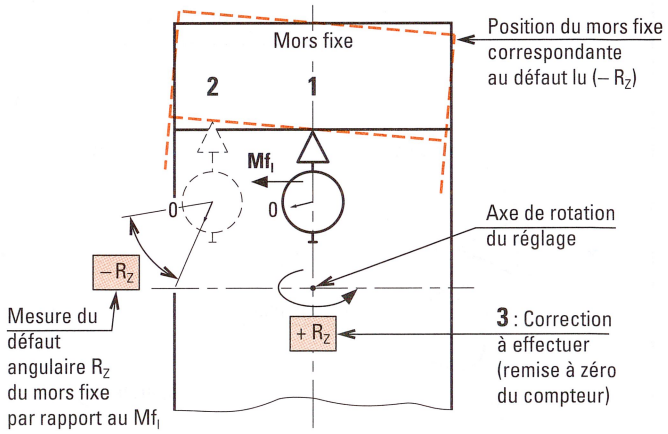
Situation d'usinage pour obtention de la perpendicularité de F_2 par rapport à F_1.



B

• Procédure et mise en œuvre du réglage

Exemple : réglage du parallélisme (//) du mors fixe par rapport au Mf_l pour obtenir la perpendicularité de F_2 par rapport à F_1.



1 Mise en place du comparateur dans l'alignement de l'axe de rotation du réglage (milieu mors fixe) puis étalonnage (mise à zéro).

2 Déplacement du comparateur sur le mors avec le Mf_l puis lecture du défaut angulaire (– R_Z).

3 Correction du défaut angulaire par une remise à zéro du comparateur (+ R_Z).

Remarque : à partir d'une barre sinus on peut, en appliquant cette procédure, régler une inclinaison du mors fixe.

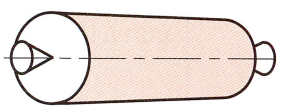
TOURNAGE

RÉGLAGE DE LA POSITION TRANSVERSALE DE LA CONTRE-POUPÉE (POUPÉE MOBILE)

• Influences du réglage

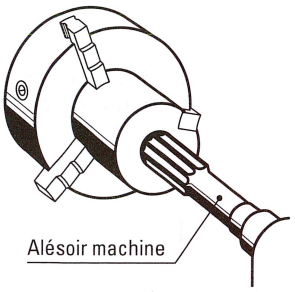
a. Sur la cylindricité de la surface générée en montage entre pointes.

a



b. Sur la qualité géométrique et la précision d'un perçage ou d'un alésage réalisé à partir d'un outil monté sur la contre-poupée.

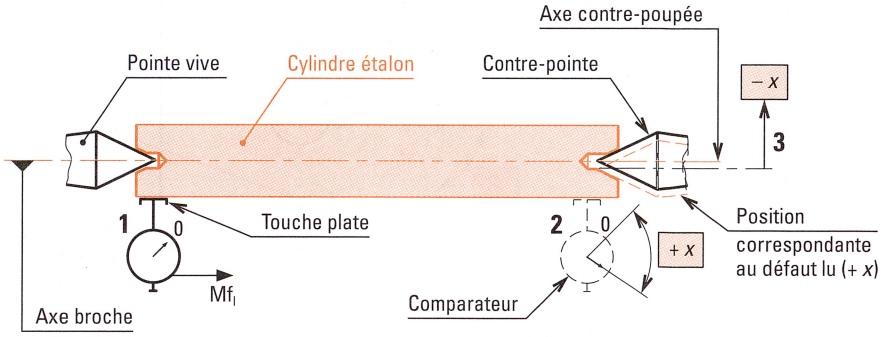
b



• Procédure et mise en œuvre du réglage

Exemple : réglage de la position transversale de l'axe de la contre-poupée sur l'axe de la broche au cylindre étalon.

Vue de dessus



1 Mise en place du comparateur à touche plate sur le cylindre étalon face à la pointe vive puis étalonnage (mise à zéro).

2 Déplacement du comparateur sur le cylindre étalon avec le Mf_1 puis lecture du défaut (+ x).

3 Correction du défaut par une remise à zéro du comparateur (– x).

Sur les tours à commande numérique ou conventionnels à commandes assistées, ce réglage géométrique est inutile puisque l'axe de la contre-poupée est coaxial à l'axe de la broche, aux qualités géométriques de la machine près.

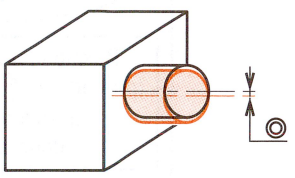
TOURNAGE

RÉGLAGE D'UN MANDRIN À 4 MORS INDÉPENDANTS

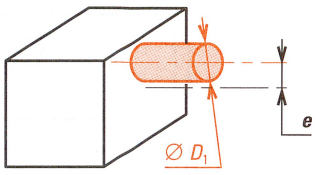
• **Influence du réglage**

Sur la position (**a** : coaxialité, **b** : excentration) de l'axe de la surface générée par rapport aux surfaces de reprise (en général prismatiques).

a

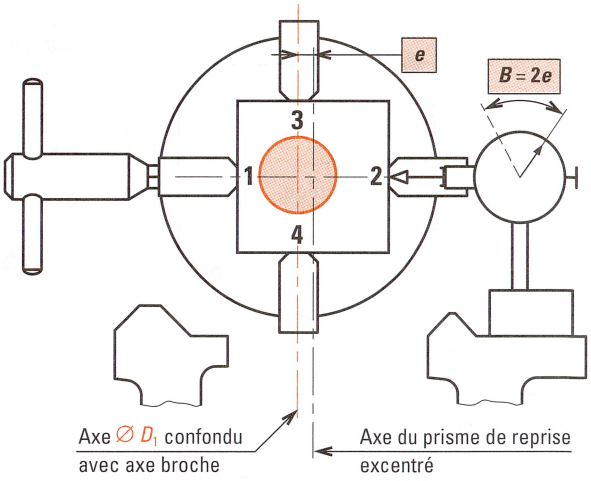


b



• **Procédure et mise en œuvre du réglage**

Exemple : réglage d'une excentration (***e***) sur un axe.



– Réglage de l'axe du prisme de reprise sur l'axe de la broche : le comparateur est à zéro après rotation de **1** à **2** et **3** à **4**.

– Réglage de l'excentration ***e*** . Le comparateur placé en **2** mesure un déplacement :

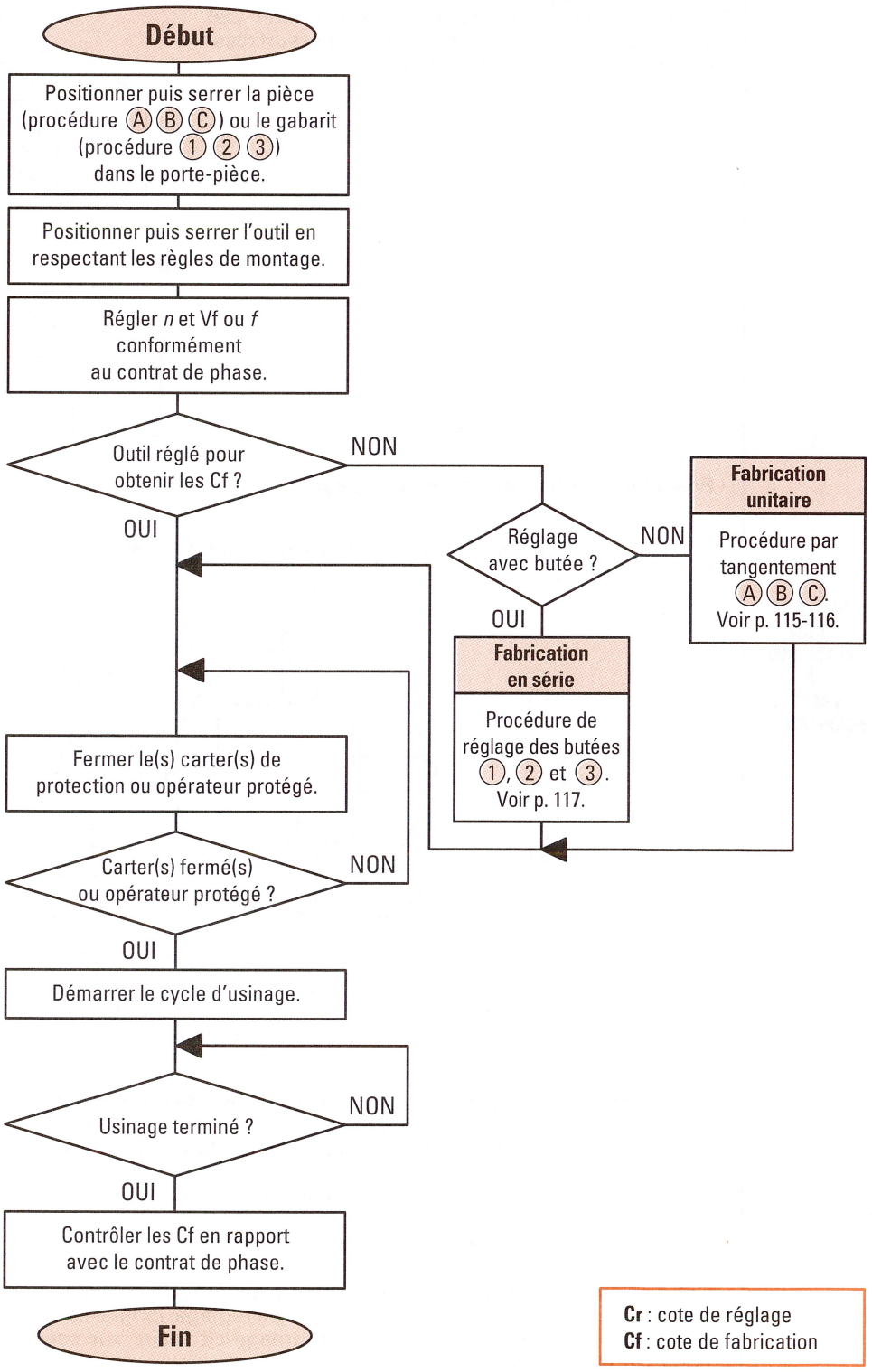
B = 2 *e*

Attention ! La pièce doit être serrée en fin de réglage.

Selon la longueur de la surface cylindrique générée, la précision demandée et le nombre de pièces à usiner, cette opération de réglage, longue et délicate, peut être remplacée par une opération de contournage circulaire sur centre d'usinage à commande numérique.

1.2.6. PROCÉDURES DE RÉGLAGE DU COUPLE OUTIL/PIÈCE

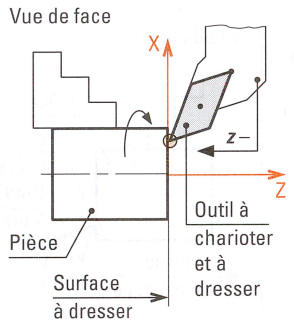
PROCÉDURE DE MISE EN ŒUVRE D'UNE OPÉRATION D'USINAGE



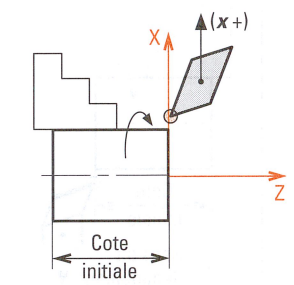
Exemple : opération de **dressage** réalisée sur machine conventionnelle nouvelle génération en **mode manuel** ou **mode piloté**. Obtention de Cf_1.

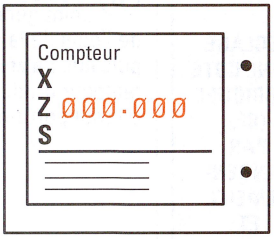
Procédure

A Après mise en rotation de la pièce, **tangentement** du point générateur de l'outil (déplacement *z*–) sur le bord de la surface à dresser.

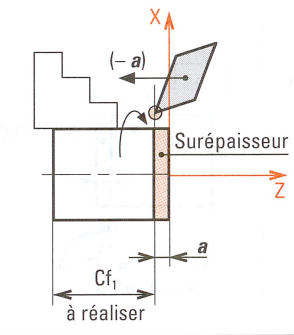


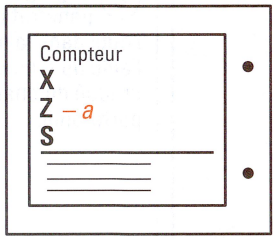
B **Dégagement** du point générateur de l'outil de la surface (déplacement *x* +) puis **mise à zéro** du compteur sur l'axe **Z**.





C **Réglage** de la pénétration ***a**** de l'outil dans la matière à l'aide de la « visu » en rentrant (– ***a***) au compteur de l'axe **Z**.





* Pour le calcul de la pénétration ***a***, on applique en général la relation suivante :

a = cote initiale – **Cf** moyenne à réaliser

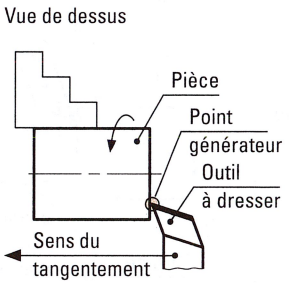
Remarque :
Cette procédure est applicable à toutes les autres opérations d'usinage. Elle est surtout employée en fabrication unitaire.

RÉGLAGE D'UNE COTE FABRIQUÉE (Cf) PAR TANGENTEMENT ET UTILISATION D'UN TAMBOUR GRADUÉ

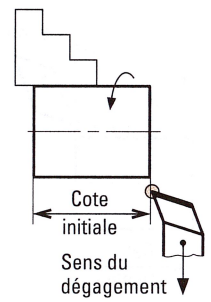
Exemple : opération de **dressage** réalisée sur machine conventionnelle (tour parallèle à charioter). Obtention de Cf_1.

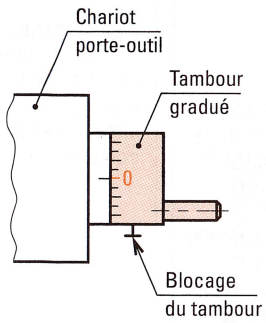
Procédure

A Après mise en rotation de la pièce, **tangentement** du point générateur de l'outil sur le bord de la surface à dresser à l'aide du chariot porte-outil.

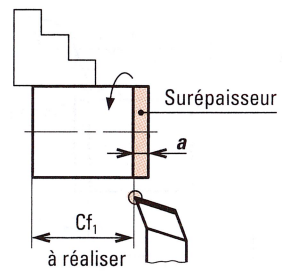


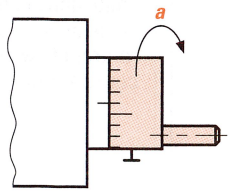
B **Dégagement** du point générateur de l'outil de la surface puis **mise à zéro** du tambour gradué du chariot porte-outil.





C **Réglage** de la pénétration **a*** de l'outil dans la matière à l'aide du tambour gradué du chariot porte-outil.





* Pour le calcul de la pénétration ***a***, on applique en général la relation suivante :

a = cote initiale – **Cf** moyenne à réaliser

Remarque :
Cette procédure est applicable à toutes les autres opérations d'usinage. Elle est surtout employée en fabrication unitaire.

Exemple : opération de **dressage** en fabrication petite série sur un tour parallèle d'opération équipé d'une butée de broche et d'une butée de banc longitudinale (*voir p. 39*). Obtention de Cf_1.

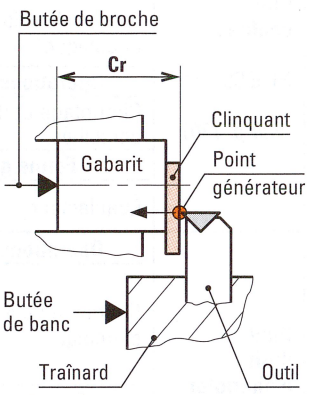
Procédure

1 Réglage (Cr)

– Mise en place du gabarit (voir remarques) contre la butée de broche puis serrer les mors.

– Mise en contact du traînard sur la butée de banc (longitudinale).

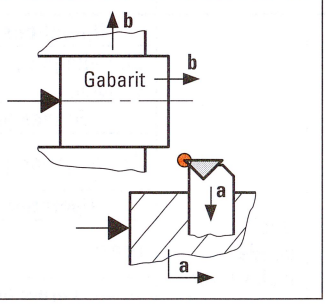
– Réglage à l'aide du chariot porte-outil de l'ajustement glissant juste du clinquant entre le gabarit et le point générateur de l'outil.



2

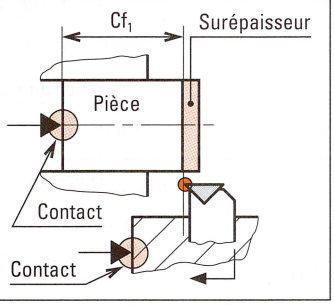
a → **Dégagement** du traînard et de l'outil.

b → **Démontage** du gabarit.



3 – **Positionnement** et **serrage** de la pièce dans le porte-pièce en contact avec la butée de broche.

– Mise en contact du traînard sur la butée de banc.



Remarques :

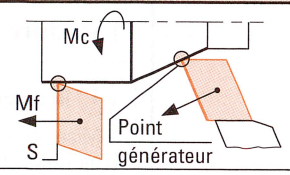
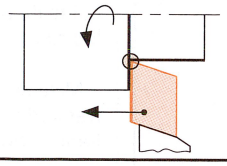
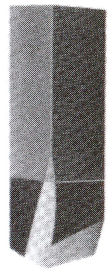
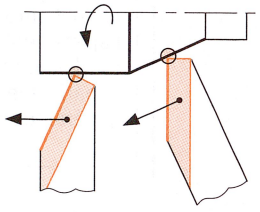
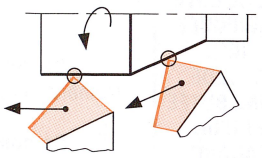
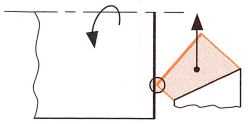
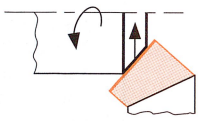
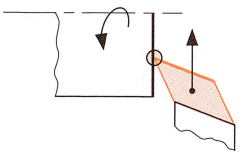
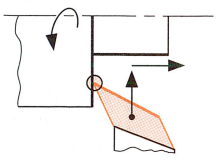
– le gabarit (ou master) est une interface de réglage qui simule les surfaces du référentiel et les surfaces usinées de la pièce. Sa longueur additionnée à l'épaisseur du clinquant matérialise la valeur de la cote de réglage (**Cr**) calculée par le bureau des méthodes (**BM**) à partir de la cote fabriquée à réaliser ;

– le réglage de la butée de banc peut également se réaliser par usinage d'une pièce de réglage en appliquant la procédure par tangentement (*voir p. 116*).

1.3. RELATION OUTIL → OPÉRATION → FORME GÉNÉRÉE

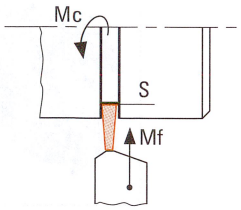
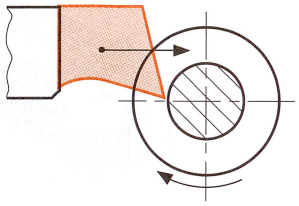
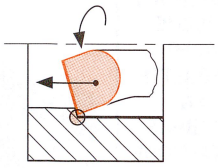
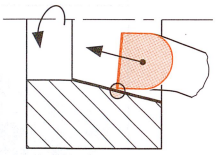
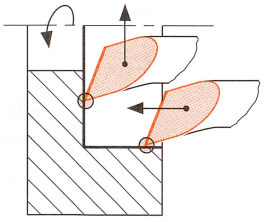
TOURNAGE

OUTILS À TRANCHANT UNIQUE EN ACIER RAPIDE

Visualisation (doc. RKB)	Identification de l'outil	Opérations réalisées	Schéma d'usinage couple outil/pièce
	Outil **couteau** NF E 66-363 *(voir p. 130)*	Chariotage cylindrique et conique **Formes générées** Arbre cylindrique et conique **Opérations réalisées** Chariotage et dressage combinés **Forme générée** Épaulement	 
	Outil **droit à charioter** NF E 66-361	**Opérations réalisées** Chariotage cylindrique et conique **Formes générées** Arbre cylindrique et conique	
	Outil **coudé à charioter** NF E 66-362	**Opérations réalisées** Chariotage cylindrique et conique **Formes générées** Arbre cylindrique et conique **Opération réalisée** Dressage **Forme générée** Plan **Opération réalisée** Chanfreinage **Forme générée** Chanfrein	  
	Outil **à dresser les angles** NF E 66-364	**Opération réalisée** Dressage **Forme générée** Plan **Opérations réalisées** Dressage et chariotage combinés **Forme générée** Épaulement	 

TOURNAGE

OUTILS À TRANCHANT UNIQUE EN ACIER RAPIDE (suite)

Visualisation (doc. RKB)	Identification de l'outil	Opération réalisée	Schéma d'usinage couple outil/pièce
	Outil **à saigner** NF E 66-366	Rainurage circulaire de petite dimension **Formes générées** – Gorge – Dégagement	
	Outil **à tronçonner** NF E 66-368	**Opération réalisée** Tronçonnage **Forme générée** Débit de pièce dans une barre en laminé ou en étiré	
	Outil **à aléser** NF E 66-370	**Opération réalisée** Alésage à partir d'un trou brut ou ébauché **Forme générée** Alésage débouchant	
		Opération réalisée Alésage conique à partir d'un trou brut ou ébauché **Forme générée** Alésage conique	
	Outil **à aléser et à dresser** NF E 66-371	**Opérations réalisées** Alésage et dressage combinés à partir d'un trou brut ou ébauché **Forme générée** Lamage	

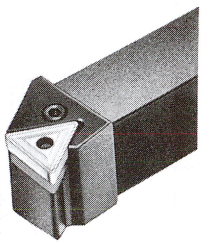
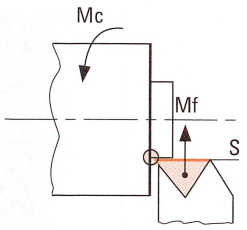
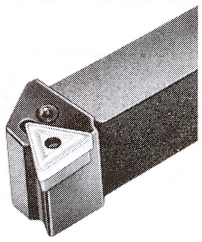
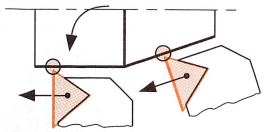
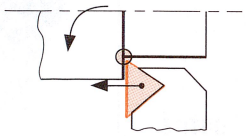
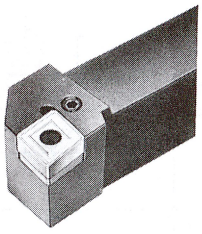
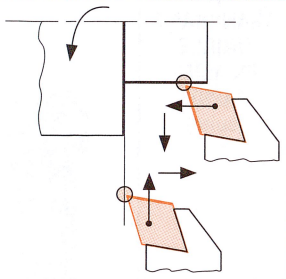
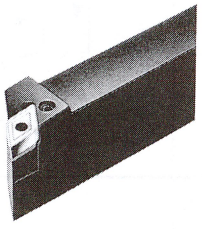
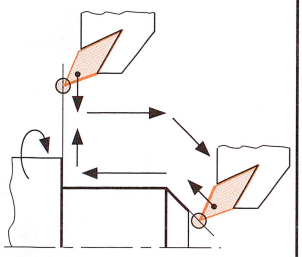
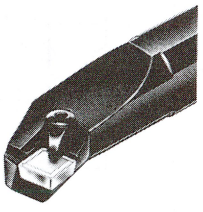
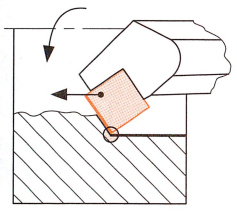
Remarque : outil de forme pour rayons... *voir p. 103.*

B

Relation outil → opération → forme générée

OUTILS À TRANCHANT UNIQUE AVEC PLAQUETTE EN CARBURE MÉTALLIQUE

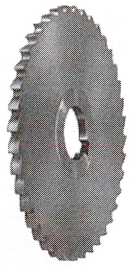
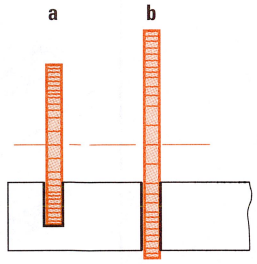
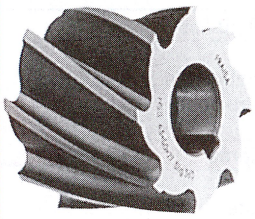
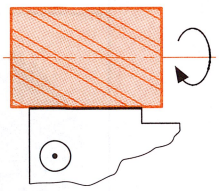
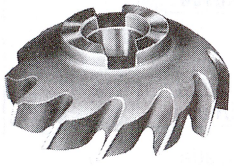
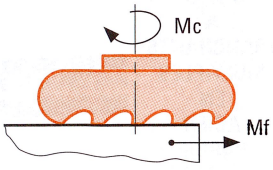
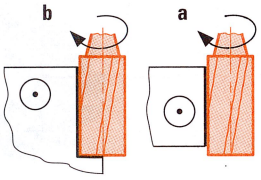
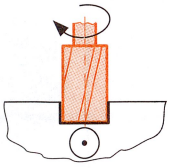
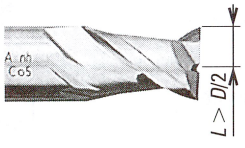
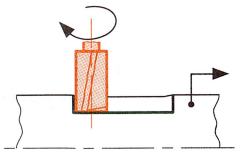
TOURNAGE

Visualisation (doc. Sandvik Coromant)	Identification de l'outil	Opération réalisée	Schéma d'usinage couple outil/pièce
	Outil **à dresser** • Porte-plaquette PTFNR/L (ISO, Coromant) • Plaquette type TNM	Dressage **Forme générée** Plan	
	Outil **couteau** • Porte-plaquette PTGNR/L • Plaquette type TNM	**Opération réalisée** Chariotage cylindrique ou conique **Forme générée** Arbre cylindrique ou conique	
		Opérations réalisées Chariotage et dressage combinés **Forme générée** Épaulement	
	Outil **à charioter** et **à dresser** • Porte-plaquette PCLNR/L • Plaquette type CNM	**Opérations réalisées** Chariotage et dressage combinés **Forme générée** Épaulement	
	Outil **à copier** • Porte-plaquette PDJNR/L • Plaquette type DNM	**Opération réalisée** Cycle de copiage **Formes générées** – Chanfrein – Épaulement	
	Outil **à aléser** (ou barre d'alésage monobloc) • Porte-plaquette R/L • Plaquette type TPM, SPM, SPU…	**Opération réalisée** Alésage à partir d'un trou noyauté **Forme générée** Alésage	

Remarque : pour l'**outil à fileter**, *voir p. 126.*

FRAISAGE

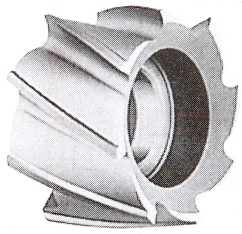
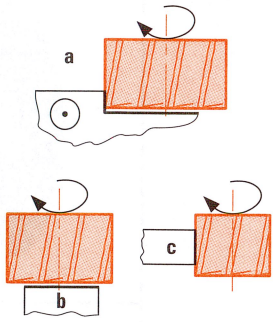
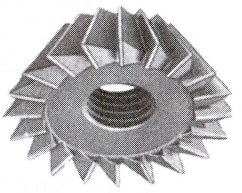
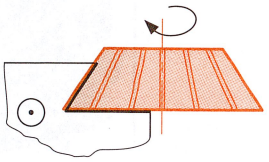
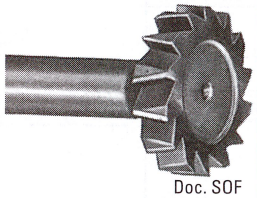
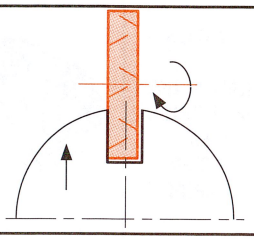
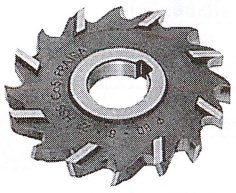
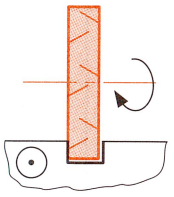
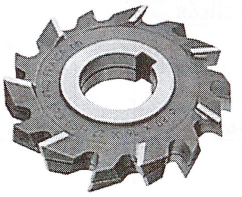
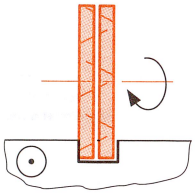
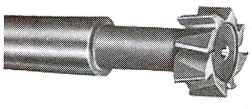
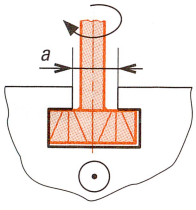
OUTILS À TRANCHANTS MULTIPLES EN ACIER RAPIDE

Visualisation	Identification de l'outil	Opérations réalisées	Schéma d'usinage couple outil/pièce
 Doc. LECLERC	Fraise **scie** NF E 66-233	Selon type de denture (1 ou 3 tailles). **a** : rainurage profond. **b** : sciage, tronçonnage. **Formes générées** **a** : rainure profonde et étroite (saignée). **b** : débit de pièces.	
 Doc. FRAISA	Fraise 1 taille **à surfacer** NF E 66-226	**Opération réalisée** Surfaçage en roulant **Forme générée** Plan	 ⊙ : direction projetée du mouvement d'avance
 Doc. SOF	Fraise **cloche à surfacer** NF E 66-237	**Opération réalisée** Surfaçage en bout **Forme générée** Plan	
 Doc. FRAISA	Fraise **2 tailles à queue conique** (cône morse) NF E 66-212	**Opérations réalisées** **a** : surfaçage en roulant. **b** : surfaçages combinés à prédominance en roulant. **Formes générées** **a** : plan. **b** : épaulement.	
 Doc. FRAISA	Fraise **2 tailles à queue cylindrique** NF E 66-211	**Opération réalisée** Rainurage de profil **Forme générée** Rainure	
 Doc. FRAISA	Fraise **à rainurer** deux lèvres à coupe centrale NF E 66-217	**Opération réalisée** Rainurage de profil en pleine matière **Formes générées** Rainure de clavetage Boutonnière	

Relation outil → opération → forme générée

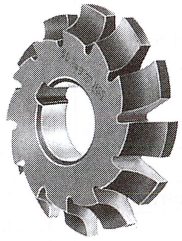
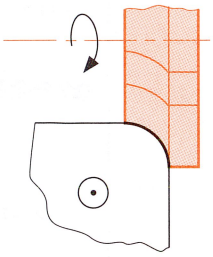
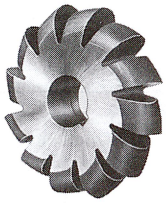
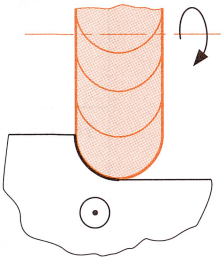
OUTILS À TRANCHANTS MULTIPLES EN ACIER RAPIDE (suite)

FRAISAGE

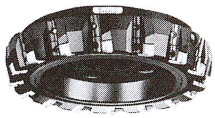
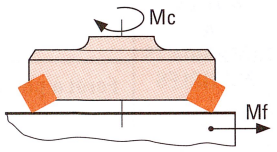
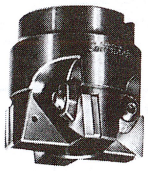
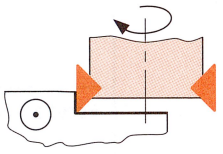
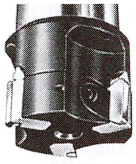
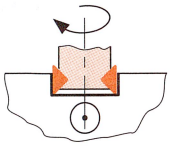
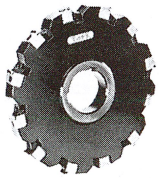
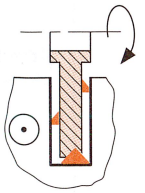
Visualisation	Identification de l'outil	Opérations réalisées	Schéma d'usinage couple outil/pièce
 Doc. FRAISA	Fraise **2 tailles à alésage et à entraînement par tenon** NF E 66-214	**a** : surfaçages combinés à prédominance en bout. Restrictivement : **b** : surfaçage en bout. **c** : surfaçage en roulant. **Formes générées** **a** : épaulement. **b, c** : plan.	
 Doc. ASTRA	Fraise **conique 2 tailles à trou taraudé et centrage arrière** NF E 66-227	**Opérations réalisées** Surfaçages combinés à prédominance en bout **Forme générée** Rainure en queue d'aronde	
 Doc. SOF	Fraise **« Woodruff »** NF E 66-234	**Opération réalisée** Rainurage **Forme générée** Rainure pour clavette disque	
 Doc. FRAISA	Fraise **3 tailles à dentures alternées** NF E 66-245	**Opération réalisée** Rainurage en bout **Forme générée** Rainure de qualité ⩾ 9	
 Doc. FRAISA	Fraise **3 tailles extensible à dentures alternées** NF E 66-224	**Opération réalisée** Rainurage en bout **Forme générée** Rainure de qualité : 7,8	
 Doc. SOF	Fraise pour **rainure à T** NF E 66-228	**Opération réalisée** Rainurage à T précédé d'un rainurage de largeur *a* **Forme générée** Rainure à T	

FRAISAGE

OUTILS À TRANCHANTS MULTIPLES EN ACIER RAPIDE (suite)

Visualisation	Identification de l'outil	Opération réalisée	Schéma d'usinage couple outil/pièce
 Doc. SOF	Fraise **concave pour 1/4 cercle** NF E 66-232	Usinage d'un arrondi **Forme générée** Arrondi	
 Doc. SOF	Fraise **convexe pour 1/2 cercle** NF E 66-220	**Opération réalisée** Usinage d'un congé **Forme générée** Congé	

OUTILS AVEC PLAQUETTES RAPPORTÉES EN CARBURE MÉTALLIQUE (doc. Sandvik Coromant)

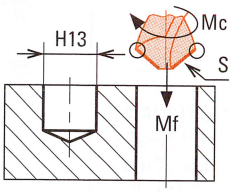
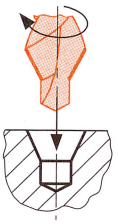
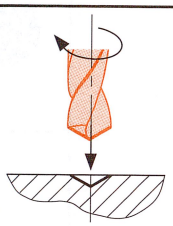
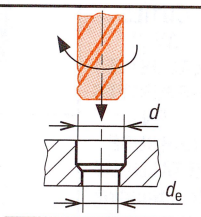
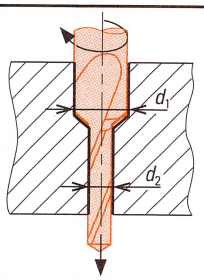
	Fraise **à surfacer** Type T. MAX R265 (réf. du carburier)	**Opération réalisée** Surfaçage en bout **Forme générée** Plan	
	Fraise **à surfacer et à dresser** Type T. MAX R262.2	**Opérations réalisées** Surfaçages combinés à prédominance en bout **Forme générée** Épaulement	
	Fraise **à rainurer** Type T. MAX R215	**Opération réalisée** Rainurage de profil **Forme générée** Rainure	
	Fraise **3 tailles** à dentures alternées Type T. MAX R331.2	**Opération réalisée** Rainurage en bout **Forme générée** Rainure	

B

Relation outil → opération → forme générée

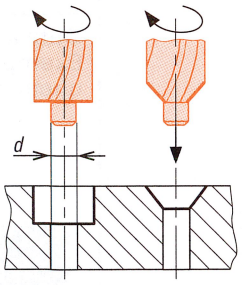
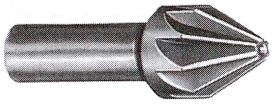
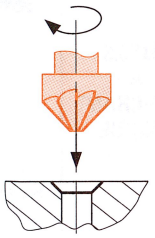
OUTILS À TRANCHANTS MULTIPLES

PERÇAGE

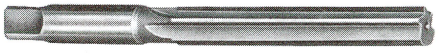
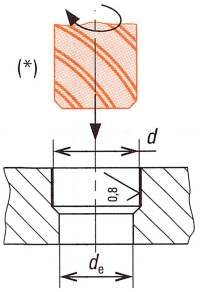
Identification et visualisation	Opérations réalisées	Schéma d'usinage couple outil/pièce
Foret hélicoïdal **– à queue cylindrique**  Doc. CLEVELAND **– à queue conique** NF E 66-071  Doc. CLEVELAND	Perçages : – **ébauche :** préparation alésage et taraudage – **finition :** trou de passage de vis… qualité obtenue ⩾ 13 **Formes générées** Trous débouchants et borgnes	
Foret à centrer type A NF E 66-051  Doc. CLEVELAND	**Opération réalisée** Centrage **Forme générée** Centre pour logement pointes	
Foret à pointer  Doc. MAGAFOR	**Opération réalisée** Pointage **Forme générée** Empreinte conique (positionnement d'un foret)	
Foret aléseur NF E 66-071  Doc. CLEVELAND	**Opérations réalisées** Perçages : – en **ébauche** : préparation d'un alésage – en **finition** : qualité obtenue sur *d* : 9 – 10 – 11 sur un trou existant de diamètre ébauche (*de*)	 $d_e = d - \frac{d}{10}$
Forets étagés  Doc. MAGAFOR	**Opérations réalisées** Perçages étagés **Formes générées** Trous borgnes et débouchants de diamètres différents	

OUTILS À TRANCHANTS MULTIPLES (suite)

PERÇAGE

Identification et visualisation	Opérations réalisées	Schéma d'usinage couple outil/pièce
Fraise à lamer monobloc : **– cylindrique**  **– conique 90°**  Doc. FRAISA	Lamage et fraisurage à partir d'un trou préalablement percé au diamètre du pilote *d* **Formes générées** Lamage et fraisure pour logement des têtes de vis CHC et vis F	
Fraise à chanfreiner conique à queue cylindrique 60° (et 90°) NF E 66-250  Doc. SOF	**Opération réalisée** Chanfreinage ou fraisurage **Forme générée** Fraisure (cône d'entrée, ébavurage…)	

ALÉSAGE

Alésoirs machine de finition à queue cône morse **– à coupe descendante** NF E 66-015  Doc. MAGAFOR **– à coupe droite** NF E 66-015  Doc. MAGAFOR **Remarque :** ces alésoirs sont en général liés à des porte-outils flottants (*voir p. 66*). **Alésoir à main monobloc façon Paris**  Doc. SOF	**Opération réalisée** Alésage sur un trou préalablement préparé au diamètre d_e. Qualité obtenue sur *d* : 7 et 8. Rugosité obtenue  (*) Avec cet alésoir les copeaux sont poussés vers le bas. **Forme générée** Alésage débouchant en général	 $d_e = d - \frac{d}{40}$ d_e : diamètre avant-trou

B

Relation outil → opération → forme générée

TOURNAGE

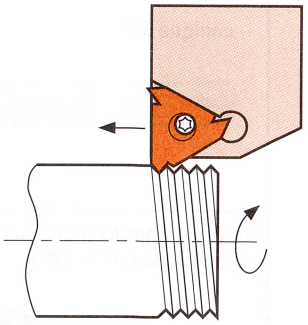
Opération réalisée	Filetage	Forme générée	Filetage

OUTILS À TRANCHANT UNIQUE

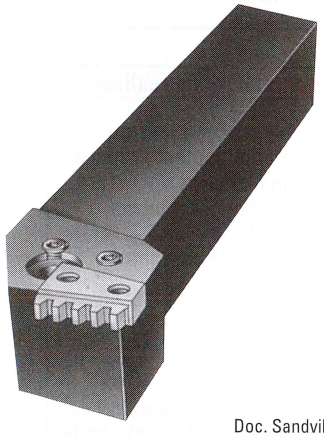
Identification et visualisation	Schéma d'usinage du couple outil/pièce
Outil à fileter Exemple de code porte-plaquette, plaquette : R/L 166.OFG.	Code de programmation du cycle de filetage G33.



Doc. Sandvik Coromant



Système de filetage à plaquette multident



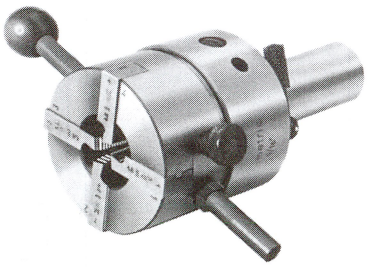
Doc. Sandvik Coromant

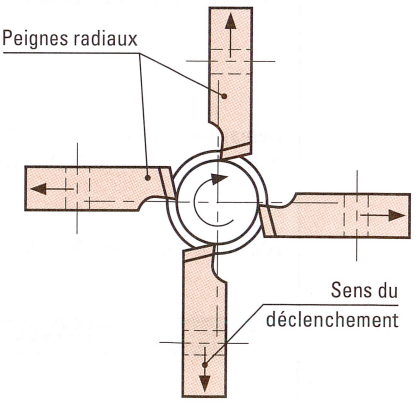
– Plus grande productivité et plus longue durée de vie de l'outil.

– Outil installé sur un dispositif à fonctionnement manuel pour le filetage des tubes, fourreaux et raccords destinés à l'industrie pétrolière.

OUTIL À TRANCHANTS MULTIPLES

Tête à fileter à déclenchement automatique.
Filière à peignes radiaux.





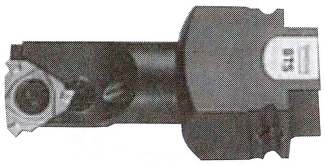
OUTILS À TRANCHANT UNIQUE

TOURNAGE

Opération réalisée	Filetage intérieur : taraudage	Forme générée	Taraudage

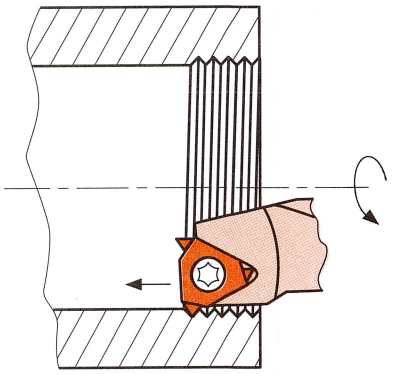
Identification et visualisation	Schéma d'usinage du couple outil/pièce

Outil à fileter
Exemple de code porte-plaquette (type BTS, *voir p. 67*) et plaquette : BT 25 R 166. OKF.



Doc. Sandvik Coromant

Code de programmation du cycle de filetage G33.



TARAUDAGE

Taraud machine à goujures hélicoïdales
NF E 66-103

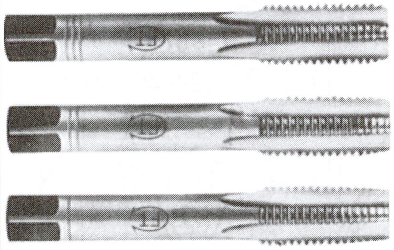


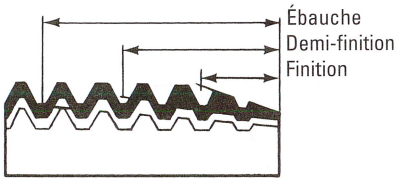
Taraud machine à goujures droites, à filets alternés, entrée coupe Gun
NF E 66-103



Ces deux tarauds machine sont liés à des porte-outils spéciaux (têtes à tarauder).

Jeu de 3 tarauds courts à main

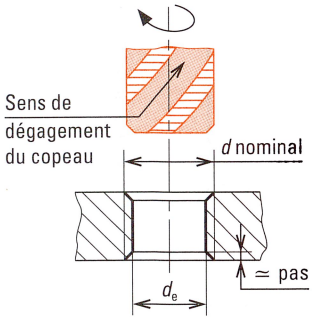




• Taraudage machine : une seule opération.

• Taraudage à main : trois opérations avec trois tarauds différents (ébauche, demi-finition, finition).

Dans les deux cas à partir d'un trou préalablement percé au diamètre de



$d_e = d - pas$

Exemple : ∅ M10
$d_e = 10 - 1{,}5 = 8{,}5$

B

1.4. SYSTÈME MODULAIRE POUR MONTAGE D'OUTILS

OUTILS DE PERÇAGE, FRAISAGE, TARAUDAGE, ALÉSAGE

d'après epb

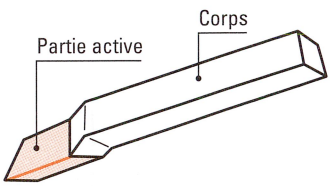
2. COUPE DES MATÉRIAUX

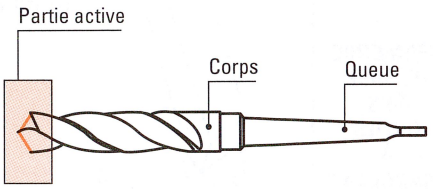
2.1. ÉTUDE DE L'OUTIL DE COUPE

2.1.1. GÉOMÉTRIE DE L'OUTIL

OUTIL DE COUPE

Un outil de coupe est composé d'un **corps** (queue de l'outil) et d'une ou plusieurs **parties actives**.

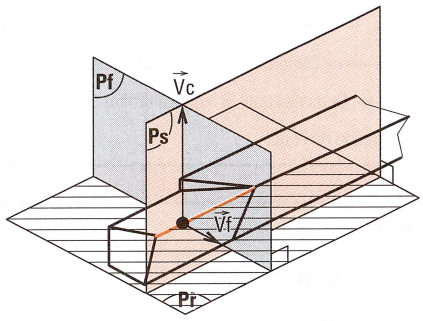




Les plans caractéristiques de l'outil sont définis selon deux référentiels :
– **outil en main,**
– **outil en travail.**

PLANS DE L'OUTIL

• **Plans de l'outil en main**

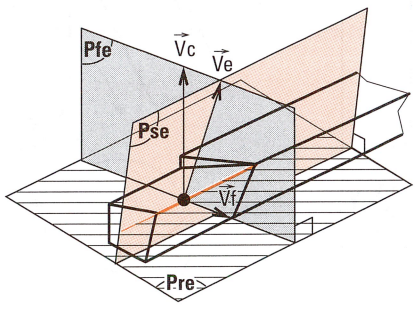


Plan de référence (Pr)
C'est le plan passant par le point considéré de l'arête et contenant l'axe de l'outil (outil tournant) ou parallèle au plan de base servant d'appui au corps de l'outil (outil de tour). Plus communément, le plan Pr est perpendiculaire à la direction supposée du vecteur vitesse de coupe ($\vec{Vc}$) de l'outil au point considéré.

Plan d'arête (Ps)
C'est le plan perpendiculaire au plan de référence (Pr) et contenant la tangente à l'arête au point considéré.

Plan de travail conventionnel (Pf)
C'est le plan perpendiculaire au plan de référence (Pr) et parallèle à l'avance supposée de l'outil ($\vec{Vf}$).

• **Plans de l'outil en travail**



Plan de référence en travail (Pre)
C'est le plan passant par le point considéré de l'arête et perpendiculaire à la direction instantanée du mouvement résultant du mouvement de coupe et du mouvement d'avance simultanés en ce point (résultante de coupe $\vec{Ve}$).

Plan d'arête en travail (Pse)
C'est le plan perpendiculaire au plan de référence (Pre) et contenant la tangente à l'arête au point considéré. Il contient $\vec{Ve}$.

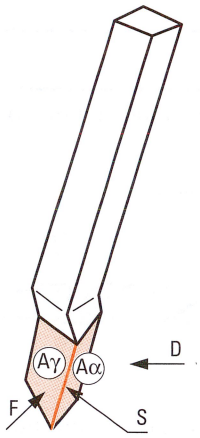
Plan de travail effectif (Pfe)
C'est un plan perpendiculaire au plan de référence (Pre) et contenant la direction de la vitesse de coupe ($\vec{Vc}$) et la direction de la vitesse d'avance ($\vec{Vf}$) au point considéré.

B

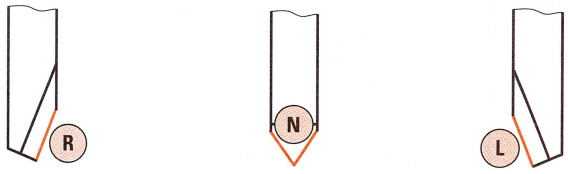
Étude de l'outil de coupe

GÉOMÉTRIE DE BASE DES OUTILS À TRANCHANT UNIQUE (outil en main)

L'outil est considéré dans les conditions suivantes :
outil tenu verticalement, bec en bas, face de coupe (Aγ) face à l'observateur F.



Le sens de l'outil est défini par la position de l'arête principale de coupe (S) :
– si (S) est à droite, l'outil est à droite (R) ;
– si (S) est à gauche, l'outil est à gauche (L) ;
– si la partie active de l'outil est symétrique par rapport à l'axe de l'outil, ce dernier travaille indifféremment à droite et à gauche (outil neutre) (N).



Désignation : **Outil couteau R 16 q 20° NF E 66-363**

- Norme
- Valeur de l'angle de coupe γ (gamma)
- Section du corps de l'outil (*q* = section carrée)
- Dimension de la section du corps d'outil
- Sens de l'outil (R = outil à droite)
- Désignation de l'outil

ANGLES DE L'OUTIL (outil en main)

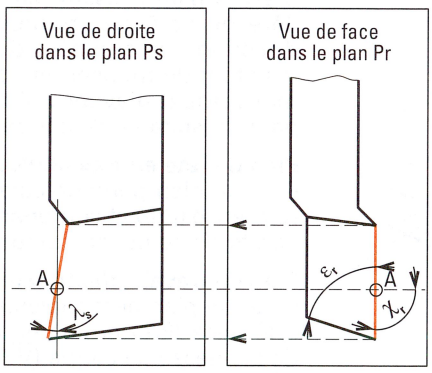
ANGLES D'ARÊTE

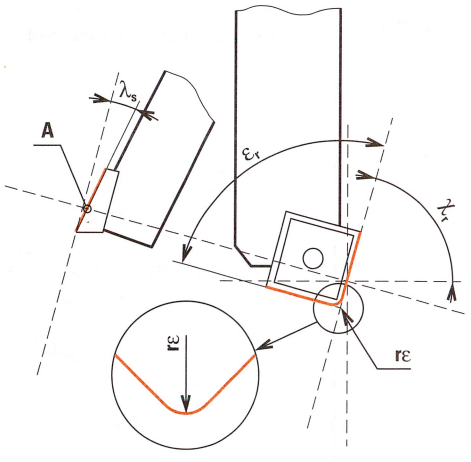
ε_r = (*epsilon*) : **angle de bec de l'outil.**

λ_s = (*lambda*) : **angle d'inclinaison d'arête de l'outil.**

χ_r = (*khi*) : **angle de direction d'arête de l'outil.**

$r\varepsilon$ = **rayon de bec de l'outil.**





B

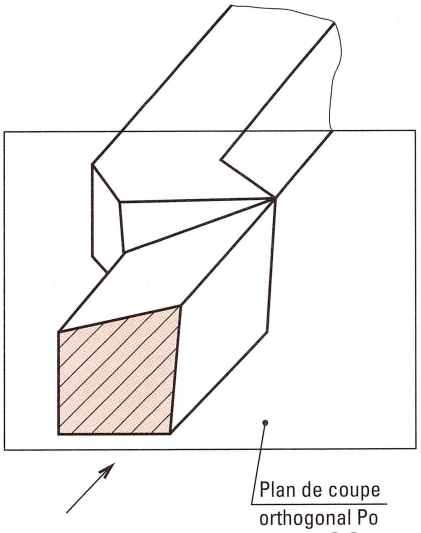
ANGLES DE L'OUTIL (outil en main) (suite)

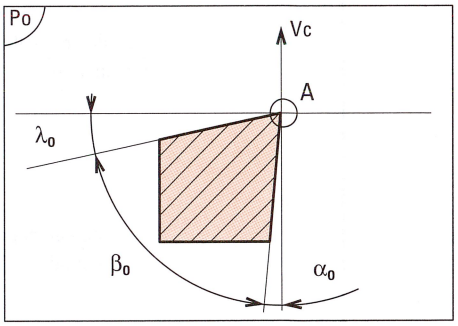
ANGLES DE FACE

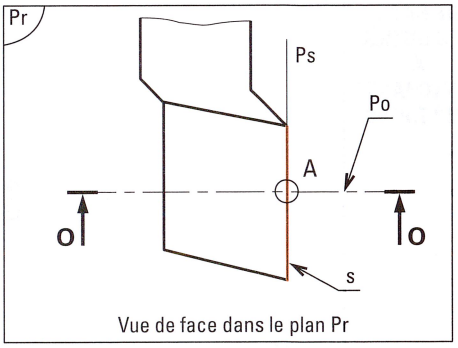
α_o = (*alpha*) : **angle de dépouille orthogonal.**

β_o = (*bêta*) : **angle de taillant orthogonal.**

γ_o = (*gamma*) : **angle de coupe orthogonal.**







DIFFÉRENTS TYPES D'OUTILS À TRANCHANT UNIQUE

Outil monobloc

La partie active, en acier spécial, est taillée dans la masse ou brasée sur le corps de l'outil.

Ce type d'outil à capacité de coupe limitée est de faible coût. Adapté au travail de forme, il convient pour les fabrications unitaires ou les petites séries.

Outil à plaquette rapportée interchangeable

La partie active est une plaquette (carbure, céramique, diamant...) fixée par vis sur le corps d'outil.

C'est le type d'outil le plus utilisé du fait de sa capacité de coupe améliorée : bon état de surface, vitesse de coupe élevée.

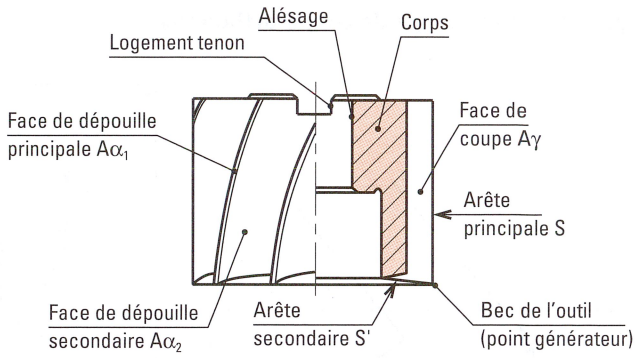
Il convient pour tout type de fabrication.

GÉOMÉTRIE DE BASE DES OUTILS À TRANCHANTS MULTIPLES

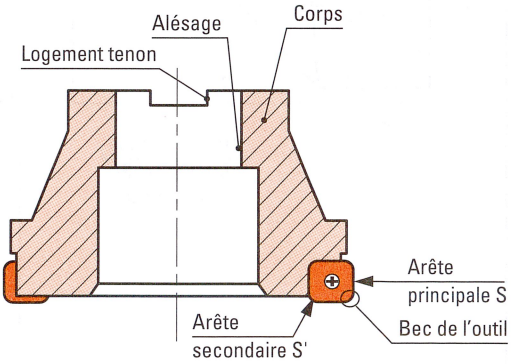
FRAISAGE

Éléments fonctionnels

Fraise **2 tailles** « monobloc » acier spécial à alésage et à entraînement par tenon.



Fraise à plaquettes rapportées en carbure métallique **à surfacer et à dresser.**



Critères d'identification

Les principaux critères d'identification d'une fraise sont :

• le type de **conception** :
– monobloc en acier spécial ou à arête revêtue ;
– à dentures ou plaquettes rapportées en carbures métalliques ;

• le type de **fixation** :
– queue cylindrique, conique ;
– à alésage ;

• le type de **taille** : 1, 2 ou 3 tailles ;

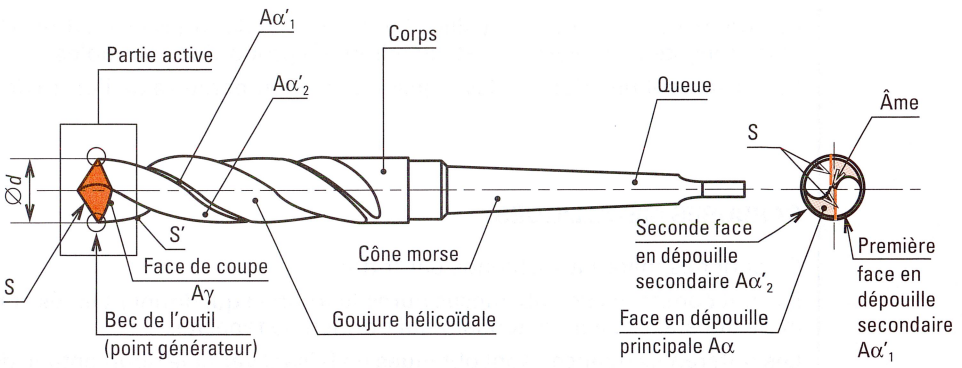
• le type de **denture** : droite, hélicoïdale, alternée ;

• le type d'**usinage** : ébauche, finition ;

• le sens de l'**hélice** : à droite, à gauche.

PERÇAGE

Foret hélicoïdal à queue conique NF E 66-071



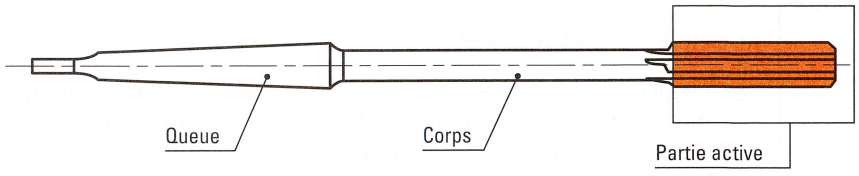
La **partie active** coupe la matière et génère les surfaces.

Le **corps** assure le guidage du foret et le dégagement des copeaux par les goujures hélicoïdales.

La **queue** conique ou cylindrique en fonction du diamètre du foret permet la liaison de l'outil sur le porte-outil (ou directement sur la machine) (*voir p. 66*).

ALÉSAGE

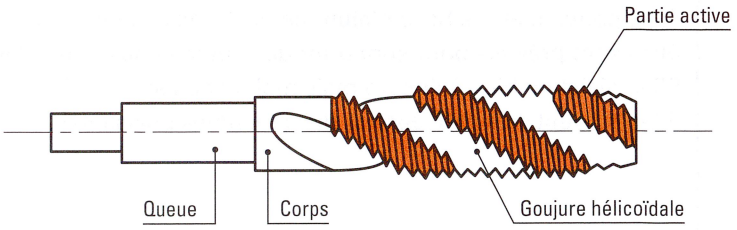
Alésoir à coupe droite NF E 66-015



L'**alésoir** permet de réaliser la finition d'un trou préalablement percé.

TARAUDAGE

Taraud machine à goujures hélicoïdales NF E 66-103



Les **tarauds** permettent une opération de filetage intérieur dans un trou préalablement percé.

Ils se caractérisent par leur forme, leur diamètre nominal et le profil de leur filet.

2.1.2. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX DE LA PARTIE ACTIVE

PRINCIPAUX MATÉRIAUX

ACIERS RAPIDES

Ce sont des aciers fortement alliés (plus de 0,7 % de carbone, environ 4 % de chrome et du tungstène, molybdène et vanadium en proportions variables).

Ils conservent une dureté élevée jusqu'à une température de l'ordre de 600 °C.

CARBURES MÉTALLIQUES

Ce sont des matériaux obtenus par frittage.

Ils sont composés de substances dures (carbures) qui donnent la résistance à l'usure et de substances liantes (cobalt) qui donnent la ténacité.

Les différentes nuances sont obtenues en faisant varier le pourcentage de substances dures et liantes.

CARBURES MICROGRAIN

Composés de carbure de tungstène lié par du cobalt, ces carbures ont une structure granulométrique très fine.

Ils ont une ténacité plus élevée pour une dureté constante, ce qui permet des arêtes plus fines.

ACIERS ET CARBURES REVÊTUS

Ces aciers ou ces carbures sont revêtus d'une fine couche d'un matériau qui augmente leur dureté (nitrure ou carbure de titane, oxyde d'aluminium).

Ces revêtements améliorent la durée de vie de l'outil grâce à une réduction importante du frottement.

CÉRAMIQUES

Les céramiques sont obtenues par frittage.

Elles peuvent être à base d'alumine ou à base de nitrure de silicium.

Elles sont prévues pour supporter des vitesses de coupe élevées.

Elles résistent bien à l'usure mais mal aux chocs.

Elles doivent être utilisées sur des machines puissantes.

CERMETS

Ce sont des matériaux à base de titane avec un liant de nickel et/ou de cobalt.

Ils ont une très bonne résistance à l'usure.

Ils sont surtout utilisés en tournage de finition pour les aciers.

Propriétés des matériaux de la partie active

CHOIX DES MATÉRIAUX POUR OUTILS

Matériau		Matière à usiner	Opération		
			Ébauche	Finition	Travail aux chocs
Acier rapide		Alliages légers Fontes Aciers inoxydables	☹	☺	☺
Acier rapide revêtu		Aciers et fontes (fraise 2 tailles de petit diamètre)	😐	☺	😐
Carbures métalliques	P	Métaux ferreux à copeaux longs (acier, fonte malléable)	☺	😐	😐
	M	Tous métaux	☺	😐	😐
	K	Métaux et matières non métalliques	☺	😐	😐
Carbures revêtus		Aciers et fontes	😐	😐	⛔
Carbure micrograin		Aciers traités Fontes Aciers alliés Aciers inoxydables	☹	☺	☹
Carbure de titane		Aciers au carbone Aciers alliés Fontes	☹	☺	⛔
Céramiques		Fontes Aciers traités	☹	☺	⛔
Cermets		Fontes Aciers traités Aciers inoxydables	☹	☺	⛔

☺ Utilisation conseillée.

☹ Utilisation déconseillée.

😐 Peut être utilisé.

⛔ **Ne pas utiliser !** (Risque de casse.)

2.2. CONDITIONS DE COUPE

2.2.1. EFFORTS ET PUISSANCE DE COUPE

EFFORT DE COUPE

L'évaluation des efforts de coupe permet :
– de dimensionner les outils et le porte-pièce,
– de déterminer les appuis du montage, en opposition à ces efforts,
– d'évaluer la puissance de coupe afin de choisir la machine-outil.

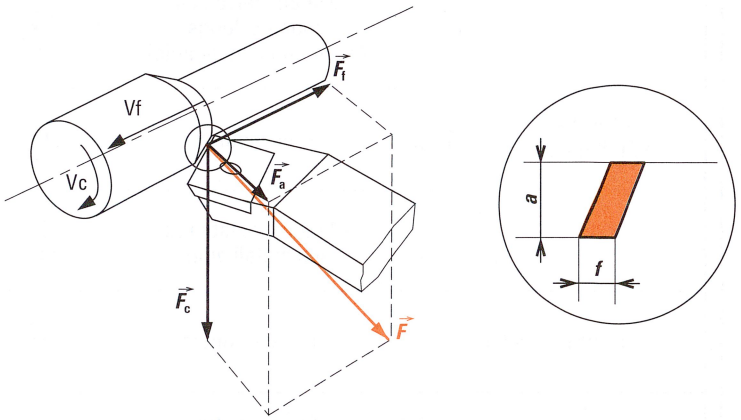
L'effort de coupe $\vec{F}$ exercé par la pièce sur l'outil se décompose en trois forces. La plus importante est l'effort tangentiel de coupe : F_c.

$$F_c = K_c \cdot a \cdot f$$

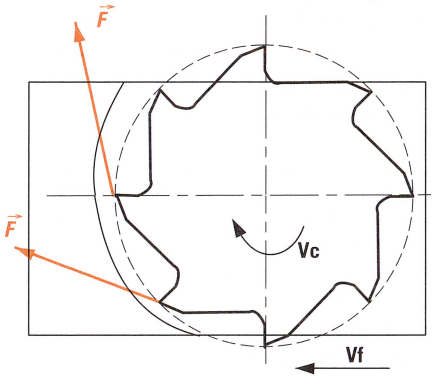
K_c : coefficient spécifique de coupe en **daN/mm²**.
a : profondeur de passe en **mm**.
f : avance en **mm/tr**.

FORCE DE COUPE

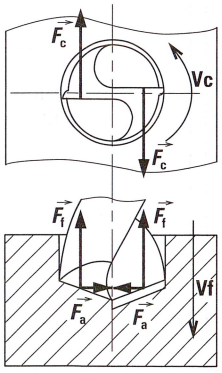
TOURNAGE



FRAISAGE



PERÇAGE



SYMBOLES UTILISÉS

$\vec{F}$ = effort de coupe exercé par la pièce sur l'outil.
$\vec{F_c}$ = composante tangentielle de l'effort de coupe.
$\vec{F_a}$ = composante radiale de l'effort de coupe.
$\vec{F_f}$ = composante liée à l'avance.
Vc = vitesse de coupe.
Vf = vitesse d'avance.

COEFFICIENTS SPÉCIFIQUES DE COUPE

MATÉRIAU USINÉ		Coefficient spécifique de coupe K_c (daN/mm²)			
Avance (mm) →		*0,1*	*0,2*	*0,4*	*0,8*
Aciers d'usage général	S 185 - S 275	360	260	190	140
	S 355	400	290	210	150
	E 330	420	400	220	160
	E 360	440	315	230	165
Aciers non alliés	C 40	320	230	170	125
	C 50	360	260	190	140
	C 60	390	290	210	150
Aciers alliés	Acier au manganèse	470	340	240	180
	Acier au nickel-chrome	500	360	260	180
	Acier au chrome-molybdène	530	380	270	200
	Acier inoxydable	520	370	270	190
Fontes	FGL 150	190	140	100	70
	FGL 250	290	210	150	110
	Fonte alliée	320	230	170	120
	Fonte malléable	240	170	120	90
Alliages de cuivre	Laiton	160	110	90	60
	Bronze	340	240	180	130
Alliages d'aluminium	Rr < 19	110	80	60	40
	19 < Rr < 27	140	100	70	50
	27 < Rr < 37	170	120	80	60

PUISSANCE DE COUPE

Il faut distinguer deux puissances :

– la puissance nécessaire à la coupe (**Pc**) qui dépend essentiellement de l'effort tangentiel de coupe (F_c) et de la vitesse de coupe (**Vc**).

$$Pc = F_c \cdot Vc$$

La puissance s'exprime en **watts** (**W**) : il faut donc considérer l'effort de coupe en **newtons** (**N**) et la vitesse de coupe en **mètres par seconde** (**m/s**) ;

– la puissance du moteur (**Pm**) qui dépend du rendement μ (*mu*) de la machine.

$$Pm = \frac{Pc}{\mu}$$

Remarque : le choix des paramètres de coupe détermine le choix de la machine et inversement.

2.2.2. LUBRIFICATION

OBJECTIFS

La lubrification permet :

– de limiter les frottements entre le copeau et l'outil et entre l'outil et la pièce ;

– de refroidir l'outil afin d'éviter les chocs thermiques néfastes et l'apparition de copeaux adhérents ;

– de faciliter l'évacuation des copeaux.

DIFFÉRENTS TYPES DE LUBRIFIANTS ET UTILISATION

Lubrifiant	Composition	Utilisation
Huiles solubles	Eau Huile minérale (10 %) Additifs	Travaux usuels sur tous métaux
Liquides synthétiques	Eau Produits de synthèse Additifs	Usinage et rectification sur métaux
Huiles minérales	Huiles entières sous-produits du pétrole	Travaux d'usinage difficiles

2.2.3. DURÉE DE VIE DES OUTILS

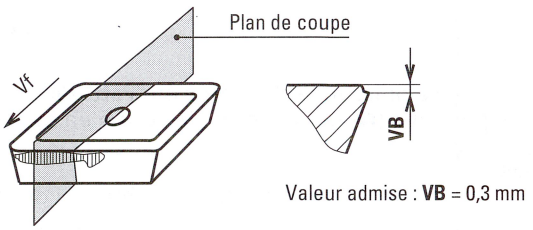
PRINCIPAUX TYPES D'USURE

Notion d'usure

Les frottements entre l'outil et la pièce, le contact avec les copeaux, les variations de température provoquent une usure de l'outil. La qualité des surfaces obtenues dépend directement de cette usure.

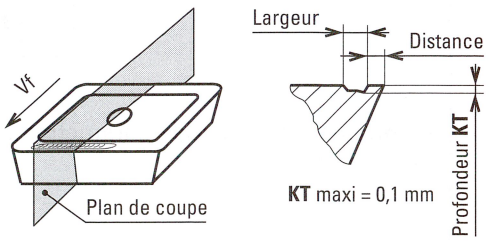
L'observation de l'usure sur la face en dépouille et sur la face de coupe permet de déterminer l'**état limite de l'usure**, donc de décider du changement d'outil.

USURE EN DÉPOUILLE **VB**



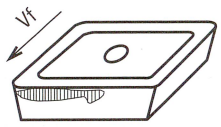
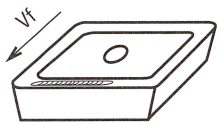
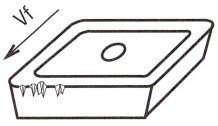
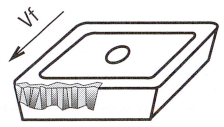
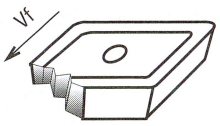
Valeur admise : **VB** = 0,3 mm

USURE EN CRATÈRE **KT**



KT maxi = 0,1 mm

ANALYSE DES CRITÈRES D'USURE

Défaut	Illustration	Causes	Remèdes
Usure en dépouille		– Conditions de coupe inadaptées. – Outil au-dessus du centre. – Avance inadaptée.	– Réduire la vitesse de coupe ou choisir une nuance plus résistante. – Mettre l'outil au centre. – Augmenter l'avance.
Usure en cratère		Conditions de coupe inadaptées.	Réduire la vitesse de coupe ou choisir une nuance plus résistante.
Écaillage de l'arête		– Mauvaise stabilité outil-pièce. – Avance inadaptée. – Outil en dessous du centre. – Copeau adhérent.	– Améliorer la stabilité. – Réduire l'avance. – Mettre l'outil au centre. – Modifier les conditions de coupe.
Arête rapportée (copeau adhérent)		– Conditions de coupe inadaptées. – Géométrie de l'outil inadaptée à la matière usinée. – Avance inadaptée.	– Augmenter la vitesse de coupe, vérifier l'arrosage. – Utiliser un brise-copeau. – Augmenter l'avance.
Brûlage de l'arête	 Acier rapide	– Conditions de coupe inadaptées. – Géométrie de l'outil inadaptée à la matière usinée.	– Diminuer la vitesse de coupe, vérifier l'arrosage. – Rayon de bec trop petit.
Bris de l'outil		– Conditions de coupe inadaptées. – Chocs, mauvais bridage. – Défaut dans la pièce.	Vérifier toutes les conditions d'usinage.

Conditions de coupe

DROITE DE TAYLOR

Lois d'usure des outils

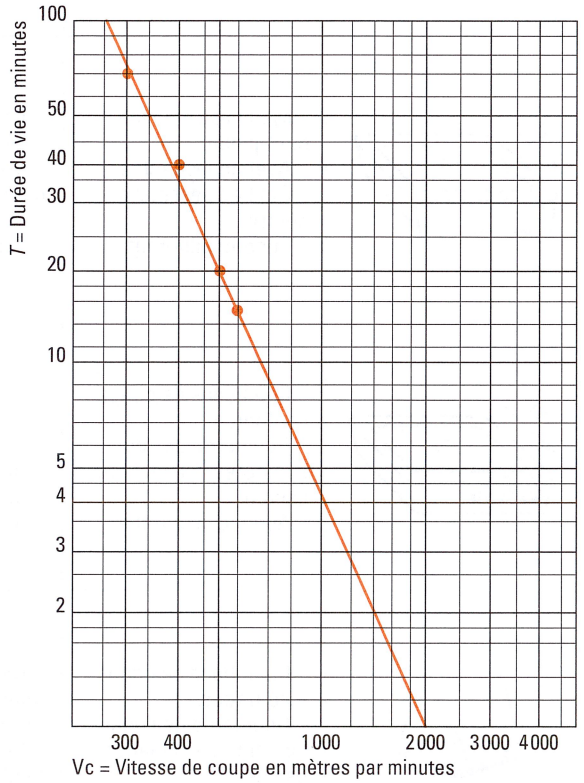
Pour un certain type d'outil travaillant dans des conditions bien déterminées, il est possible de représenter sa **durée de vie** en fonction de la **vitesse de coupe** sous la forme d'une courbe appelée **droite de Taylor**.

Exemple

MATIÈRE D'ESSAI :
Type : **alliage d'aluminium** Désignation : **AU 4G** État : **trempé HB = 125**

OUTIL : Type : **couteau** Désignation : **NF E 66-363**
Matière : **acier rapide**
Géométrie : $\gamma_o = 25°$ $\alpha_o = 6°$ $\lambda_s = 0°$ $\chi_r = 90°$ $\varepsilon_r = 84°$ $r_\varepsilon = 0{,}8$

CONDITION DE COUPE : Avance : **0,2 mm** Profondeur de passe : **2 mm**
Fluide de coupe : **néant** Rigidité : **bonne**



RÉSULTATS D'ESSAI	
Critère de durée de vie : VB = 0,3 mm	
Vitesse de coupe	Durée de vie
300	67
400	40
500	20
600	15

Relation $T = Cv\ V^n$
$n = -77/35 = -2{,}2$
$Ct = 2050$
$Cv = Ct^{-n} = 19{,}3 \times 10^6$

$T = 19{,}3 \times 10^6 \cdot V^{2{,}2}$

ÉVACUATION DES COPEAUX

Lors de l'usinage des matériaux ductiles, le copeau a tendance à être long. Si ces copeaux ne sont pas évacués, l'outil risque de se détériorer rapidement.
Les fabricants conçoivent des **brise-copeaux** frittés dans les plaquettes.


Plaquette sans brise-copeaux


Plaquette avec brise-copeaux

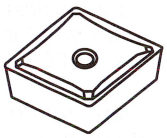
EXEMPLE D'EXPLOITATION D'UNE BASE DE DONNÉES (Sandvik Coromant)

Utilisation : **FINITION DE L'ACIER**

Nuance carbure P

Géométrie UF (code fabricant)

T-MAXU



-UF

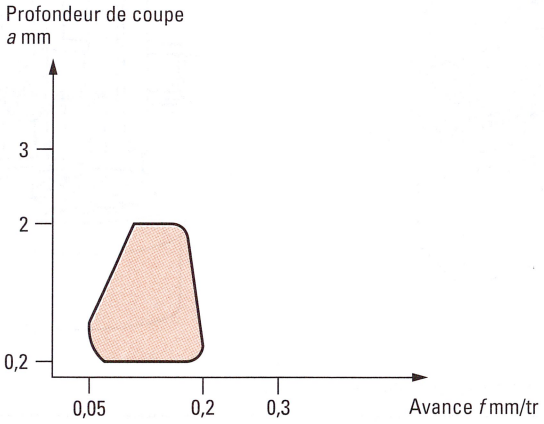
Géométrie positive, arête vive, engendrant une coupe douce et de faibles forces de coupe.

Choix de base pour finition avec faibles avances.

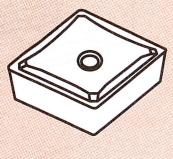
Pour des tolérances serrées et de bons états de surface.

B

Relations avance/profondeur de coupe (pénétration)



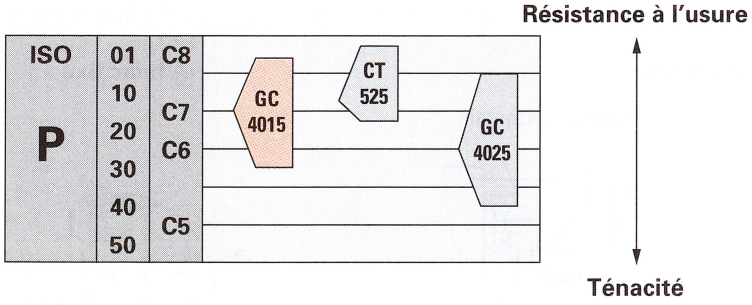
CHOIX DE BASE



-UF/GC 4015

Bonne résistance à l'usure.
Bonne sécurité d'arête.

Nuances de plaquette



Nuances/conditions de coupe

Acier faiblement allié, recuit, HB 180

CMC 02.1		Avance f en mm/tr		
		0,05	0,1	0,2
CT 525	Vc en m/min	420	355	280
GC 4015	Vc en m/min	405	380	330
GC 4025	Vc en m/min	340	335	295

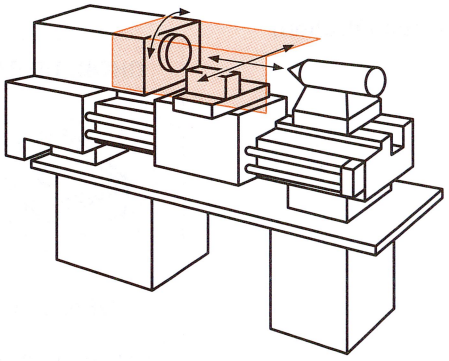
3. CONDITIONS DE TRAVAIL ET PRÉVENTION, ERGONOMIE

3.1. LIMITES D'INTERVENTION

TOURS PARALLÈLES À CHARIOTER ET À FILETER

Le tour parallèle est utilisé pour la réalisation de pièces de révolution à l'unité ou en petites séries.

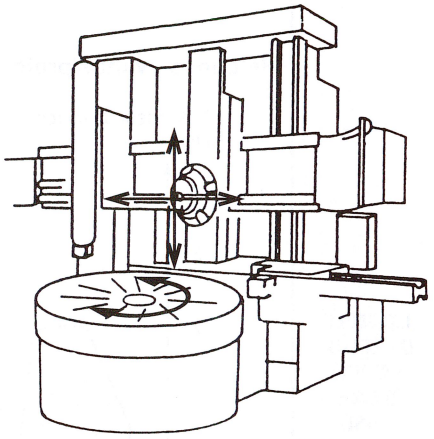
L'opérateur intervient souvent : dégagement de copeaux filants s'enroulant autour de la pièce, contrôle des dimensions obtenues, surveillance de l'usinage...



TOURS VERTICAUX

Le tour vertical est utilisé pour la réalisation de pièces de grandes dimensions (2 000 × 2 000 × 1 000 mm).

L'opérateur doit centrer la pièce sur le plateau et procéder au réglage des outils plateau en rotation.



Doc. CETIM

Ces machines seront conduites par du personnel qualifié.

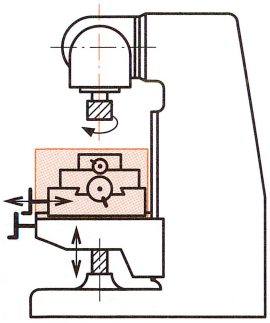
FRAISEUSES UNIVERSELLES À CONSOLE ET BANC FIXE

La fraiseuse universelle est utilisée pour des opérations très variées : surfaçage en bout, en roulant, surfaçages combinés, alésage, taillage, perçage, pointage, rainurage, lamage, fraisurage.

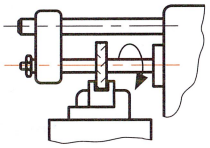
Elle peut être commandée depuis deux postes : l'un sur la face avant de la machine, l'autre sur le côté.

À console

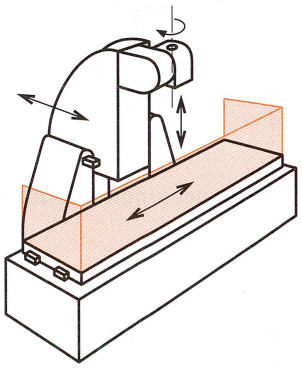
Broche verticale



Broche horizontale



À banc fixe



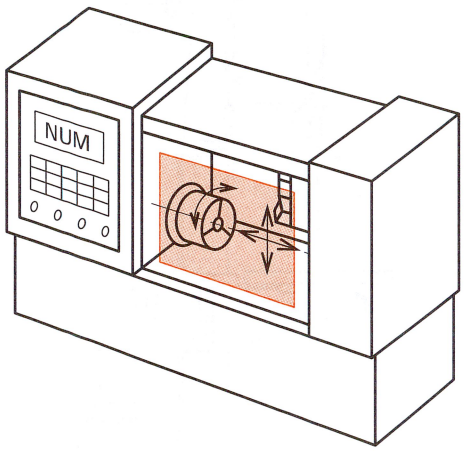
Ces machines seront conduites par du personnel qualifié.

MACHINES-OUTILS À COMMANDE NUMÉRIQUE (MOCN)

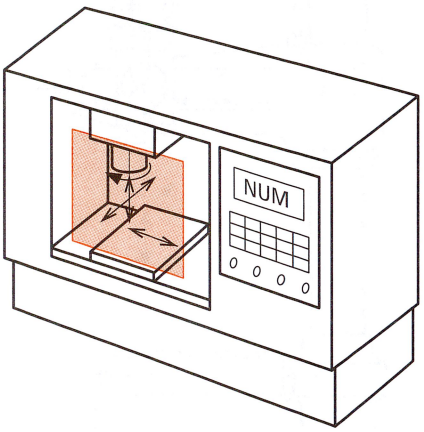
Ces machines à commande numérique sont utilisées pour la réalisation de pièces à l'unité ou en petites séries et nécessitent peu d'interventions pendant l'usinage : surveillance, changement de pièces et éventuellement d'outils.

Le travail du technicien consiste essentiellement à programmer, à mettre en place les outils après préréglage sur banc de préréglage et mise en place de la pièce sur la machine avec éventuellement montage d'usinage. Vérification du cycle d'usinage par simulation. Usinages très divers sur des pièces complexes.

Tour à commande numérique

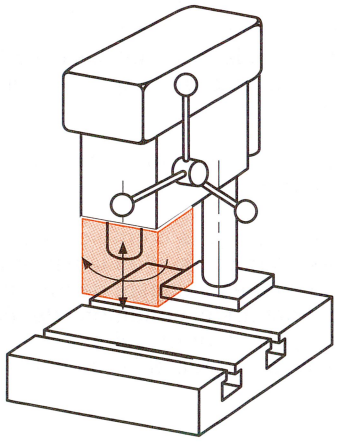


Fraiseuse à commande numérique



La conduite de ces machines ne peut être confiée qu'à des opérateurs qualifiés. Des consignes doivent être établies pour la manutention et les opérations de bridage des pièces, ainsi que pour la manutention et le réglage des outils.

PERCEUSE SENSITIVE D'ÉTABLI



La perceuse sensitive d'établi est utilisée pour la réalisation d'usinages relativement simples et limités : pointage, perçage, chambrage, fraisurage sur des pièces de faibles dimensions.

Ce sont souvent des opérations effectuées à l'unité ou en série.

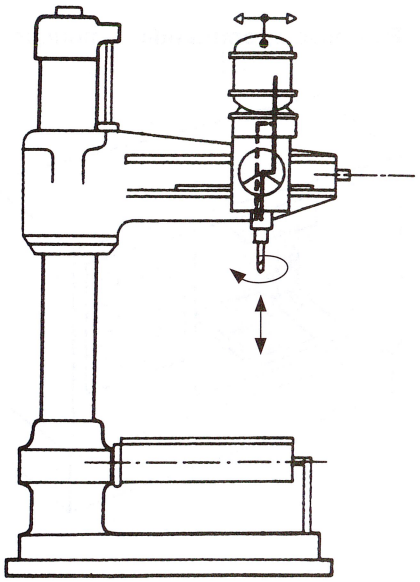
L'utilisation de ces machines simples peut être confiée à un opérateur spécialisé mais non qualifié, à condition de respecter les règles de sécurité (protection de la machine et protection individuelle de l'opérateur).

Limites d'intervention

PERCEUSES RADIALES*

Les perceuses radiales sont utilisées pour réaliser les opérations de pointage, perçage, alésage, lamage, chambrage, fraisurage, carottage et trépanage sur des pièces de grandes dimensions.

On réalise sur une même pièce des opérations successives, nécessitant des changements d'outils.

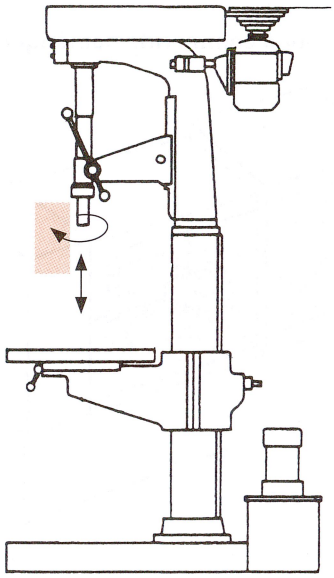


Ces machines sont destinées à exécuter des travaux complexes à l'unité. Elles doivent être conduites par des opérateurs qualifiés. Le mode opératoire et les opérations de manutention doivent faire l'objet d'une consigne.

PERCEUSES À COLONNE*

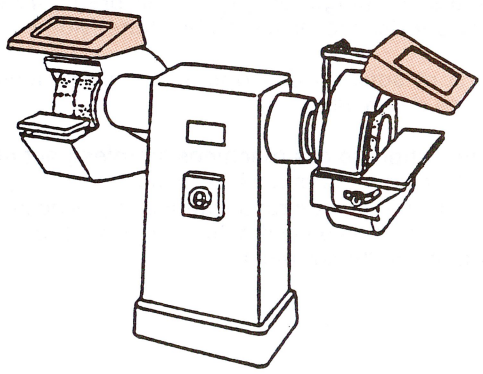
Les perceuses à colonne sont utilisées pour réaliser les opérations de pointage, perçage, alésage, lamage, chambrage, carottage et trépanage sur des pièces de faibles dimensions.

Ce sont souvent des opérations d'usinage rapides et légères, effectuées à l'unité ou en série.



Ces machines sont en libre service dans l'atelier. Il est donc absolument nécessaire de rappeler les consignes d'utilisation au poste de travail (abaques des vitesses de rotation, fixation des pièces et porte-pièces obligatoires).

TOURET À MEULER*



Les tourets à meuler sont utilisés pour l'affûtage des outils courants ainsi qu'à l'ébarbage de petites pièces.

La pièce à meuler est tenue à la main en appui sur le support de pièce.

Ces machines, simples d'emploi, sont utilisées par tous les opérateurs, d'où la nécessité d'afficher des consignes au poste de travail (port de lunettes obligatoire et conditions de réglage du support de pièces pour éviter le coincement entre la pièce ébavurée et la meule).

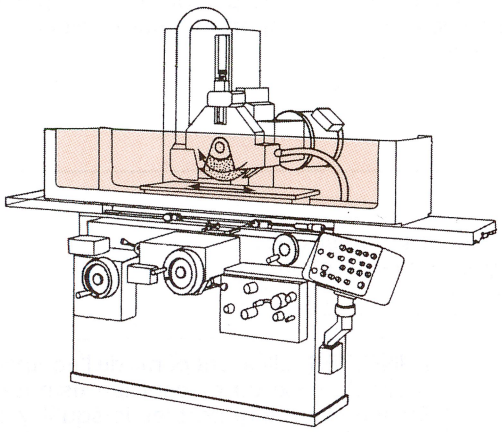
* D'après documents CETIM : *Production mécanique – Mise en conformité des machines* – tome 1 – Réf. 6D02 – CETIM : 52, avenue Félix-Louat – BP 80067 – 60304 Senlis cedex.

Limites d'intervention

RECTIFIEUSE PLANE*

Les rectifieuses planes permettent d'usiner des surfaces planes ou des profils rectilignes.

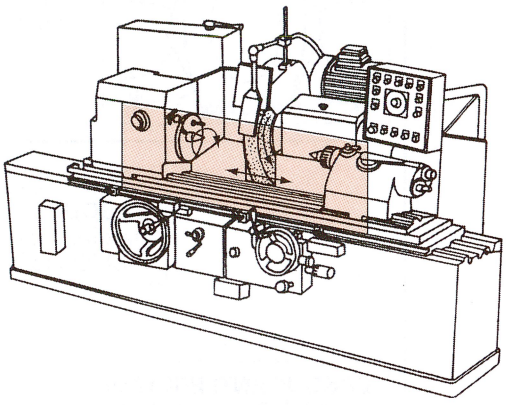
L'opération de rectification exige, pour obtenir une très grande précision géométrique et dimensionnelle, des précautions particulières de la part de l'opérateur.



RECTIFIEUSE CYLINDRIQUE*

Les rectifieuses cylindriques permettent d'usiner des surfaces cylindriques.

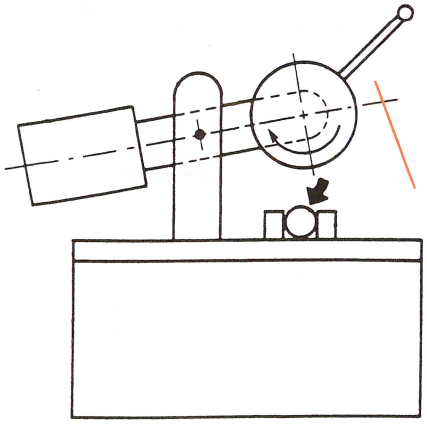
L'opération de rectification exige, pour obtenir une très grande précision géométrique et dimensionnelle, des précautions particulières de la part de l'opérateur (approche de la meule, réglage des courses...).



Ces machines ne doivent être conduites que par du personnel qualifié et formé.

TRONÇONNEUSE À DISQUE À PIVOT*

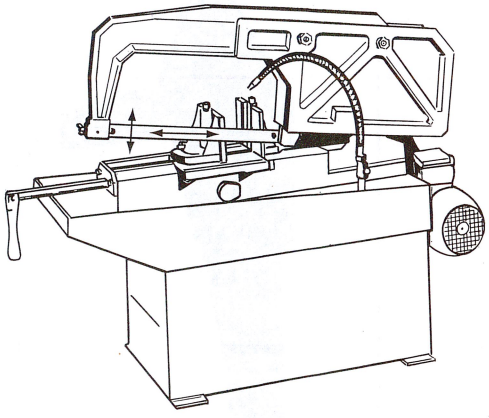
Les tronçonneuses permettent de débiter des barres ou profilés.



Ce matériel, simple d'emploi, est utilisé par tous les opérateurs. Il est donc nécessaire d'afficher des consignes au poste de travail (port obligatoire des lunettes de protection).

MACHINE À SCIER ALTERNATIVE*

Les machines à scier permettent de débiter des bruts dans des barres pleines ou creuses.



Ces machines, simples d'emploi, sont utilisées par tous les opérateurs. Il est donc nécessaire d'afficher les consignes au poste de travail en rappelant leurs conditions de réglages et de fonctionnement.

* D'après documents CETIM : ouvrage cité.

3.2. PROTECTION ET RECOMMANDATIONS

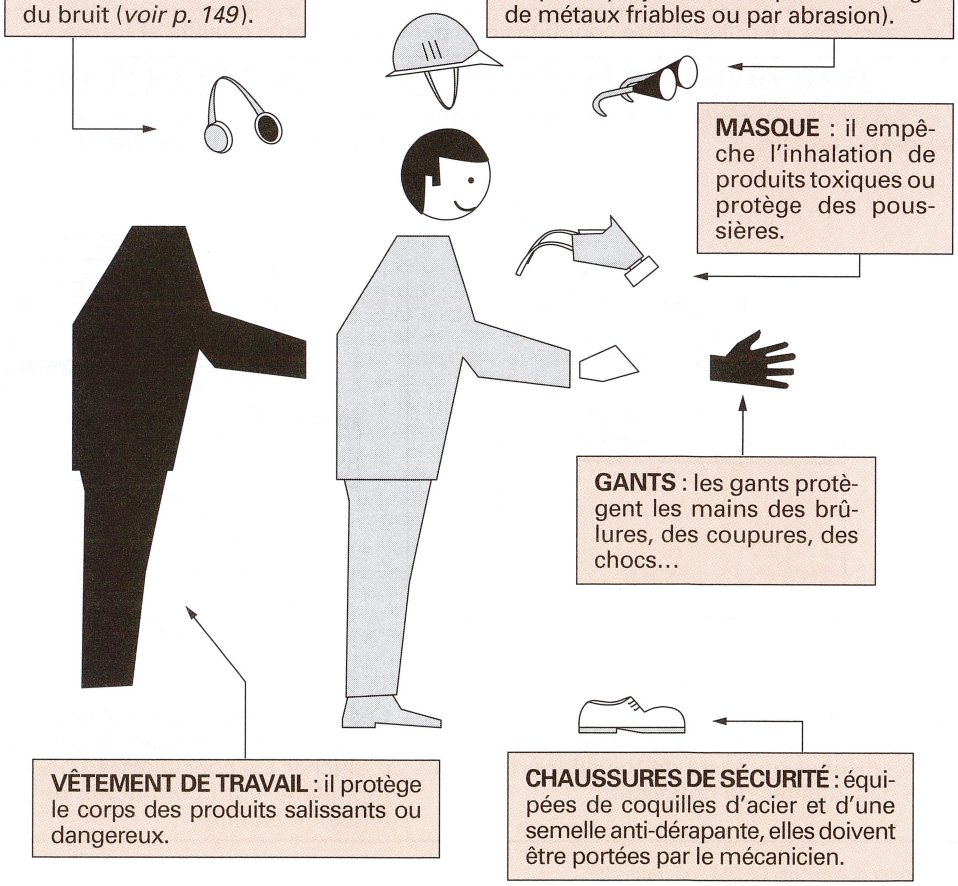


Les protecteurs des machines-outils ne garantissent pas une sécurité totale à l'opérateur. C'est pourquoi celui-ci doit s'équiper de protections individuelles adaptées aux risques encourus.

Dans les ateliers, le port de ces protections peut être obligatoire ou conseillé par des affiches (voir exemple ci-contre).

En cas d'accident, le fait de ne pas porter ces équipements a une conséquence importante sur la responsabilité de l'opérateur.

PROTECTION INDIVIDUELLE



Quelle que soit la qualité des dispositifs de sécurité, ils ne peuvent isoler totalement la zone de la machine où l'outil travaille. C'est pourquoi l'opérateur doit rester vigilant et ne pas commettre d'imprudence.

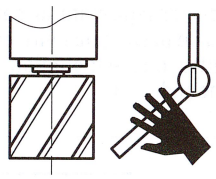
Une règle simple doit être observée:

Lorsque la machine-outil fonctionne, l'opérateur ne doit pas avoir accès à la zone d'évolution de l'outil ou de la pièce.

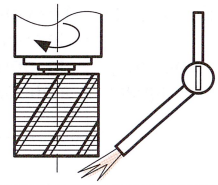
Toutes les opérations de réglage, de nettoyage ou de maintenance doivent s'effectuer machine à l'arrêt.

Exemples

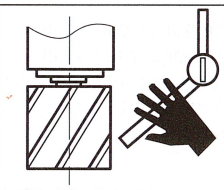
• Réglage de la lubrification en fraisage



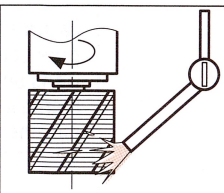
ÉTAPE 1:
La machine est **arrêtée**.
Réglage approximatif de l'arrosage.



ÉTAPE 2:
La broche **tourne** !
Essai de fonctionnement.
Pas d'intervention!

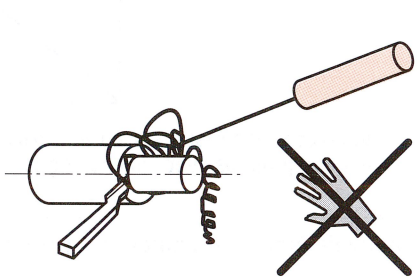


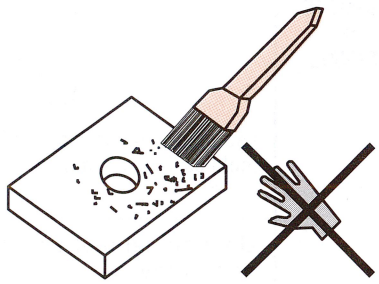
ÉTAPE 3:
La machine est **arrêtée**.
Correction de l'arrosage.



ÉTAPE 4:
La broche **tourne** !
Fonctionnement correct.
Réglage terminé.

• Dégagement des copeaux

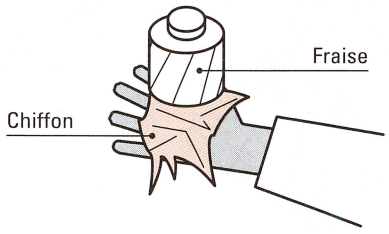




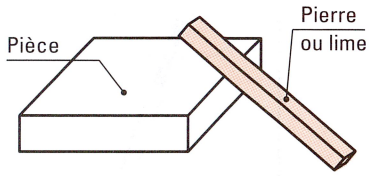
Machine à l'arrêt: ne pas utiliser la main pour dégager les copeaux mais un outil approprié!

Attention! L'utilisation de l'air comprimé impose le port de lunettes.

• Manipulation des outils et des pièces



Utilisez un chiffon ou des gants pour mettre en place une fraise.



Ébavurez les pièces après usinage.

Protection et recommandations

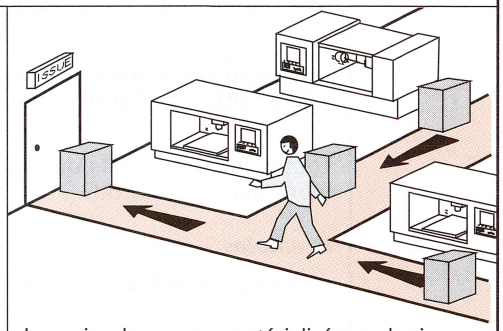
SÉCURITÉ ET ORGANISATION DU POSTE DE TRAVAIL

Une mauvaise organisation du travail peut avoir des conséquences graves sur sa propre sécurité mais également sur la sécurité des autres personnes de l'atelier.

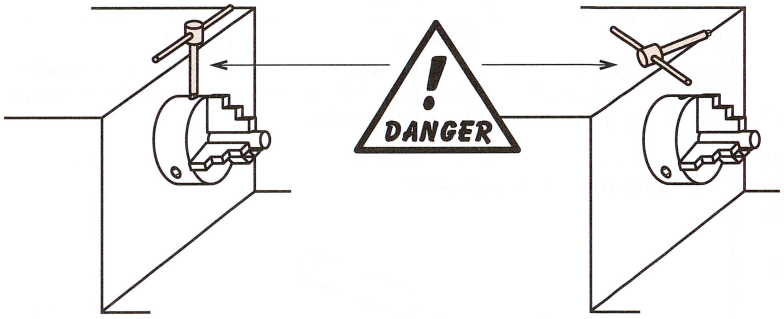
Exemples



La présence sur le sol d'objets ou de produits gras peut provoquer une chute.
Dans un atelier, la présence des machines augmente le risque de blessures graves provoquées par une chute.



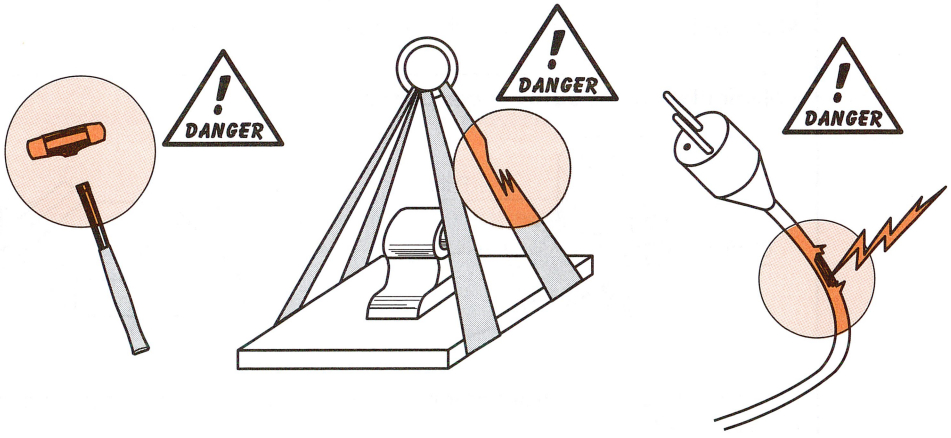
Les voies de passage matérialisées ou les issues de secours ne doivent pas être encombrées afin de permettre une évacuation rapide en cas d'alerte (incendie...).



Les objets (outils, appareils de mesure...) ne doivent pas rester sur ou à proximité des éléments mobiles. Lors de la mise en marche, ils peuvent être projetés avec violence dans l'atelier.

Un matériel mal entretenu ou en mauvais état peut également provoquer des accidents graves.

Exemples



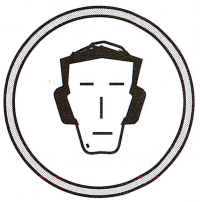
3.3. ENVIRONNEMENT ET CONDITIONS DE TRAVAIL

3.3.1. BRUIT

SIGNALISATION ET PROTECTION

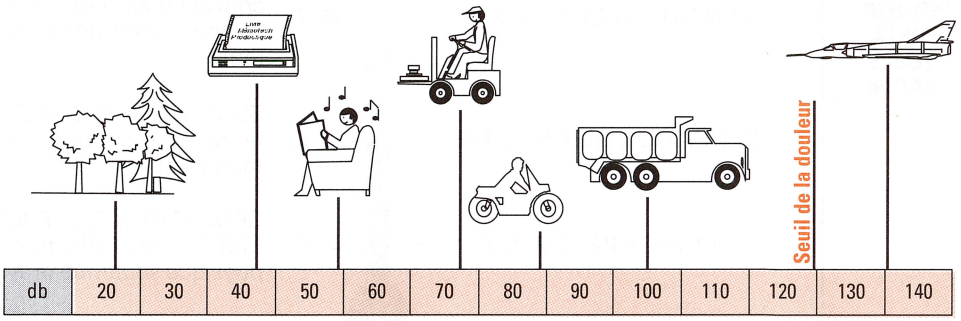


Zones bruyantes



Port du casque obligatoire

NIVEAU DU BRUIT

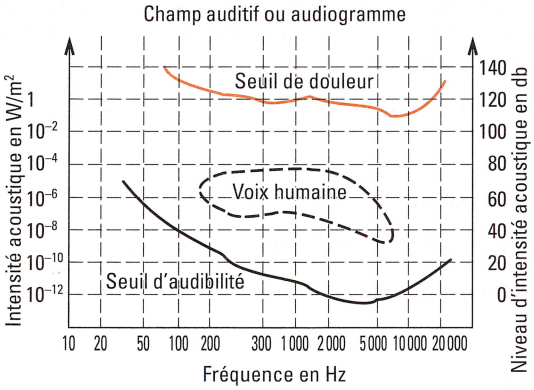


On mesure physiquement le niveau du bruit en **décibels** (dB) :
– niveau 0 décibel = bruit le plus faible que l'oreille peut percevoir,
– niveau 120 décibels = bruit provoquant une sensation douloureuse.

EFFETS DU BRUIT

La surdité
L'exposition prolongée à des niveaux de bruits élevés ou intenses détruit peu à peu les cellules liées à l'oreille interne. Elle conduit à une surdité, dite de perception, qui est **irréversible**.

Diagramme de classification des sons



La surdité professionnelle

Types d'activités	Surdités reconnues en 1991
Fabrication et travail des métaux, essais et réparation de moteurs	350
Travaux publics	129
Broyage, sciage de matériaux	46
Carrières	46
Plastiques, papiers, cartons	39
Tissage	17
Autres	164
TOTAL	**791**

Une surdité coûte en moyenne 600 000 F à l'entreprise.

MOYENS D'ACTION

– Réduction du bruit à la source par action sur la machine.
– Traitement acoustique du local.
– Encoffrements de machines.
– Écrans acoustiques.
– **Protection individuelle** : casque ou bouchons d'oreilles (un protecteur individuel peut couramment permettre un affaiblissement global de 20 dB, **il doit être porté en permanence**).

B

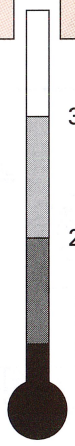
3.3.2. AMBIANCES THERMIQUES

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE

La température interne du corps humain est de 37 °C. Cette température ne supporte que de très petites variations.

Détermination d'une ambiance thermique :

Sensations dues à la température		Sensations dues à la température et aux artifices extérieurs à la température
SENSATION DE CHALEUR	35 °C	SENSATION DE BIEN-ÊTRE avec courant d'air naturel et/ou artificiel ou masquage de la source de chaleur.
SENSATION DE BIEN-ÊTRE	20 °C	SENSATION DE CHALEUR avec une tenue vestimentaire inadaptée à la température.
SENSATION DE FROID	4 °C	SENSATION DE FROID NETTEMENT DIMINUÉE par une activité physique soutenue (travail ou sport).



AMÉLIORATION DU CONFORT THERMIQUE

• Éliminer les risques

– En remplaçant les équipements sources de chaleur ou de froid (*exemple :* remplacer un chauffage à la flamme par un chauffage par induction).

– En procédant à de nouveaux agencements des équipements et locaux de travail (*exemple :* éloignement des équipements des zones où s'exerce l'activité des opérateurs).

• Réduire la contrainte thermique dans les ateliers

– Activité de l'opérateur : automatiser le poste de travail, implanter des aides à la manutention manuelle, limiter les efforts par une étude du poste de travail, organiser des périodes de pauses et de repos.

– Limiter les échanges thermiques par rayonnement, par convection ou par évaporation.

• Réduire la contrainte due au climat

– Peindre en blanc les surfaces extérieures (ambiances chaudes).

– Procéder à un isolement thermique des parois.

– Orienter, à la construction, les parois vitrées.

– Équiper de stores extérieurs.

– Utiliser les vitres teintées.

• Promouvoir l'hygiène alimentaire

La consommation de boissons non alcoolisées et le contrôle diététique de l'alimentation participent favorablement à la réduction de la contrainte thermique. Le médecin du travail joue un rôle de conseil dans ce domaine.

3.3.3. RISQUES CHIMIQUES

IDENTIFICATION

Les produits chimiques doivent être stockés dans leurs récipients d'origine sur lesquels figurent leur identification et les risques qu'ils peuvent présenter.

Exemples :



Produit irritant ou nocif



Produit corrosif



Produit toxique



Produit inflammable facilement



Produit comburant (qui entretient la combustion)



Produit explosif

RISQUES

Une mauvaise manipulation (ou utilisation) de produits dangereux peut entraîner :

– **des accidents du travail**
Exemples : blessures suite à une explosion, brûlures... ;

– **des maladies professionnelles**
Exemple : allergie ;

– **des nuisances, gênes et mauvaises conditions de travail**
Exemple : pollution par brouillard d'huile.

PRÉVENTION



Prendre connaissances des précautions d'emploi des produits chimiques.



S'équiper de protections individuelles (masques, lunettes, gants...) conformément aux consignes données.



Ne pas transvaser les produits dangereux.
Les produits chimiques doivent rester dans leur emballage d'origine !



Ne pas utiliser un produit dont l'identification n'est plus possible.

B

3.3.4. INCENDIE ET LIEU DE TRAVAIL

CONDITIONS DE L'INCENDIE

L'incendie est une combustion qui se développe d'une manière incontrôlée dans le temps et dans l'espace.

Pour qu'une combustion se déclenche, il faut réunir ces trois éléments :

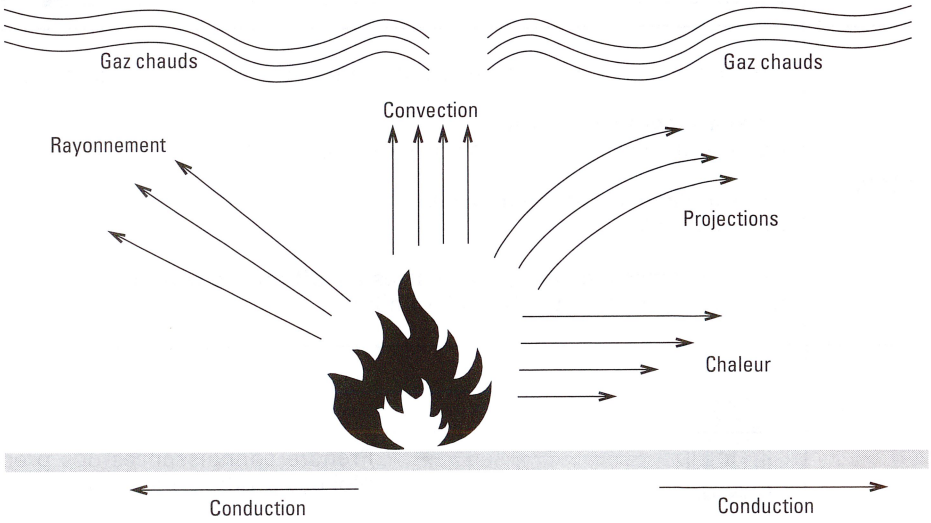
– **un combustible**, qui constitue l'« aliment » de l'incendie,

– **un comburant**, qui entretient la combustion (oxygène...),

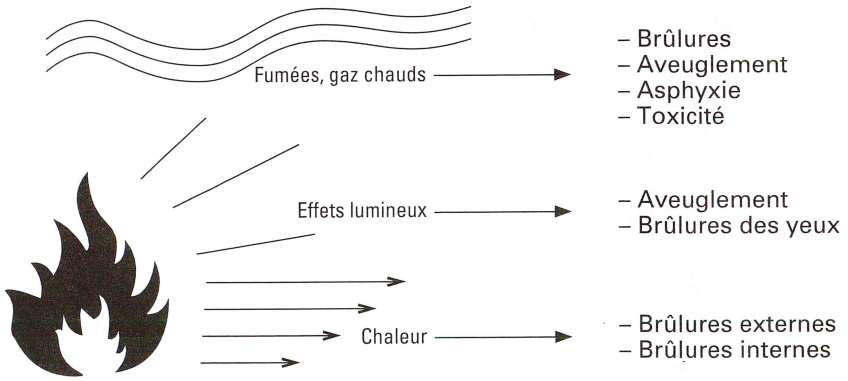
– **une énergie d'activation**, nécessaire au démarrage de la combustion (source de chaleur, étincelle...).



MODES DE PROPAGATION



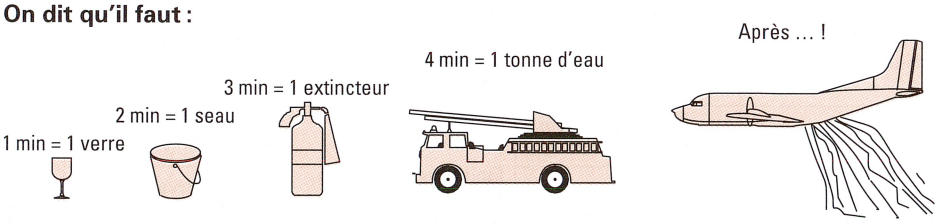
RISQUES POUR L'HOMME



MOYENS DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Le temps passé a une conséquence importante sur les moyens à mettre en œuvre pour éteindre un incendie.

On dit qu'il faut :



SYSTÈME DE SÉCURITÉ INCENDIE

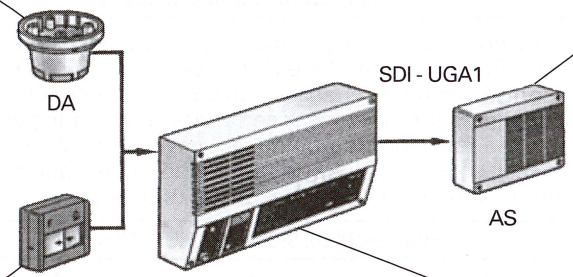
SSI Système de sécurité incendie = **SDI** Système de détection incendie + **SMSI** Système de mise en sécurité incendie

B

SYSTÈME DE DÉTECTION INCENDIE (SDI) Legrand

Le détecteur automatique (DA) se déclenche dès l'apparition d'un début d'incendie. Le voyant rouge du support de détecteur s'allume.

Tous les avertisseurs sonores (AS) de l'établissement émettent le son 2 tons pendant 5 min minimum sans possibilité d'arrêt afin de permettre l'évacuation du public.



La membrane du déclencheur manuel (DM) est activée.

UGA1 : unité de gestion d'alarme de type 1.

L'alarme restreinte est diffusée sur le tableau de signalisation. Le voyant de la zone de détection s'allume.

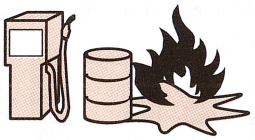
CLASSES DES FEUX

Classe A — **Feux de matériaux solides** de nature organique dont la combustion se fait normalement avec formation de braises

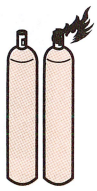


Extinction : eau

Classe B — **Feux de liquides** ou de solides liquéfiables



Classe C — **Feux de gaz**



On ne doit éteindre un feu de gaz que si l'on peut couper son alimentation.

Classe D — **Feux de métaux**



Sodium, magnésium, aluminium, uranium...

Environnement et conditions de travail

PROCÉDÉS ET MOYENS D'EXTINCTION DU FEU

Classes	Combustibles	Procédés d'extinction	Moyens d'extinction	Observations
A Feux de solides	Bois, charbon, végétaux, papiers, carton, textiles naturels.	Étouffement, refroidissement, arrêt de la réaction provoquée par l'oxygène.	Eau - jet plein, eau - jet diffusé, poudre, mousse.	Eau avec ou sans additif.
B Feux de liquides ou solides liquéfiables	Liquides inflammables : éthers, cétones, alcools.	Étouffement/inhibition. Refroidissement. Arrêt de la réaction provoquée par l'oxygène.	Poudre polyvalente, gaz inerte (CO_2...), mousses.	Si le liquide est répandu en nappe, utiliser le sable sec afin d'effectuer un barrage.
	Liquides inflammables : pétrole, kérosène, white-spirit, gasoil, huiles.		Poudre polyvalente, gaz inerte (CO_2...), mousses, additif AFFF*.	
	Matières plastiques, tissus synthétiques, caoutchouc.		Poudre polyvalente, mousse, additif AFFF*.	
C Feux de gaz	Gaz de ville, butane, propane, acétylène, méthane.	Arrêt de la réaction provoquée par la présence d'oxygène.	Poudre polyvalente, gaz inerte (CO_2...).	En cas de fuite, enflammée ou non, fermer la vanne d'arrivée de gaz.
D Feux de métaux	Aluminium, magnésium, sodium, potassium.	Arrêt de la réaction provoquée par la présence d'oxygène.	Poudres et liquides spéciaux, sable sec.	

* AFFF : agents formant un film flottant.

ORGANISATION DES SECOURS

La conception et la mise en place de l'organisation de la défense contre l'incendie constituent une responsabilité du chef d'établissement. Une des missions du CHSCT est de s'assurer de l'organisation et de l'instruction des équipes chargées du service d'incendie et de sauvetage et de veiller à l'observation des consignes formulées par ce service. Il est indispensable que tout le personnel de l'entreprise reçoive une formation particulière. Le matériel nécessaire à la lutte contre l'incendie doit faire l'objet d'un choix judicieux, d'une disponibilité permanente, d'un entretien et de visites qui garantissent la sûreté et l'efficacité de son utilisation.

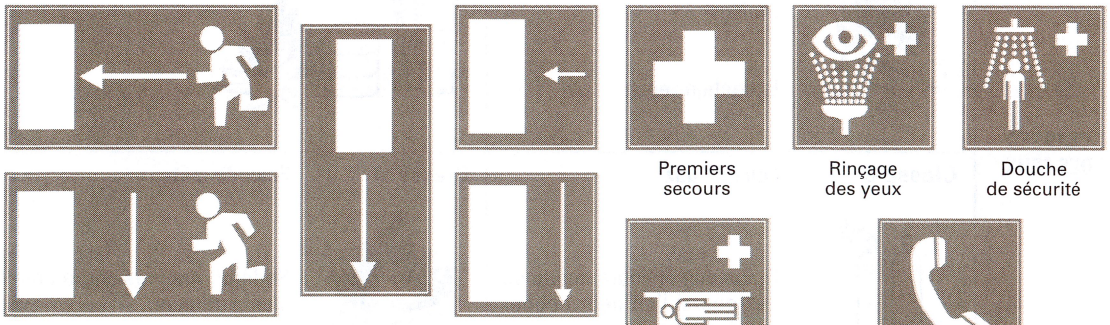
PANNEAUX DE SIGNALISATION (EXEMPLES)

• **Panneaux concernant le matériel ou l'équipement de lutte contre l'incendie** (couleur rouge)



Lance à incendie — Échelle — Extincteur — Téléphone pour la lutte contre l'incendie — Direction à suivre (signal d'indication additionnel aux panneaux ci-contre et ci-dessous)

• **Panneaux de sauvetage et de secours** (couleur verte)



Sortie et issue de secours — Premiers secours — Rinçage des yeux — Douche de sécurité — Civière — Téléphone pour le sauvetage et premiers secours

3.3.5. RISQUES ÉLECTRIQUES

INTRODUCTION

Un courant électrique de 25 milliampères (mA), soit sensiblement la dizième partie du courant qui circule dans le filament d'une lampe électrique, peut **tuer** un homme. 10 mA qui traversent le corps d'une personne pendant quelques secondes sont suffisants pour provoquer des **brûlures superficielles** ou des **troubles circulatoires ou respiratoires** qui peuvent être irréversibles.

EFFETS DU COURANT ÉLECTRIQUE SUR L'HOMME

Effet excito-moteur ou électrisation

- 5 mA → Secousses électriques
- 10 mA → Contractions musculaires
- 25 mA → Tétanisation des muscles respiratoires
  - Phénomène réversible lorsque le courant ne circule plus. Provoque une asphyxie
- 50 mA → Fibrillation ventriculaire
  - Entraîne un arrêt circulatoire qui provoque la mort de la plupart des électrisés. Phénomène irréversible, ne disparaît qu'après des soins spéciaux

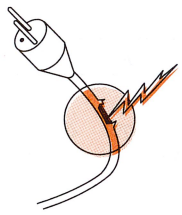
Effet thermique

→ Brûlures

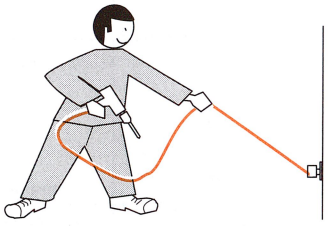
- **Électro-thermique**
  - Brûlures dues à l'énergie dissipée lors du passage du courant dans l'organisme qui atteint particulièrement les muscles
- **Par arc**
  - Brûlures indirectes dues à l'effet Joule. Elles se localisent le plus souvent sur les mains et le visage
  - Brûlures par contact dues à l'échauffement d'un élément conducteur

CAUSES

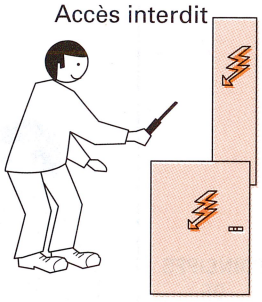
Matériel défectueux



Mauvaise manipulation du matériel



Accès interdit



CONDUITE À TENIR

Le personnel amené à intervenir sur les installations électriques doit être habilité.

Les seules commandes autorisées pour le personnel de production sont celles prévues à l'extérieur des tableaux, armoires ou coffrets (bouton-poussoir, interrupteur, disjoncteur, etc.).

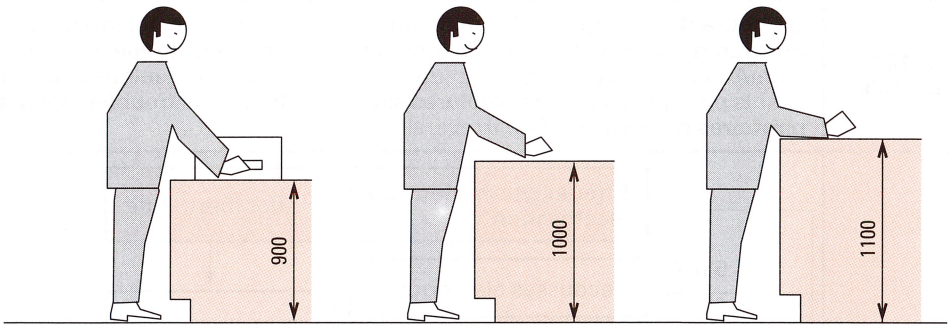
RESPECTER LES CONSIGNES DE SÉCURITÉ !



3.4. ERGONOMIE

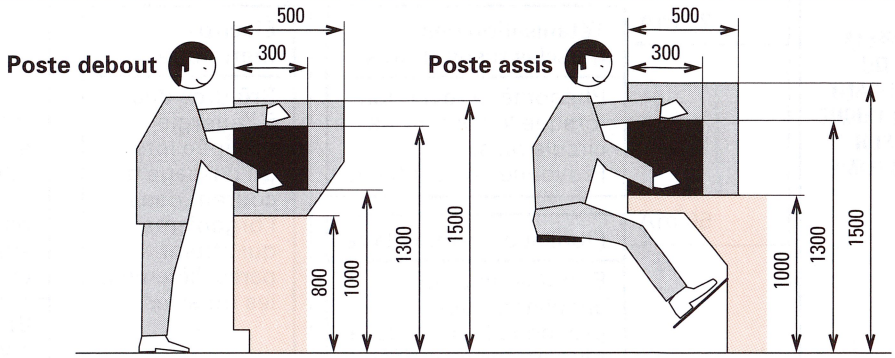
POSTURES

Hauteur des plans de travail



Prise de pièces lourdes — Liberté des membres supérieurs — Appui des avant-bras
Prise de pièces légères

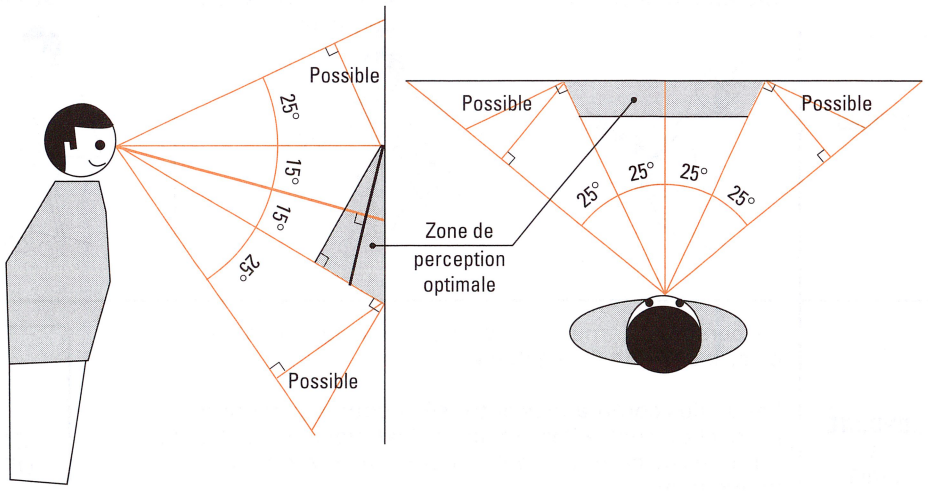
DIMENSIONS



Le volume de travail est la portion de l'espace où sont situés tous les points pouvant être atteints par l'opérateur.

PRINCIPES DE SIGNALISATION

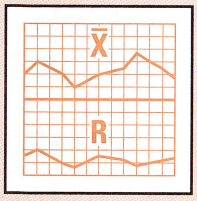
Champ de vision



Sur une machine-outil, la plupart des signaux reçus par l'opérateur sont visuels. Ils doivent être placés dans le champ de vision de l'opérateur.

Si le signal est fréquent, il devra être dans la zone de perception optimale.

C Contrôle qualité



1. Contrôle de la qualité au poste de travail



1.1. Moyens de mesurage et de contrôle 158
1.1.1. Instruments de mesure coulissants (mesure directe) 158
1.1.2. Instruments de mesure à vis micrométrique (mesure directe) 161
1.1.3. Instruments de comparaison (mesure indirecte) 163
1.1.4. Calibres de contrôle 164
1.1.5. Auxiliaires de contrôle 166
1.1.6. Calibres et mesureurs d'angles 167
1.1.7. Étalons de rugosité 168
1.1.8. Mesureurs électroniques 168

1.2. Techniques de vérification 169
1.2.1. Mise en œuvre d'une vérification 169
1.2.2. Vérification des spécifications dimensionnelles 171
1.2.3. Vérification des spécifications géométriques d'orientation 173

1.3. Erreurs de mesure 174

1.4. Consignation des informations et des mesures 178
1.4.1. Suivi statistique de la production 178
1.4.2. Carte de contrôle 179
1.4.3. Journal de bord 184

2. Démarche qualité



2.1. Compétitivité des produits industriels 185
2.1.1. Cycle de vie d'un produit 185
2.1.2. Coûts 186
2.1.3. Choix d'un modèle d'assurance qualité 187
2.1.4. Coût de la non-qualité 188
2.1.5. Analyse de la valeur 189

2.2. Analyse fonctionnelle des produits industriels 190
2.2.1. Cahier des charges fonctionnel (CdCF) 190
2.2.2. Histogramme 192
2.2.3. Diagramme « causes-effets » ou « d'Ishikawa » ou « en arête de poisson » 192
2.2.4. Matrice de décision 193
2.2.5. « Brainstorming » 193
2.2.6. Diagramme de Pareto 193
2.2.7. Réseau ou diagramme PERT 194

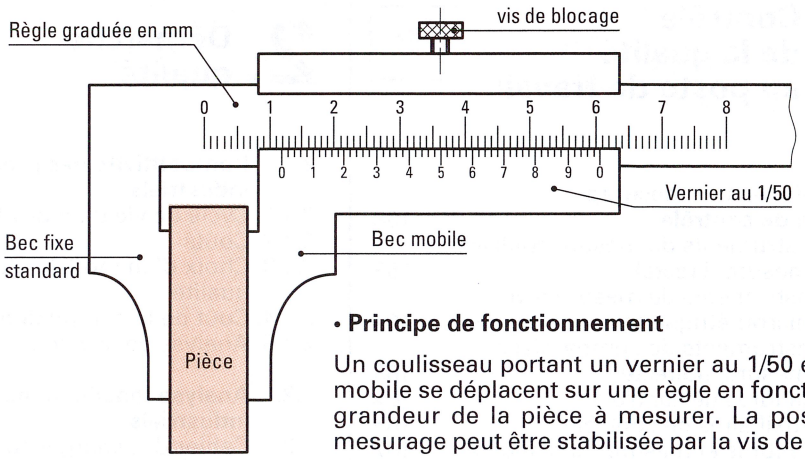
1. CONTRÔLE DE LA QUALITÉ AU POSTE DE TRAVAIL

1.1. MOYENS DE MESURAGE ET DE CONTRÔLE

1.1.1. INSTRUMENTS DE MESURE COULISSANTS (mesure directe)

PIEDS À COULISSE (NF E 11-091)

LECTURE DE LA DIMENSION SUR **VERNIER.**



• Principe de fonctionnement

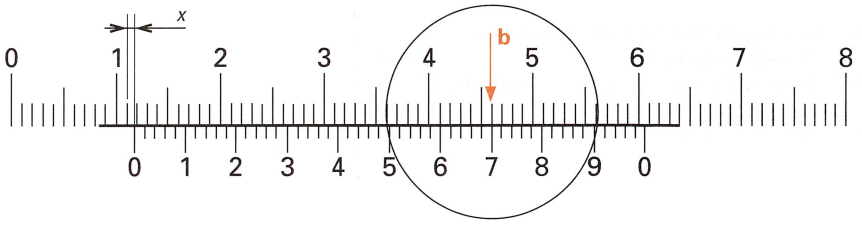
Un coulisseau portant un vernier au 1/50 et un bec mobile se déplacent sur une règle en fonction de la grandeur de la pièce à mesurer. La position de mesurage peut être stabilisée par la vis de blocage.

• Principe de lecture

a) Lire un nombre entier de mm sur la règle juste à gauche du zéro du vernier : **11**.



b) Lire la fraction de mm (x) sur le vernier.



Repérer la coïncidence des graduations entre la règle et le vernier en appliquant la méthode des écarts symétriques

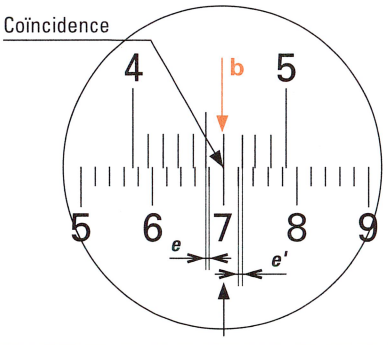
$$e = e'$$

Puis multiplier le nombre de graduations lues sur le vernier du 0 à la coïncidence par 1/50 ou 0,02

$$35 \times 0{,}02 = \boxed{0{,}70}$$

Expression du résultat brut de mesurage :

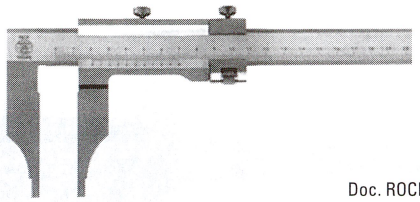
$$M = 11{,}70 \pm 0{,}02$$



PIEDS À COULISSE (NF E 11-091) (suite)

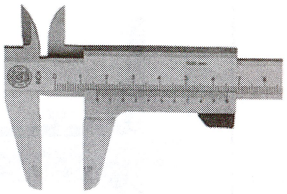
LECTURE SUR CADRANS

Pied à coulisse avec **becs normaux**



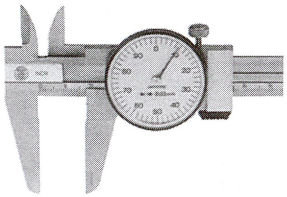
Doc. ROCH

Pied à coulisse avec **becs fins**



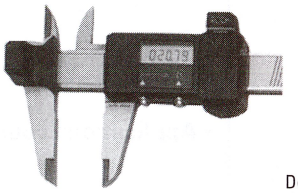
Doc. ROCH

LECTURE DE LA DIMENSION SUR **CADRAN**



Doc. ROCH

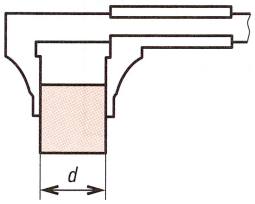
LECTURE DE LA DIMENSION **NUMÉRISÉE**

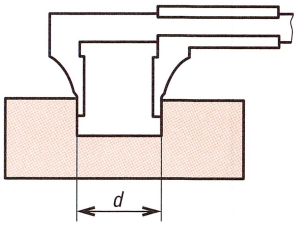


Doc. ROCH

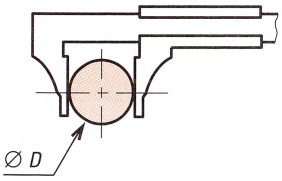
• **Applications courantes**

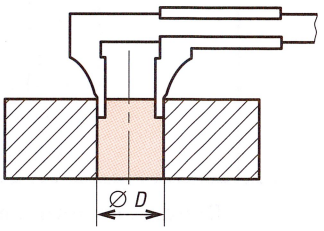
Distance entre faces parallèles



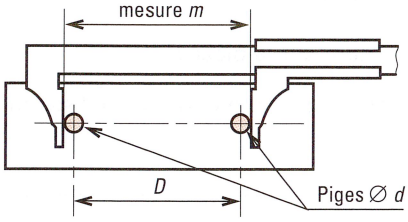


Diamètres

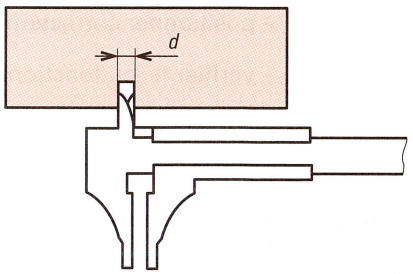




Entraxes



Cas particulier : dimension intérieure inférieure à l'épaisseur des becs du pied à coulisse



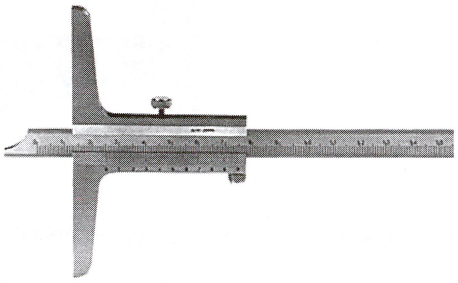
Calcul de la cote : $D = m - d$

Attention au respect du principe d'Abbé, p. 175.

Moyens de mesurage et de contrôle

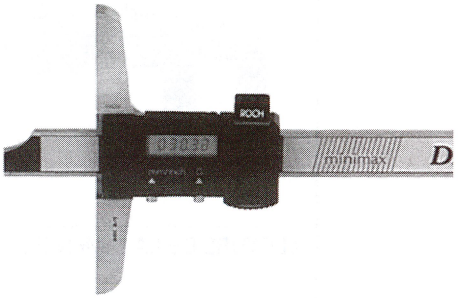
JAUGES DE PROFONDEUR

LECTURE DE LA DIMENSION SUR **VERNIER**



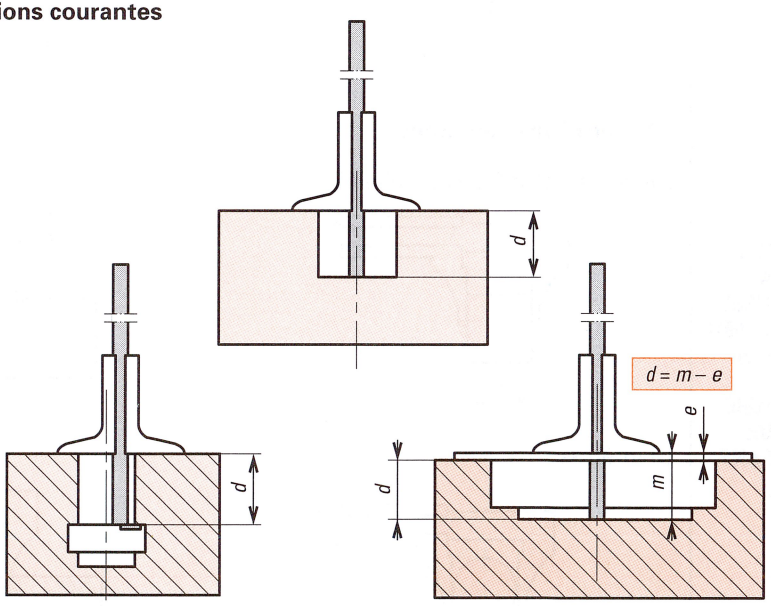
Doc. ROCH

LECTURE DE LA DIMENSION **NUMÉRISÉE**



Doc. ROCH

• **Applications courantes**



Avec talon rotatif

Avec semelle amovible

UTILISATION

Conditions normales d'utilisation :

– se placer en face des graduations pour détecter la coïncidence ;

– exercer une pression limitée sur les becs ;

– positionner correctement l'instrument sur la pièce ;

– vérifier le jeu fonctionnel de la liaison glissière entre le coulisseau et la règle.

INCERTITUDE DE MESURAGE

Pour les instruments de mesure coulissants, l'incertitude de mesurage minimale est de :

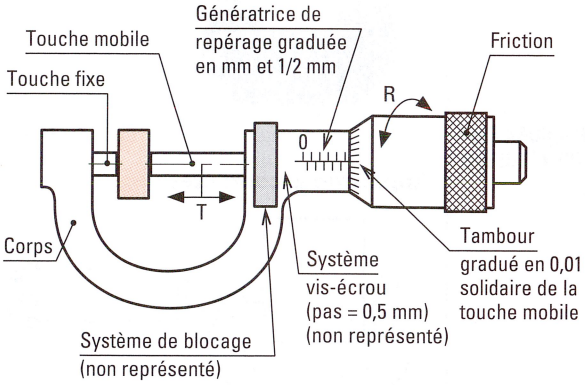
± 0,02 mm

1.1.2. INSTRUMENTS DE MESURE À VIS MICROMÉTRIQUE (mesure directe)

LECTURE DE LA DIMENSION SUR **VERNIER**

• Principe de fonctionnement

Une touche mobile se déplace en translation à partir d'une rotation donnée par l'opérateur sur la friction du tambour gradué. Le fonctionnement de l'instrument s'appuie sur le système vis-écrou. La position du mesurage peut être stabilisée par un système de blocage.

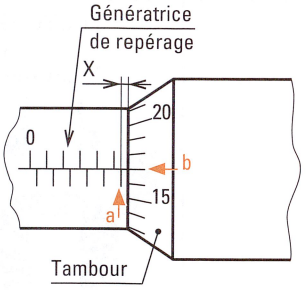


• Principe de lecture sur micromètre d'extérieur à vernier

a) Lire le nombre entier de millimètres et de 1/2 mm sur la génératrice de repérage (dernière graduation découverte par le tambour) :

5,5

⚠ Ne pas oublier le demi-millimètre (erreur parasite).



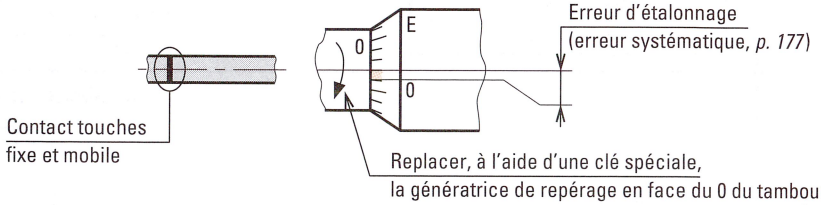
b) Lire la fraction de millimètre (X) sur le tambour gradué en 0,01 : 17 × 0,01 = **0,17**

Expression du résultat brut de mesurage **$M = 5{,}67 \pm 0{,}01$**

• Conditions normales d'utilisation

1° Procéder à la vérification de l'étalonnage avant utilisation.

Exemple : étalonnage d'un micromètre extérieur plage 0,25 mm.



Remarque : pour l'étalonnage des autres micromètres, utiliser les étalons fournis.

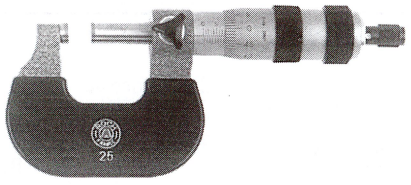
2° Utiliser impérativement le limiteur de pression (système de friction) lors de la mise en contact de la touche mobile sur la pièce.

3° Positionner correctement l'instrument sur la pièce (*respect du principe d'Abbé, p. 175*).

Moyens de mesurage et de contrôle

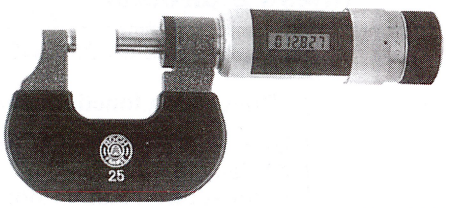
MICROMÈTRES D'EXTÉRIEUR

LECTURE DE LA DIMENSION SUR **VERNIER**



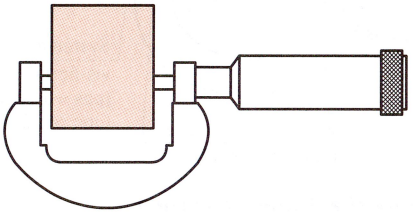
Doc. ROCH

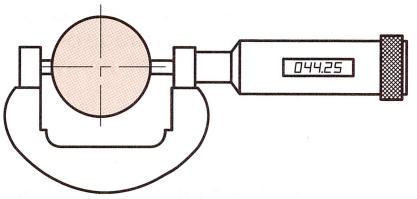
LECTURE DE LA DIMENSION **NUMÉRISÉE**



Doc. ROCH

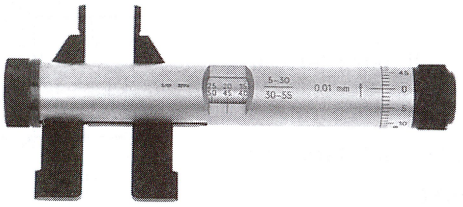
Applications courantes





MICROMÈTRES D'INTÉRIEUR

LECTURE DE LA DIMENSION SUR **VERNIER**
Micromètre à becs d'intérieur



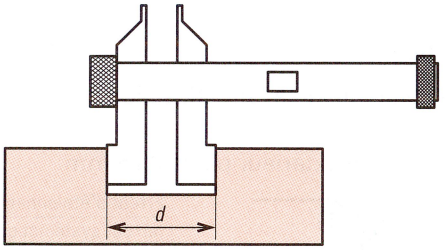
Doc. ROCH

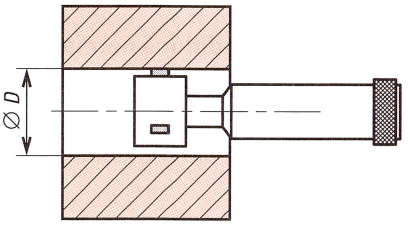
LECTURE DE LA DIMENSION SUR **VERNIER**
Alésomètre 3 touches



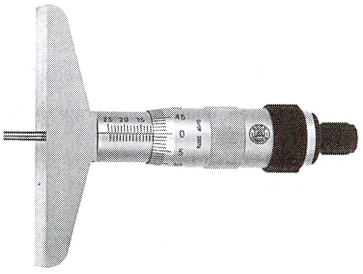
Doc. ROCH

Applications courantes



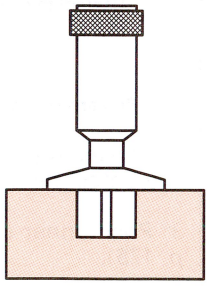


JAUGE MICRO-MÉTRIQUE DE PROFONDEUR



Doc. ROCH

Application courante



1.1.3. INSTRUMENTS DE COMPARAISON (mesure indirecte)

COMPA-RATEURS À CADRAN

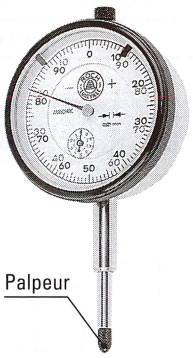
COMPARATEUR À CADRAN

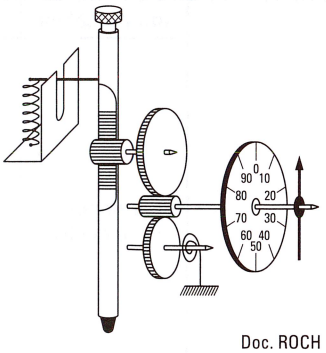
• Principe de fonctionnement

Le comparateur à cadran utilise un système d'amplification mécanique par pignon crémaillère et train d'engrenages.

Pour un déplacement de 1 mm du palpeur lié à la crémaillère, l'aiguille liée au pignon terminal de la chaîne cinématique fait 1 tour. Le cadran étant divisé en 100 graduations, chaque graduation est égale à :

$\frac{1\ mm}{100}$, soit **0,01**.





Doc. ROCH

• Principales utilisations

– Mesurer l'écart ***e*** entre un étalon et une pièce à mesurer.

– Réaliser les différents réglages géométriques sur la machine (*voir p. 110-113*).

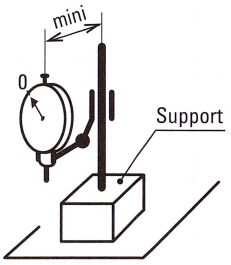
Par son importante plage de mesurage (10 mm), sa précision (± 0,01) et sa commodité d'utilisation, le comparateur à cadran est très employé dans ce créneau.

• Conditions normales d'utilisation

– Vérifier, avant usage, la fidélité de réponse (retour à la même graduation).

– Vérifier le vissage du palpeur.

– Réduire les porte-à-faux lors du montage du comparateur sur le support (ci-contre).

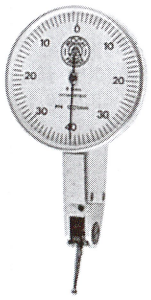


COMPARATEUR À **CADRAN NUMÉRIQUE**



Doc. ROCH

COMPARATEUR À **LEVIER**



Doc. ROCH

INCERTITUDE DE MESURAGE

L'incertitude de mesurage courante est de **± 0,01 mm**.

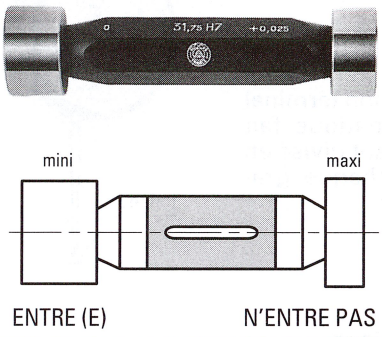
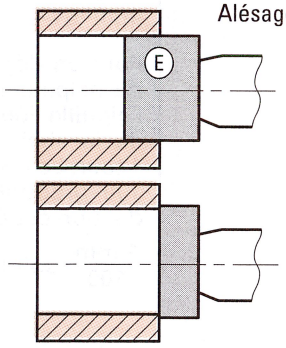
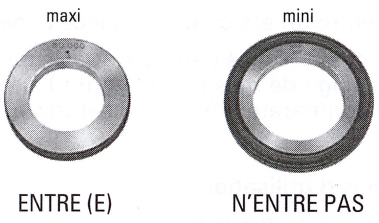
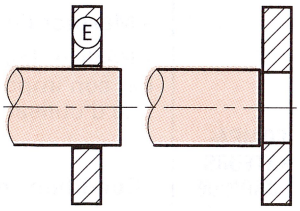
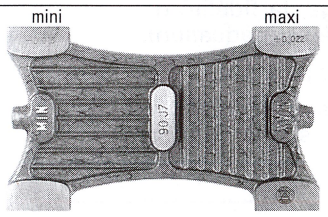
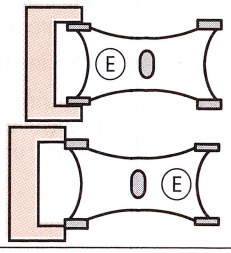
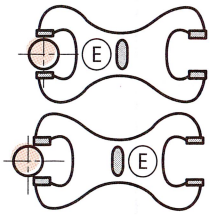
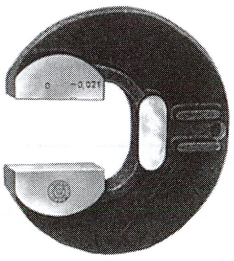
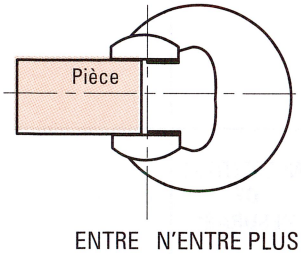
C

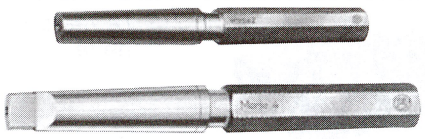
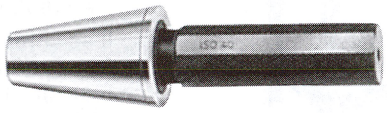
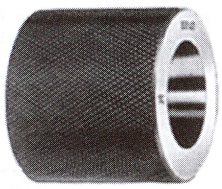
1.1.4. CALIBRES DE CONTRÔLE

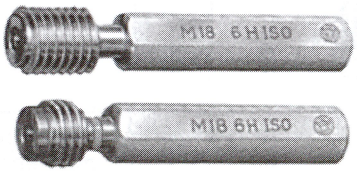
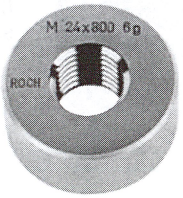
DÉFINITION

Ce sont des instruments sur lesquels sont matérialisées les valeurs limites maximale et minimale d'une spécification à contrôler.
L'une de ces valeurs limites doit entrer, l'autre limite ne doit pas entrer pour que la spécification soit respectée et que la pièce soit bonne.

CALIBRES À LIMITES

Identification	Visualisation Doc. ROCH	Utilisation
Tampon lisse double		
Bagues lisses		
Jauge plate double		
Calibre à mâchoires à l'opposé		
Calibre à mâchoires à l'enfilade		

	Identification	Visualisation Doc. ROCH	Utilisation
CALIBRES LISSES	**Tampon** lisse conique		Alésages coniques cônes morse n°s 1 à 6
			Alésages coniques cônes 7/24 (SA 30 à 60)
	Bague lisse conique		Arbres coniques cônes morse n°s 1 à 6
			Arbres coniques cônes 7/24 (SA 30 à 60)

	Identification	Visualisation	Utilisation
CALIBRES FILETÉS	**Tampon** fileté double	 ENTRE N'ENTRE PAS	Écrou
	Tampons filetés simples	ENTRE  N'ENTRE PAS	Écrou
	Bague filetée		Vis M2 à M68

C

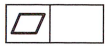
1.1.5. AUXILIAIRES DE CONTRÔLE

MARBRE



Doc. ROCH

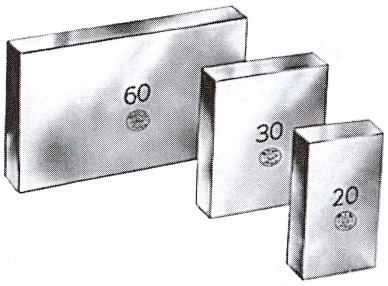
Le marbre constitue la **référence de planéité**.



Il est réalisé :
- en fonte stabilisée ;
- en granit gris ou noir ;
- en diabase.

Il se caractérise par :
- sa grande précision,
- sa grande stabilité et son indéformabilité.

CALES ÉTALONS

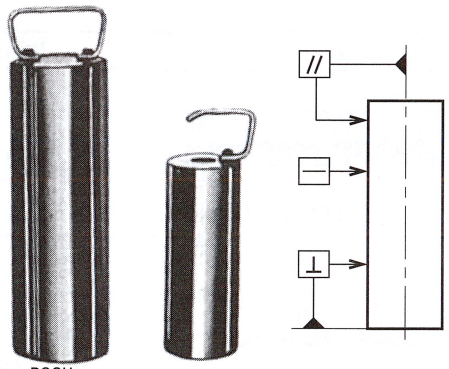


Doc. ROCH

Ces étalons prismatiques, en acier spécial traité, constituent la **référence de longueur**.

Ils se caractérisent par :
- leur grande précision géométrique et dimensionnelle,
- leur grande qualité de surface,
- leur grande dureté superficielle,
- leur indéformabilité.

CYLINDRES ÉTALONS

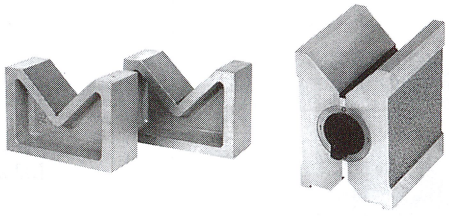


Doc. ROCH

Ces étalons cylindriques, en acier spécial traité, constituent la **référence de cylindricité et de perpendicularité**.

Ils se caractérisent par :
- la rectitude précise des génératrices,
- le parallélisme de la génératrice à l'axe du cylindre,
- la perpendicularité de la génératrice à la base du cylindre.

VÉ, ÉQUERRE, DÉ



Doc. ROCH

Ces accessoires sont nécessaires à la mise en situation des pièces à mesurer ou de certains appareils de contrôle.

Ils se caractérisent par leur grande précision géométrique.

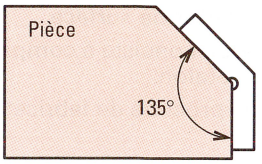
Certains vés sont magnétiques afin de les immobiliser sur des supports métalliques.

1.1.6. CALIBRES ET MESUREURS D'ANGLES

ÉQUERRES

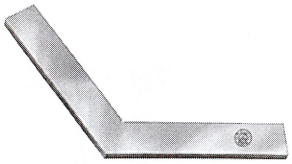
Ce sont des calibres, en acier spécial trempé, constitués de deux branches qui forment entre elles un angle donné.

Application

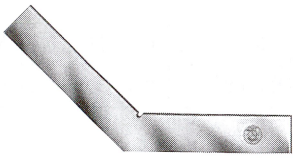




Équerre à 90°



Équerre à 120°



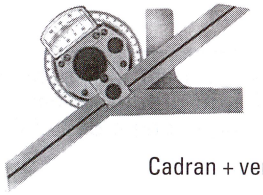
Équerre à 135°

Doc. ROCH

RAPPORTEURS D'ANGLES

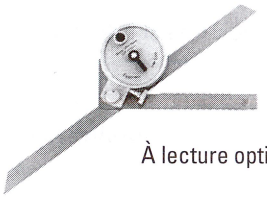
• **Principe de fonctionnement**

Une règle mobile se déplace autour d'un axe par rapport à une règle fixe solidaire de l'axe.



Cadran + vernier

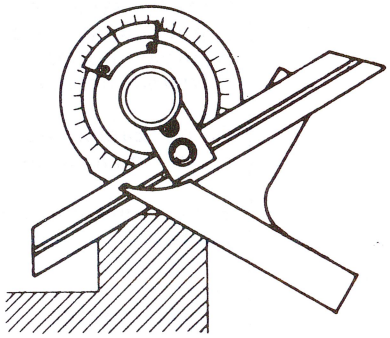
Doc. ROCH



À lecture optique

Doc. ROCH

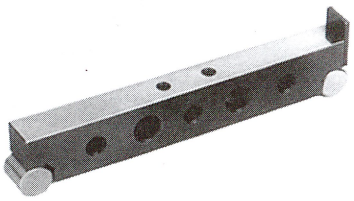
• **Application**



BARRE SINUS SIMPLE

• **Principe de fonctionnement**

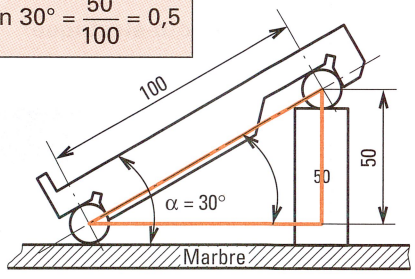
Une barre est articulée autour d'un axe et son positionnement est obtenu par l'utilisation de cales étalons (*voir p. 166*) selon la règle trigonométrique du sinus d'un angle.



Doc. ROCH

• **Application**

$$\sin 30° = \frac{50}{100} = 0{,}5$$



C

1.1.7. ÉTALONS DE RUGOSITÉ

• **Principe**

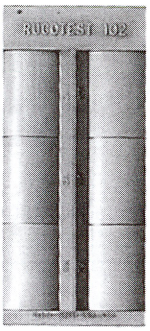
Ces étalons sont des échantillons reproduisant le relief de surfaces réelles. Ils constituent la **référence de l'état de surface**.

La méthode consiste à comparer visuellement et tactilement l'état de surface de la pièce usinée à celui de l'étalon.

À chaque procédé de fabrication correspond un étalon de rugosité.

TOURNAGE

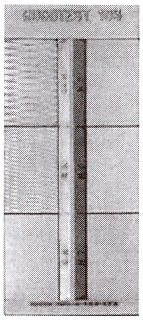
N°	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Ra µm	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5



Doc. ROCH

FRAISAGE EN BOUT

N°	N5	N6	N7	N8	N9	N10
Ra µm	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5



Doc. ROCH

1.1.8. MESUREURS ÉLECTRONIQUES

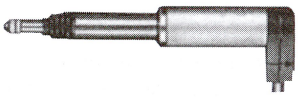
PALPEURS

Dans les systèmes de fabrication actuels, il est indispensable de connaître et de communiquer au plus tôt la conformité du produit. C'est pourquoi des postes de contrôle informatisés sont intégrés à chaque étape de la fabrication. (*Voir partie D, Systèmes de métrologie, p. 220*.)

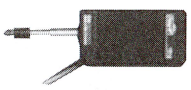
De nombreux instruments numérisés sont équipés de liaisons séries permettant la connexion au système informatique.

Sur certains montages de contrôle, la mesure est effectuée par l'intermédiaire de **palpeurs**.

Palpeur **inductif**

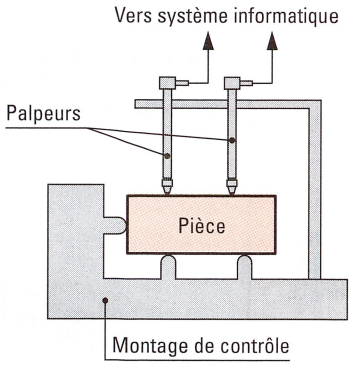


Palpeur **photo-électrique**



Doc. MAHR

Application



1.2. TECHNIQUES DE VÉRIFICATION

1.2.1. MISE EN ŒUVRE D'UNE VÉRIFICATION

DÉFINITIONS

Vérification : la vérification a pour but de confirmer par mesurage et/ou contrôle que les exigences indiquées sur le *dessin de définition* ont été satisfaites.

Mesurage : le mesurage est l'ensemble des opérations ayant pour but de déterminer la valeur d'une grandeur (longueur, angle...).

Contrôle : le contrôle est l'ensemble des opérations ayant pour but de vérifier si la valeur d'une grandeur se trouve bien entre les limites de tolérance qui lui sont imposées sur le dessin de définition.

PROCÉDURE DE MISE EN ŒUVRE

1re étape : préparation de la vérification

– Inventaire des éléments géométriques à mesurer sur le dessin de définition ;
– choix des méthodes et des instruments de mesurage et de contrôle ;
– ordonnancement des opérations de mesurage et de contrôle ;
– rédaction d'une gamme ou fiche de contrôle.
(*Voir exemple p. 170.*)

⇩

2e étape : exécution de la vérification

– Vérification de la propreté et de l'ébavurage des pièces ;

– étalonnage des instruments de mesure ;

– réalisation de plusieurs mesurages (3 minimum).

⇩

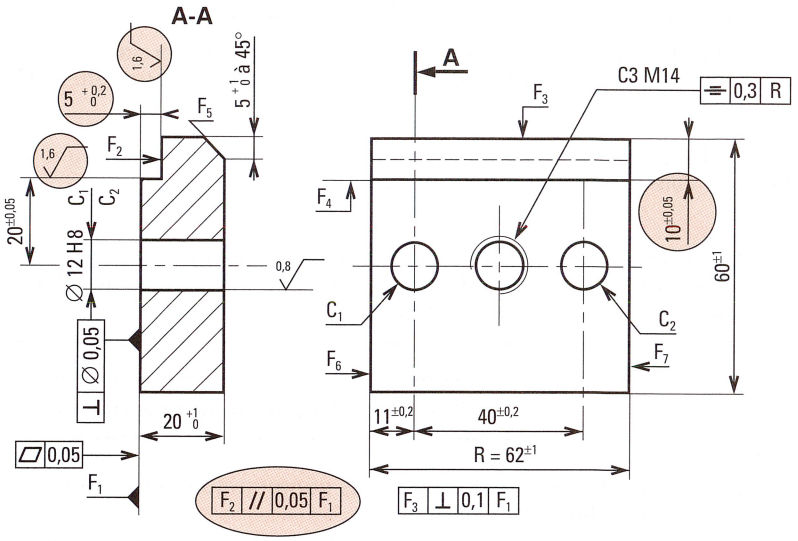
3e étape : exploitation de la vérification

– Détermination des valeurs moyennes des dimensions mesurées ;

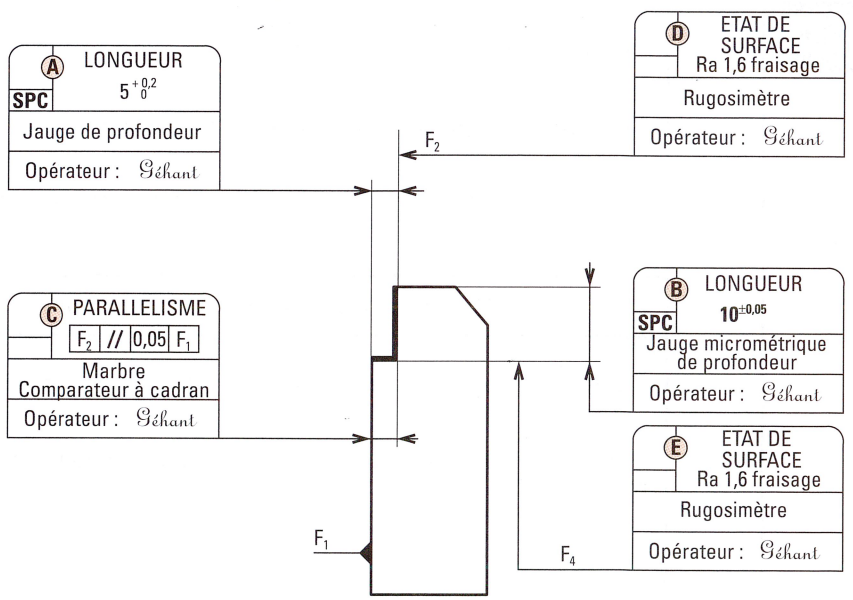
– report sur document ou sur calculateur des résultats des mesures réalisées.

EXEMPLE DE FICHE DE CONTRÔLE

Dessin de définition : Mors mobile - Étau de table



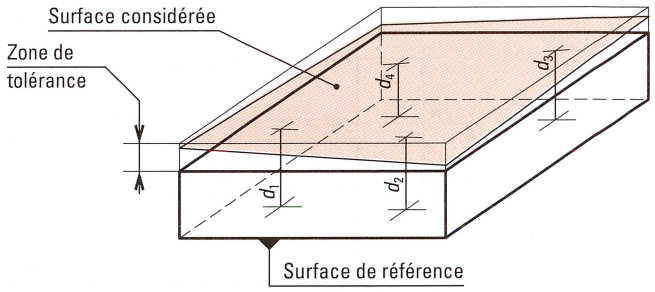
PHASE DE CONTRÔLE	Ensemble : Étau de table Pièce : Mors mobile						BUREAU DES MÉTHODES
PHASE N° 50	FRAISAGE						SUIVI SPC
Fréquence de contrôle :	Systématique	1 h	2 h	4 h	8 h	Cas particulier :	
Nombre de pièces par prélèvement							
Lieu du contrôle :	Poste	Laboratoire	Nom du responsable : Géhant				



1.2.2. VÉRIFICATION DES SPÉCIFICATIONS DIMENSIONNELLES

MESURAGE ENTRE DEUX PLANS

• **Analyse de la spécification : *D* ± *a***

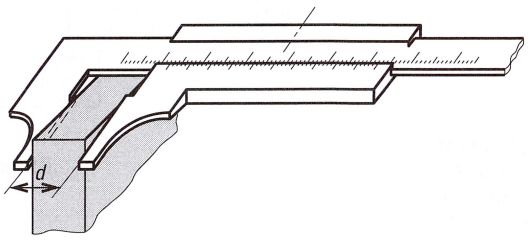


Dans l'exemple ci-dessus, il faudra mesurer les distances d_1, d_2, d_3 et d_4 pour vérifier si tous les points de l'élément considéré sont bien contenus dans la zone de tolérance.

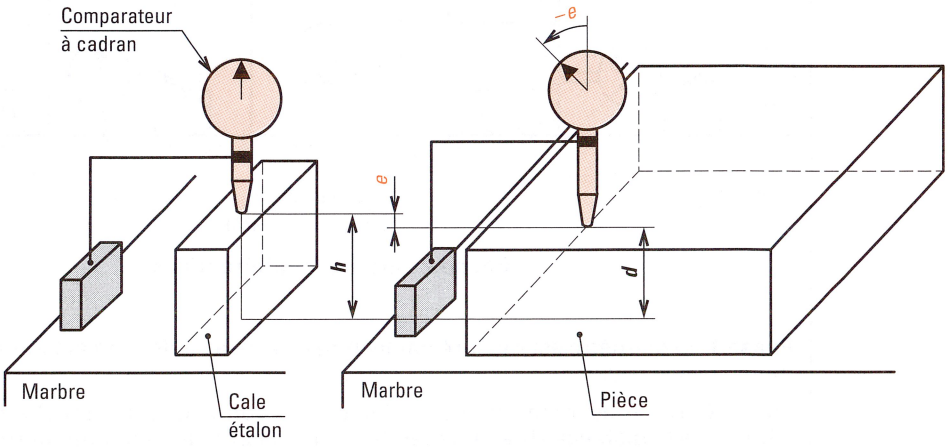
Remarque : les défauts de forme des surfaces sont négligés.

• **Mesurage par lecture directe**

Principe :
Mesure à l'aide d'un instrument à lecture directe des dimensions entre la surface de référence et la surface considérée.



• **Mesurage indirect par méthode différentielle**

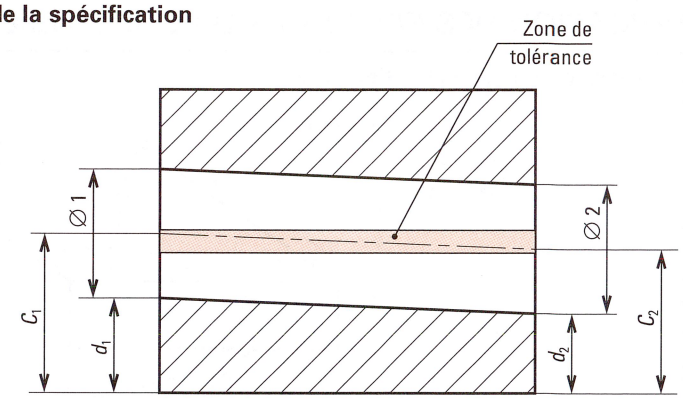


Phase 1 **Phase 2**

Principe
Phase 1 : le comparateur est étalonné (mise à zéro) sur une cale étalon de hauteur ***h*** déterminée en fonction de la spécification donnée par le dessin de définition.
Phase 2 : la pièce est ensuite mise à la place de la cale. L'écart *e* entre les deux lectures permet de déterminer la dimension de la pièce : $\boxed{d = h - e}$.

MESURAGE ENTRE UN AXE ET UN PLAN

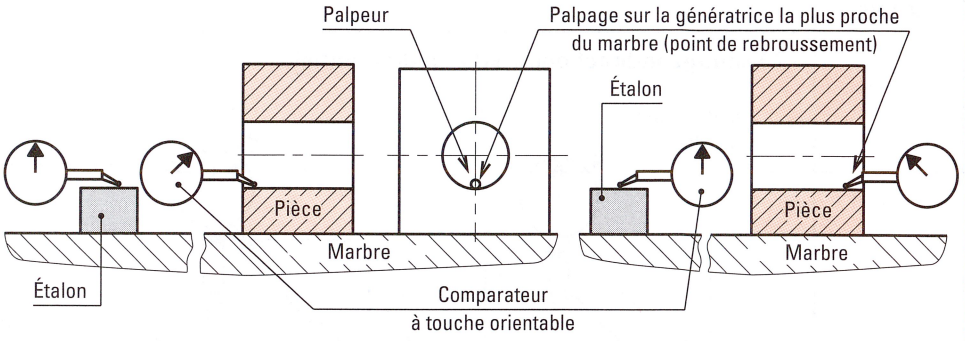
• Analyse de la spécification



• Méthode de mesure



Phase 1 : lecture directe



Phase 2 : méthode différentielle

Phase 1 : le diamètre est mesuré par lecture directe à l'aide d'un alésomètre, on détermine ainsi le rayon ***r***.

Phase 2 : par mesurage indirect, à l'aide d'un comparateur à touche orientable, on détermine la distance ***d*** de la génératrice la plus proche (point de rebroussement) au plan.

Phase 3 : calcul de la distance du plan à l'axe :

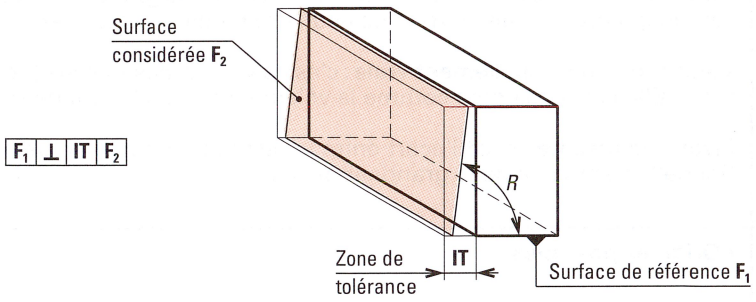
$$C = r + d$$

Ces opérations sont réalisées de chaque côté de la pièce.

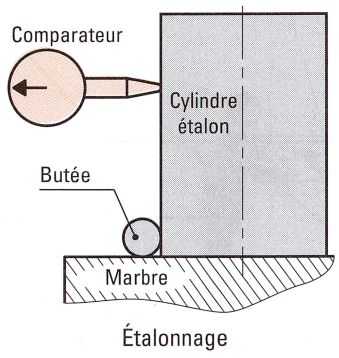
1.2.3. VÉRIFICATION DES SPÉCIFICATIONS GÉOMÉTRIQUES D'ORIENTATION

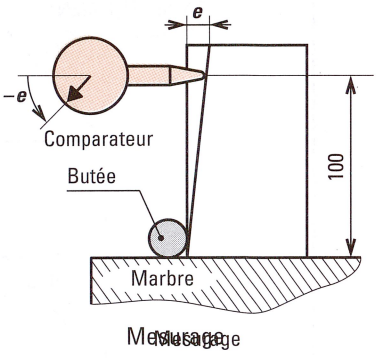
PERPENDICULARITÉ ENTRE DEUX PLANS

• **Analyse de la spécification**



• **Méthode de mesure**

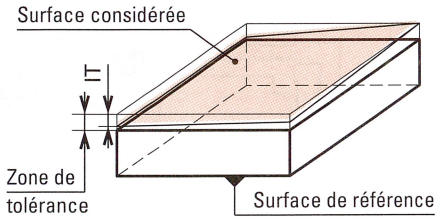




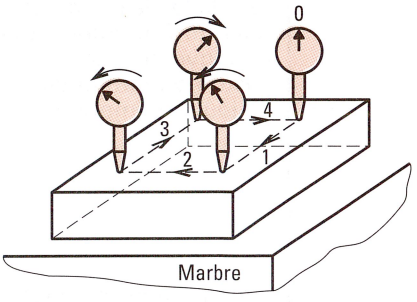
Phase d'étalonnage : le comparateur est mis à zéro par palpage sur la génératrice d'un cylindre étalon en contact avec la butée (point de rebroussement).
Phase de mesurage : la surface de référence de la pièce est posée sur le marbre, la surface considérée en contact avec la butée. La variation lue sur le comparateur permet de déterminer la valeur de ***e***.

PARALLÉLISME ENTRE DEUX PLANS

• **Analyse de la spécification**



• **Méthode de mesure**



Principe
On déplace le comparateur, après l'avoir étalonné sur un point de la surface considérée, selon les directions parallèles aux arêtes.
La variation lue sur le comparateur permet de déterminer la valeur de ***e*** : $e \leqslant IT$

1.3. ERREURS DE MESURE

DÉFINITIONS

Grandeur : caractéristique d'une pièce pouvant être désignée (nommée) et évaluée (quantifiée).

Valeur : expression d'une grandeur par un nombre et une unité de mesure.

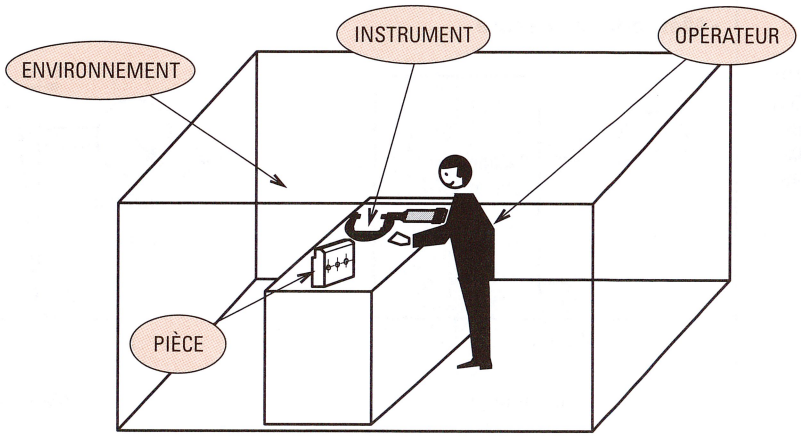
Valeur vraie : c'est la valeur exacte (ou réelle) d'une grandeur. C'est une notion idéale car, en général, la valeur vraie ne peut être connue exactement.

Valeur conventionnellement vraie : c'est la valeur mesurée la plus proche de la valeur vraie. Elle est considérée comme la valeur exacte de la grandeur.

Erreur de mesure : c'est l'écart entre le résultat d'un mesurage et la valeur conventionnellement vraie de la grandeur mesurée.

ORIGINES DES ERREURS DE MESURE

• **Origines possibles :**

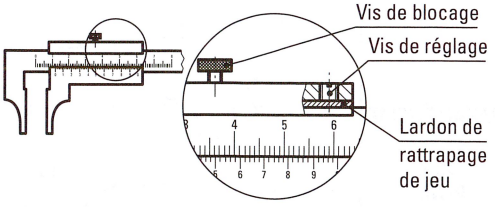


• **Erreurs dues à l'instrument**

Elles proviennent :

– de sa mauvaise qualité (*voir p. 176*) ;

– d'un mauvais fonctionnement : jeu, frottement... Par exemple, un serrage trop fort de la vis de réglage peut provoquer un frottement source d'erreur. À l'inverse, son desserrage ou l'usure du lardon peuvent entraîner un jeu trop important ;



– d'un mauvais entretien de l'instrument : déformation des becs ou des palpeurs, usure, graduations illisibles...

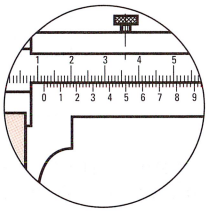
ORIGINES DES ERREURS DE MESURE (suite)

C

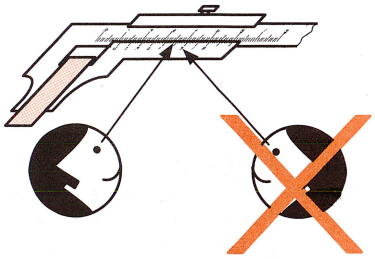
• Erreurs dues à l'opérateur

Elles proviennent :

– d'une mauvaise lecture des indications données par l'instrument de mesure ;

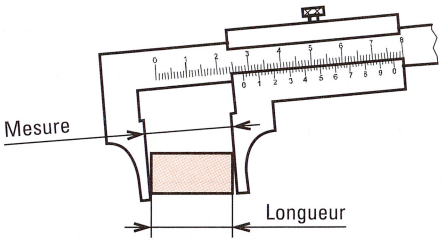


Difficulté de lecture : erreur de concordance

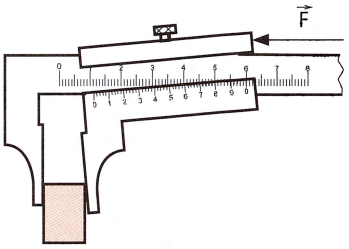


Erreur de parallaxe

– d'une manipulation incorrecte.



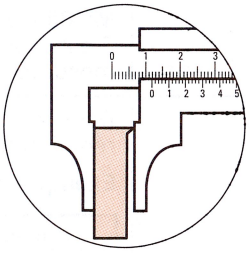
Conséquence du non-respect du principe d'Abbé : mesure > longueur



Pression d'utilisation trop élevée et utilisation du bout des becs

• Erreurs dues à la pièce

Elles proviennent essentiellement de la présence d'éléments parasites entre la surface mesurée et la touche de l'instrument de mesure : bavures, copeaux...



• Erreurs dues à l'environnement

Elles proviennent en particulier :

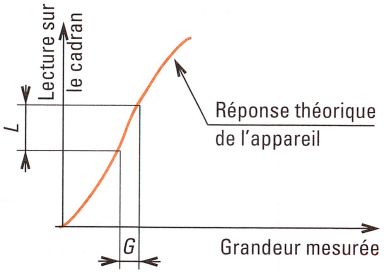
– de la température ambiante (20 °C),
– du champ magnétique,
– du taux d'humidité (hygrométrie),
– de la pression...

IMPORTANT : La mesure de la pièce sur le poste de travail s'inscrit dans une démarche « qualité » et peut avoir des conséquences importantes sur le processus de fabrication (*voir p. 178*).

Erreurs de mesure

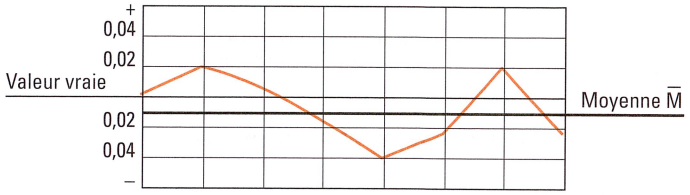
QUALITÉS MÉTROLOGIQUES DES APPAREILS DE MESURE

SENSIBILITÉ
C'est l'aptitude d'un appareil à indiquer une variation importante du signal de lecture sur le cadran lorsque la variation de la grandeur mesurée est faible.



FIDÉLITÉ
C'est l'aptitude d'un appareil de mesure à donner, pour une même valeur de la grandeur mesurée et dans des conditions d'utilisation définies, des indications concordantes entre elles.

Graphe d'une expérimentation de mesurages d'une cale étalon au pied à coulisse



JUSTESSE
C'est l'aptitude d'un instrument à donner des indications exemptes d'erreurs. La justesse dépend :
– de la qualité de fabrication de l'instrument,
– du soin apporté lors de l'étalonnage.

EXACTITUDE
C'est l'aptitude d'un instrument à donner des indications proches de la valeur conventionnellement vraie.

DÉRIVE
La dérive est la lente variation au cours du temps d'une caractéristique métrologique d'un instrument de mesure.

MOBILITÉ
C'est l'aptitude d'un instrument à répondre aux petites variations de la grandeur mesurée.

VÉRIFICATION DES APPAREILS DE MESURE

Dans le cadre d'une démarche **qualité**, les appareils de mesure doivent être vérifiés régulièrement (gestion informatisée – Norme ISO 9000).

Exemple de fiche informatique (logiciel Qualigest – Société ABS Informatique)

FICHE DE VÉRIFICATION	ABS INFORMATIQUE	**PIEDS À COULISSE**	Qualigest © 1996
Identification : PAC 002 Norme : NFE 11091	Désignation : Pied à coulisse État de l'instrument : En service		Longueur de mesurage en mm : 150 Valeur d'échelon : 0,02
Visa : JH Repère : A Coût : 500 Fabricant : MITUTOYO Procédure maintenance : 462325	Date de réception : 01/01/97 Affectation : ATELIER Périodicité : 6 mois		Date de mise en service : 20/05/97 N° de série : 456432 Prochaine vérification : 20/11/97

Vérification N° 1

Date de vérification : 20/05/97	Température : 20 °C	Hygrométrie : 55	Fait par : AG	N° PV : 45646565

CRITÈRES	RÉSULTAT
EXAMEN VISUEL ET TACTILE	Bon
EFFORT DE MESURAGE	10
ERREUR DE JUSTESSE DU 0	Ej(0) = +/– : 10 micr.
ERREUR DE JUSTESSE	A 75 mm : Ej = +/– 20 micr.
ERREUR DE FIDÉLITÉ	Côté extrémité à 75 mm : Ef = +/– 10 micr.

DÉCISION : BON POUR LE SERVICE

CLASSIFICATION DES ERREURS

ERREUR SYSTÉMATIQUE

Définition

L'erreur de mesure est dite systématique lorsqu'elle reste constante ou qu'elle varie de façon connue lors de plusieurs mesurages.

Exemples

– **Erreur de justesse :** les espacements entre les graduations d'un pied à coulisse ne sont pas réguliers.

– **Erreur d'étalonnage :** lorsque les graduations « zéro » ne coïncident pas sur les touches fixe et mobile d'un micromètre d'extérieur à vernier.

ERREUR ALÉATOIRE (OU ACCIDENTELLE)

Définition

L'erreur de mesure est dite aléatoire ou accidentelle lorsqu'elle varie de façon imprévisible quand on effectue un grand nombre de mesures identiques dans des conditions semblables.

Exemples

– **Erreur de fidélité :** la tige d'un comparateur est grippée et ne revient pas toujours dans la même position.

– **Erreur de lecture :** l'opérateur fait une mauvaise interprétation de la lecture de la mesure (erreur de parallaxe).

ERREUR PARASITE

Définition

L'erreur est dite parasite lorsqu'elle est la conséquence d'une erreur grossière de l'opérateur au cours d'une opération de mesurage.

Exemples

– **Erreur de lecture au micromètre :** l'opérateur oublie la rotation d'un tour de vernier (0,5 mm).

– **Erreur de manipulation :** lors de la mesure de diamètre d'un cylindre, les touches de l'appareil de mesure ne sont pas sur les génératrices opposées.

RÔLE DE L'OPÉRATEUR

L'**opérateur** joue un rôle essentiel dans le bon déroulement d'une opération de mesurage.

Il doit être attentif :

– au choix et à la qualité des appareils de mesure,

– à la manipulation de ces appareils,

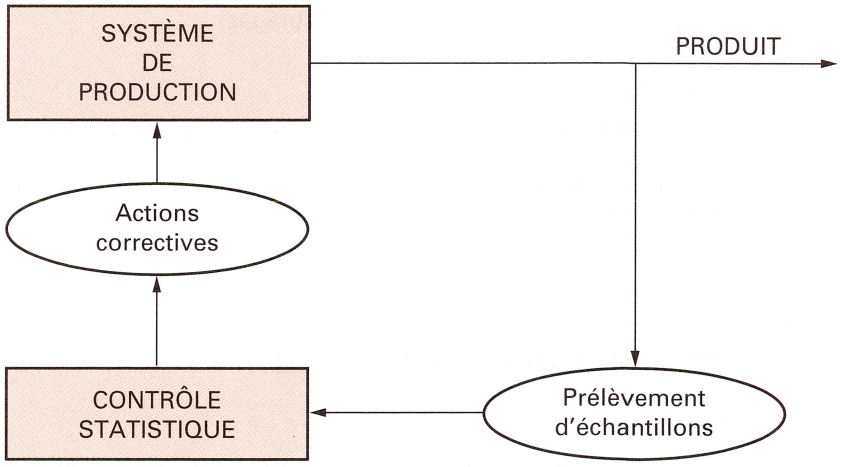
– à la lecture des informations recueillies et à leur transcription.

1.4. CONSIGNATION DES INFORMATIONS ET DES MESURES

1.4.1. SUIVI STATISTIQUE DE LA PRODUCTION

PRINCIPE

Le suivi de production a pour objectif de prévenir l'apparition de défauts.



Le suivi statistique est basé sur l'interprétation de résultats relevés sur le poste de travail par l'opérateur.

Les données seront interprétées par un technicien du service « Qualité » qui pourra en déduire :

– la **« capabilité » du processus**. Le processus de fabrication est capable de produire les pièces bonnes ;

– la **« capabilité » de la machine**. La machine est capable de produire les tolérances exigées.

La **maîtrise statistique du procédé** (SPC : *Statistical Process Control*) part de l'analyse des « 5 m » responsables de la non-qualité (main-d'œuvre, matière, moyen, méthodes, milieu). (*Voir p. 184 et 192.*)

Elle doit permettre :

– d'intervenir sur le procédé avant de produire de la non-qualité,

– de mesurer la capacité d'un procédé à fabriquer ce qu'on lui demande,

– d'agir sur les variations pour assurer la stabilité dans le temps du procédé.

L'opérateur dispose d'un document d'aide à la décision permettant d'enregistrer des résultats de contrôle par échantillonnage collectés au poste de travail : **la carte de contrôle**.

Ce document doit s'accompagner :

– d'une fiche d'instruction de contrôle,

– d'une fiche d'interprétation des résultats,

– d'une fiche de suivi du procédé.

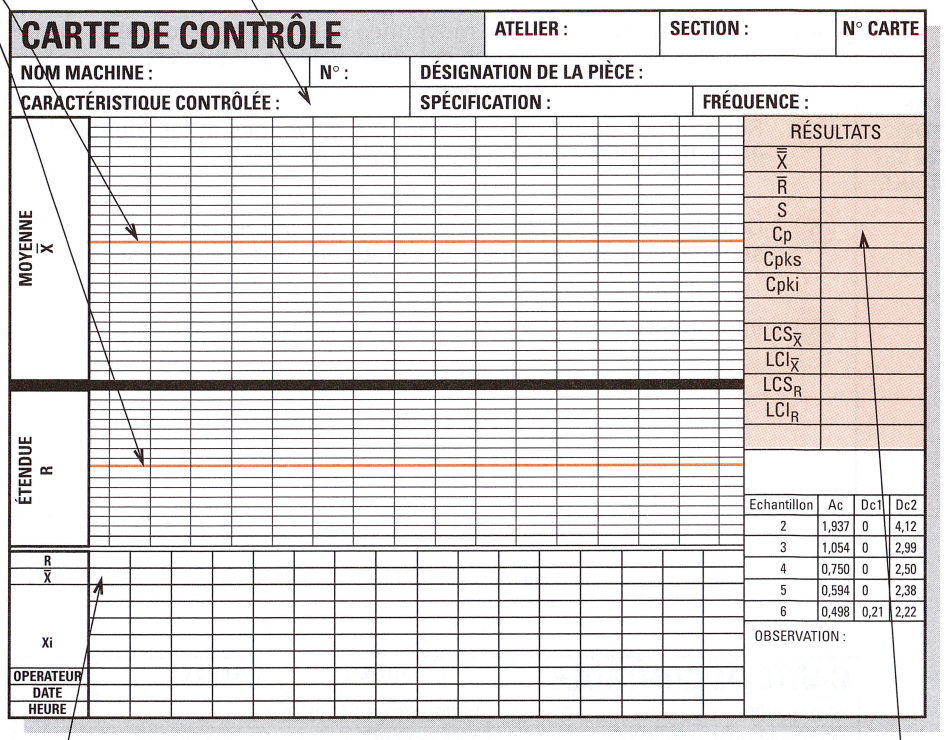
L'opérateur, pour garder la mémoire de tous les événements qui parviennent au cours du déroulement de la fabrication, les inscrit sur un **journal de bord**.

1.4.2. CARTE DE CONTRÔLE

La carte de contrôle est constituée de plusieurs zones :

ZONE 3 : Graphiques avec limites de décision

ZONE 1 : Identification



ZONE 4 : Calculs effectués par le service méthode ou qualité

ZONE 2 : Tableau de relevés des valeurs des caractéristiques mesurées sur les pièces

DÉFINITIONS

Moyenne $\overline{X}$: c'est la moyenne arithmétique des valeurs mesurées. On l'obtient en divisant la somme des valeurs observées par le nombre d'observations.

Étendue R : c'est l'écart entre la plus grande et la plus petite valeur de l'échantillon.

Limites de contrôle de la moyenne : $LCS_{\overline{X}}$ et $LCI_{\overline{X}}$.

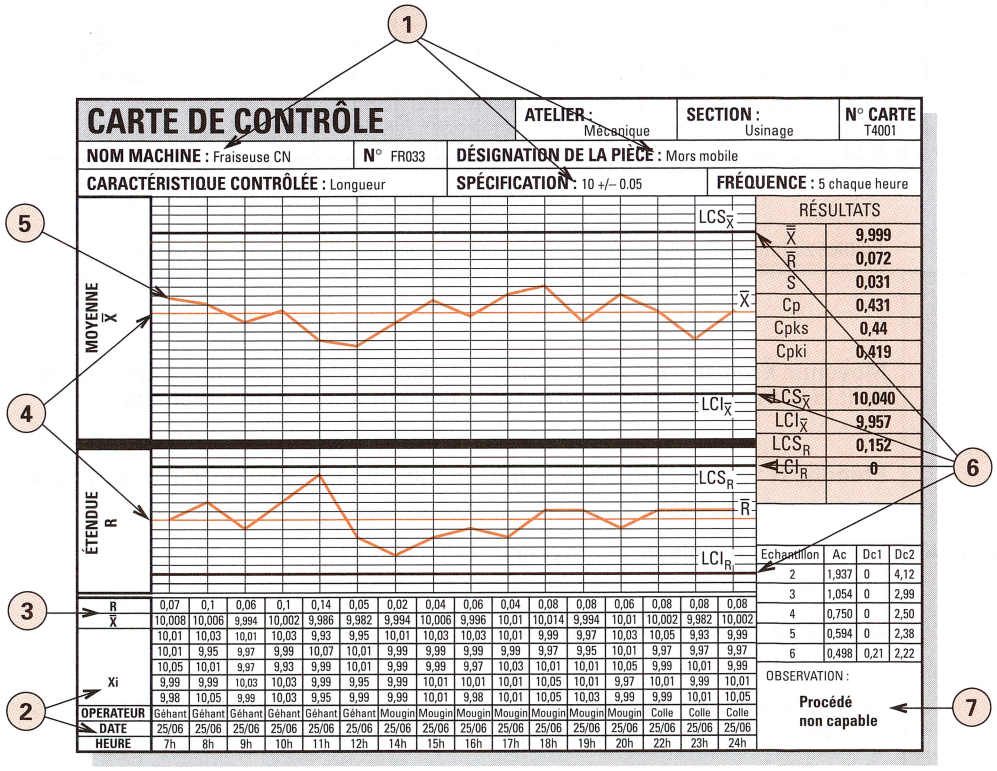
Limites de contrôle de l'étendue : LCS_R et LCI_R.

Ce sont les limites supérieures et inférieures dans lesquelles doivent s'inscrire les résultats des calculs effectués à partir des valeurs mesurées.

Consignation des informations et des mesures

FICHE D'INSTRUCTIONS DE CONTRÔLE

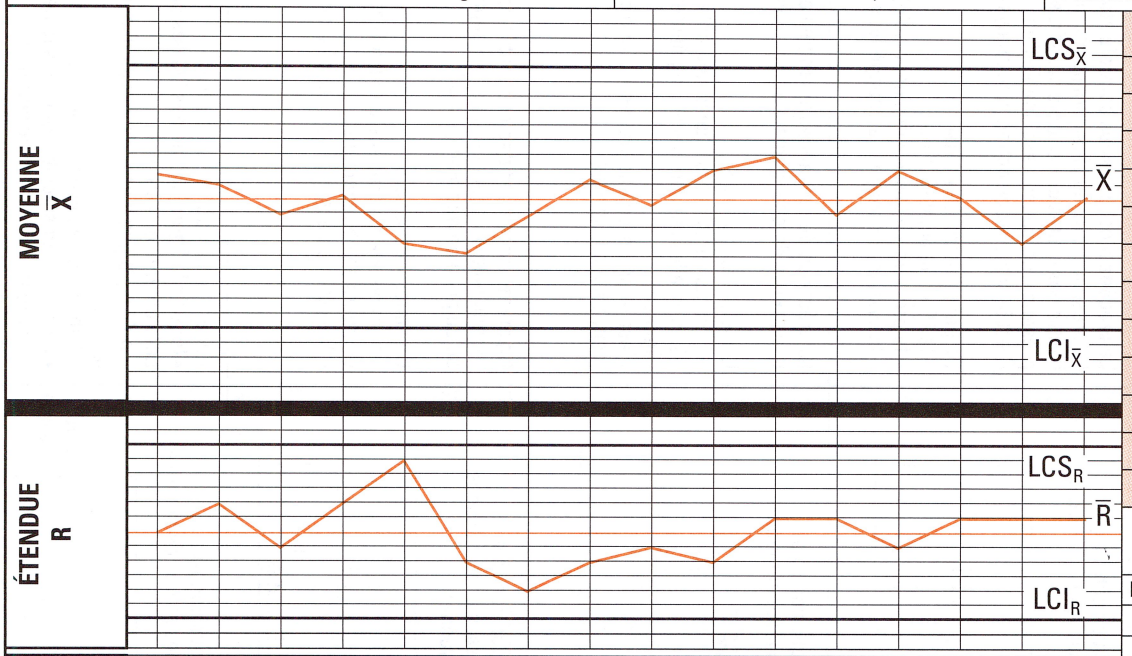
1. Remplir l'en-tête de la carte.
2. Reporter les valeurs des mesures en indiquant le nom et l'heure.
3. Calculer, pour chaque échantillon, la moyenne et l'étendue.
4. Calculer la moyenne des moyennes et la moyenne des étendues. Choisir les échelles et tracer le graphe des deux valeurs obtenues.
5. Reporter les points représentant les moyennes et les étendues pour chaque échantillon et les relier par des segments.
6. Calculer les limites LCI (limite de contrôle inférieure) et LCS (limite de contrôle supérieure) pour les moyennes et les étendues, et les tracer.
7. Interpréter.



CARTE DE CONTRÔLE

ATELIER :	SECTION :	N° CARTE
Mécanique	Usinage	T4001

NOM MACHINE : Fraiseuse CN	N° FR033	DÉSIGNATION DE LA PIÈCE : Mors mobile
CARACTÉRISTIQUE CONTRÔLÉE : Longueur		SPÉCIFICATION : 10 +/– 0.05	FRÉQUENCE : 5 chaque heure



RÉSULTATS	
$\bar{\bar{X}}$	9,999
$\bar{R}$	0,072
S	0,031
Cp	0,431
Cpks	0,44
Cpki	0,419
$LCS_{\bar{X}}$	10,040
$LCI_{\bar{X}}$	9,957
LCS_R	0,152
LCI_R	0

Échantillon	Ac	Dc1	Dc2
2	1,937	0	4,12
3	1,054	0	2,99
4	0,750	0	2,50
5	0,594	0	2,38
6	0,498	0,21	2,22

OBSERVATION :

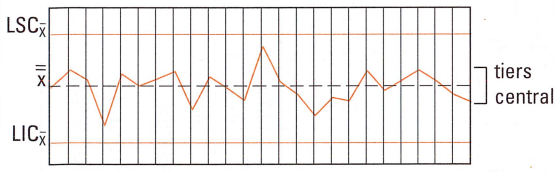
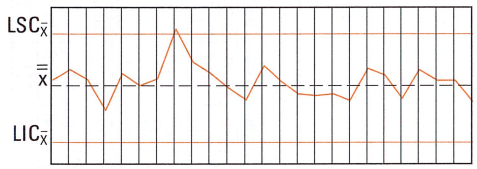
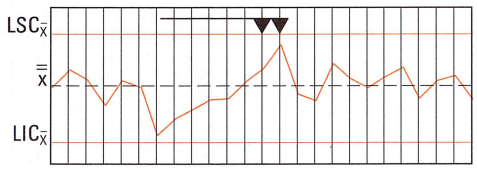
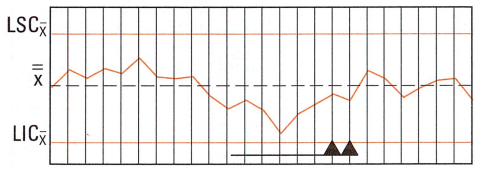
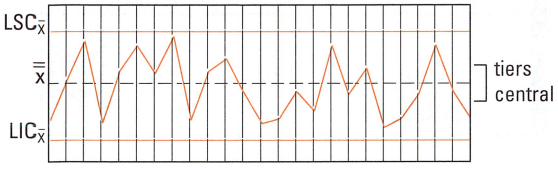
Procédé non capable

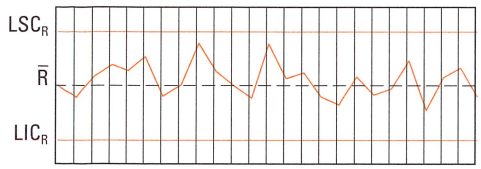
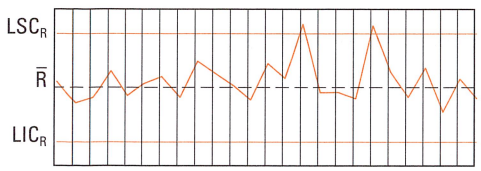
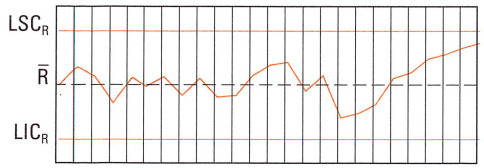
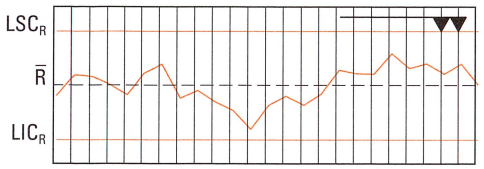
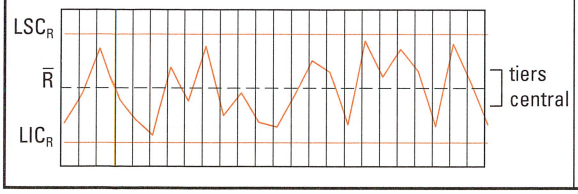
R	0,07	0,1	0,06	0,1	0,14	0,05	0,02	0,04	0,06	0,04	0,08	0,08	0,06	0,08	0,08	0,08
$\bar{X}$	10,008	10,006	9,994	10,002	9,986	9,982	9,994	10,006	9,996	10,01	10,014	9,994	10,01	10,002	9,982	10,002
Xi	10,01	10,03	10,01	10,03	9,93	9,95	10,01	10,03	10,03	10,01	9,99	9,97	10,03	10,05	9,93	9,99
	10,01	9,95	9,97	9,99	10,07	10,01	9,99	9,99	9,99	9,99	9,97	9,95	10,01	9,97	9,97	9,97
	10,05	10,01	9,97	9,93	9,99	10,01	9,99	9,99	9,97	10,03	10,01	10,01	10,05	9,99	10,01	9,99
	9,99	9,99	10,03	10,03	9,99	9,95	9,99	10,01	10,01	10,01	10,05	10,01	9,97	10,01	9,99	10,01
	9,98	10,05	9,99	10,03	9,95	9,99	9,99	10,01	9,98	10,01	10,05	10,03	9,99	9,99	10,01	10,05
OPERATEUR	Géhant	Géhant	Géhant	Géhant	Géhant	Géhant	Mougin	Mougin	Mougin	Mougin	Mougin	Mougin	Mougin	Colle	Colle	Colle
DATE	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06	25/06
HEURE	7h	8h	9h	10h	11h	12h	14h	15h	16h	17h	18h	19h	20h	22h	23h	24h

Exemple de carte de contrôle remplie.

Consignation des informations et des mesures

Règles de décision : analyse du graphique des moyennes (*p. 405 et 406 tirées du* Mémotech Génie mécanique *C. Barlier et B. Poulet*)

Analyse du graphique $\bar{X}$: allure du graphique	Interprétation
Procédé sous contrôle 	**Le procédé est sous contrôle statistique** Le graphique est normal. Règles : – 2/3 des points sont situés dans le tiers central, – 1/3 des points sont situés dans les 2/3 extérieurs.
Procédé non sous contrôle (un point au-delà des limites de contrôle) 	**Le procédé n'est pas sous contrôle statistique** La présence d'un ou plusieurs points au-delà de l'une ou l'autre des limites de contrôle constitue une preuve de la présence de causes assignables en ce ou ces points. C'est le signal déclenchant une analyse immédiate. On peut l'interpréter ainsi : – la LC ou le point est faux ; – le procédé « a glissé » (incident isolé) ; – le système de mesure a changé (voir journal de bord).
Procédé non sous contrôle (longues séries en augmentation) 	La présence de tendances inhabituelles peut constituer une preuve de changement de capabilité. Lorsque l'on observe : – 7 points consécutifs d'un même côté de la moyenne, – 7 intervalles consécutifs en augmentation ou diminution régulière, c'est le signe qu'une dérive ou une tendance a commencé dans le procédé.
Procédé non sous contrôle (longues séries au-dessus et au-dessous de la moyenne) 	On marquera le point déclenchant la décision —▼. Il est parfois utile de souligner la série depuis son début jusqu'au point de décision (—▼▼). On l'interprète ainsi : – la moyenne du procédé a changé et peut être encore en cours de changement ; – le système de mesure a changé (voir journal de bord).
Procédé non sous contrôle (points trop rapprochés des limites de contrôle) 	Répartition inhabituelle de points : • (cas de la figure) moins des 2/3 des points sont dans le tiers central, on vérifiera : – qu'il n'y a pas d'erreurs de calcul dans les LC ou dans le tracé ; – l'absence de plusieurs méthodes d'échantillonnage ; • plus de 2/3 des points sont dans le tiers central (points très rapprochés de $\bar{X}$), on vérifiera : – qu'il n'y a pas d'erreurs de calcul ou de tracé ; – l'absence de plusieurs méthodes d'échantillonnage ; – que les données ont été corrigées ou modifiées.

Analyse du graphique $\bar{R}$: allure du graphique	Interprétation
Procédé sous contrôle 	**Procédé sous contrôle statistique** Le graphique est normal.
Procédé non sous contrôle (un point au-delà des limites de contrôle) 	**Procédé non sous contrôle statistique** La présence d'un ou plusieurs points au-delà de l'une ou l'autre des limites de contrôle constitue une preuve évidente d'absence de contrôle en ce ou ces points. D'autre part, une cause assignable est responsable de la valeur extrême observée et ceci doit déclencher le signal d'analyse immédiate de l'opération pour rechercher cette cause. Cela conduit à une action corrective. On interprète de la façon suivante : • un point au-dessus de LCS (ou LSC) indique : – une erreur de calcul ou de tracé ; – une variabilité pièce par pièce, ce peut être une augmentation de R de la population ou une aggravation ; • un point en dessous de LCI (ou LIC) indique : – une erreur de calcul ou de tracé ; – une diminution de R de la population (amélioration) ; – un changement du système de mesure.
Procédé non sous contrôle (longues séries montantes) 	La présence de tendances inhabituelles peut constituer une preuve de contrôle ou de changement dans la dispersion du procédé. Cela peut constituer le premier avertissement de conditions défavorables qu'il faudra corriger rapidement. Lorsque l'on observe : – des points consécutifs d'un même côté de la moyenne, – des intervalles consécutifs en augmentation ou diminution régulière, c'est le signe qu'un glissement ou une tendance commence.
Procédé non sous contrôle (longues séries au-dessus et en dessous de l'étendue moyenne) 	On marquera le point déclenchant la décision. Il est parfois utile de souligner la série depuis son début jusqu'au point de décision (—▼▼). On interprète ainsi : • une série supérieure à $\bar{R}$ ou croissante : – mauvais fonctionnement du matériel ; – lot de matière moins uniforme ; – changement du système de mesure ; • une série en dessus de $\bar{R}$ ou décroissante : – dispersion plus faible (condition favorable) ; – changement du système de mesure.
Procédé non sous contrôle (points trop rapprochés des limites de contrôle) 	Même interprétation que pour $\bar{X}$ (*voir p. 182*).

Consignation des informations et des mesures

DÉRIVES POSSIBLES

Les causes des dérives possibles peuvent provenir :

– de la **main-d'œuvre**

Exemple : erreur de calcul ou erreur de report ;

– de la **méthode**

Exemple : processus mal adapté ;

– du **matériel**

Exemple : usure ou bris d'outil, mauvaise fixation de la pièce... ;

– de la **matière**

Exemple : changement ou défaut de matière ;

– du **milieu**

Exemple : température, hygrométrie...

1.4.3. JOURNAL DE BORD

DÉFINITION

Ce journal permet de noter tous les événements survenant au cours d'une production.
Il est de plus en plus souvent remplacé par un terminal informatique piloté par l'opérateur.

EXEMPLE

JOURNAL DE BORD	Poste :		Pièce :
Opérateur :	Jour	Heure	Observations
Début de la production			
Fin de la production			
Réglages effectués			
Changements d'outils			
Incidents / Pannes			
Changements de bruts			

2. DÉMARCHE QUALITÉ

2.1. COMPÉTITIVITÉ DES PRODUITS INDUSTRIELS

2.1.1. CYCLE DE VIE D'UN PRODUIT

ÉLÉMENTS D'UN SYSTÈME QUALITÉ ISO 9004-1

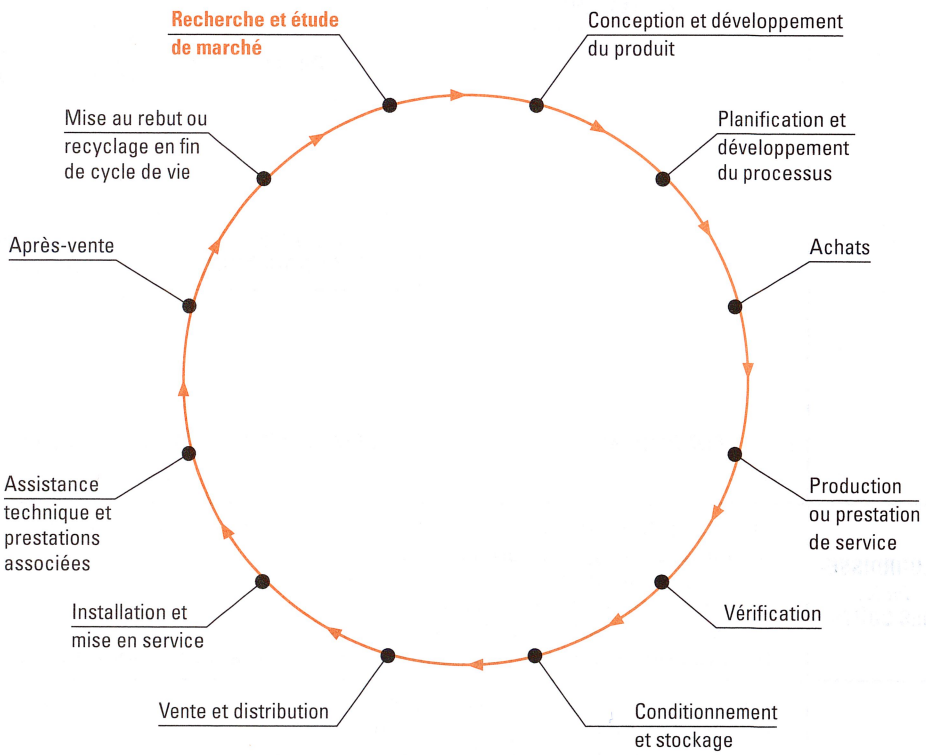
• **Portée de l'application**

Le système qualité s'applique à toutes les activités relatives à la qualité d'un produit. Il concerne toutes les phases du cycle de vie d'un produit et celles des processus, depuis l'identification initiale des besoins du marché jusqu'à la satisfaction finale des exigences (voir figure ci-dessous).

• **Structure du système qualité**

– **Responsabilité et autorité** : les responsabilités doivent être clairement définies.
– **Organisation** : les fonctions relatives au système qualité doivent être clairement définies au sein de l'ensemble de l'organisation.
Il convient de définir les liaisons hiérarchiques et les circuits de communication.
– **Procédures opérationnelles** : le système qualité doit mettre l'accent sur les actions préventives qui évitent l'apparition de problèmes.
– **Gestion et configuration** : le système qualité doit comprendre des procédures écrites relatives à la gestion de configuration.

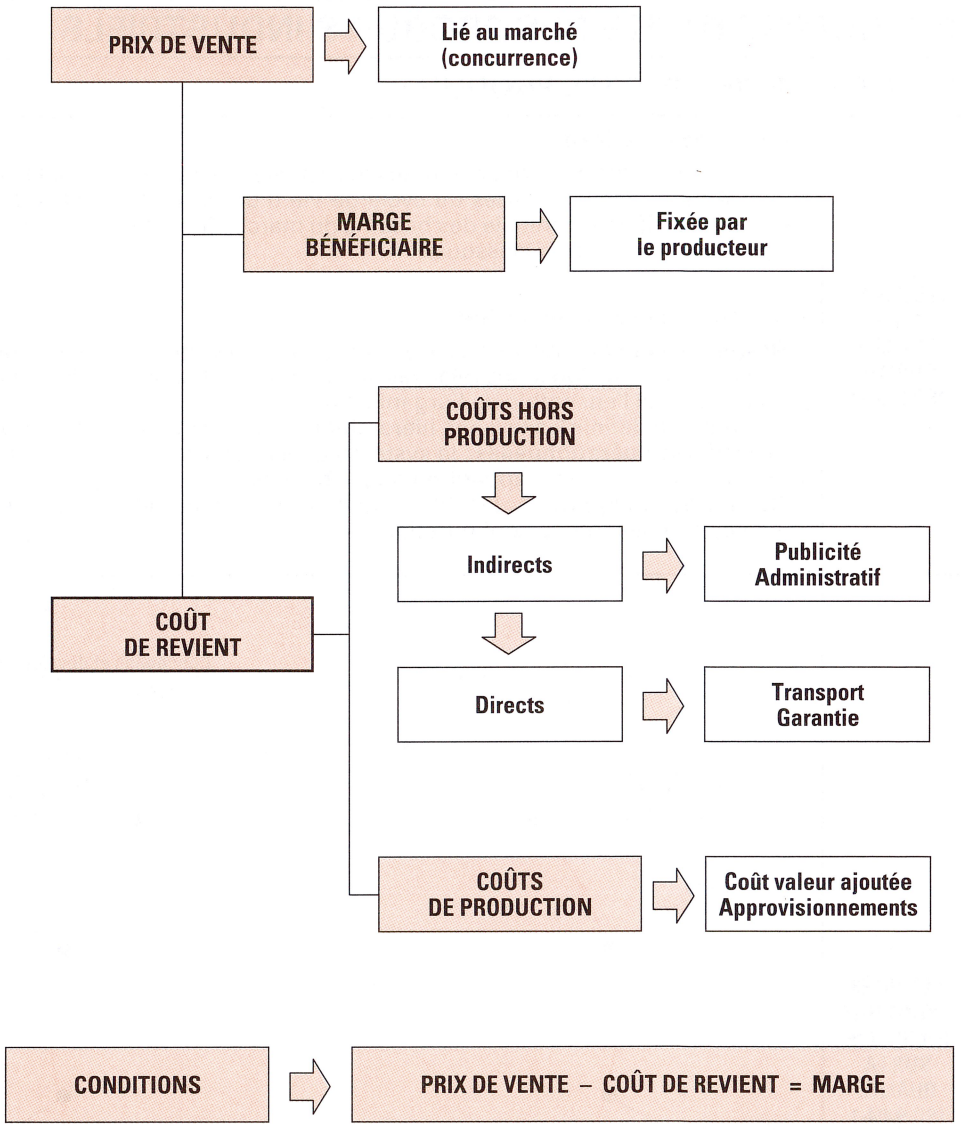
ACTIVITÉS AYANT UNE INCIDENCE SUR LA QUALITÉ ISO 9004-1



C

2.1.2. COÛTS

ANALYSE DES COÛTS



ALOURDISSEMENT DES COÛTS

Les causes de l'alourdissement des coûts peuvent être les suivantes :
- cahier des charges insuffisamment élaboré ;
- conception sans contraintes économiques ;
- solutions non remises en cause ;
- mauvaise connaissance des coûts réels ;
- manque de temps (trop de solutions provisoires deviennent définitives).

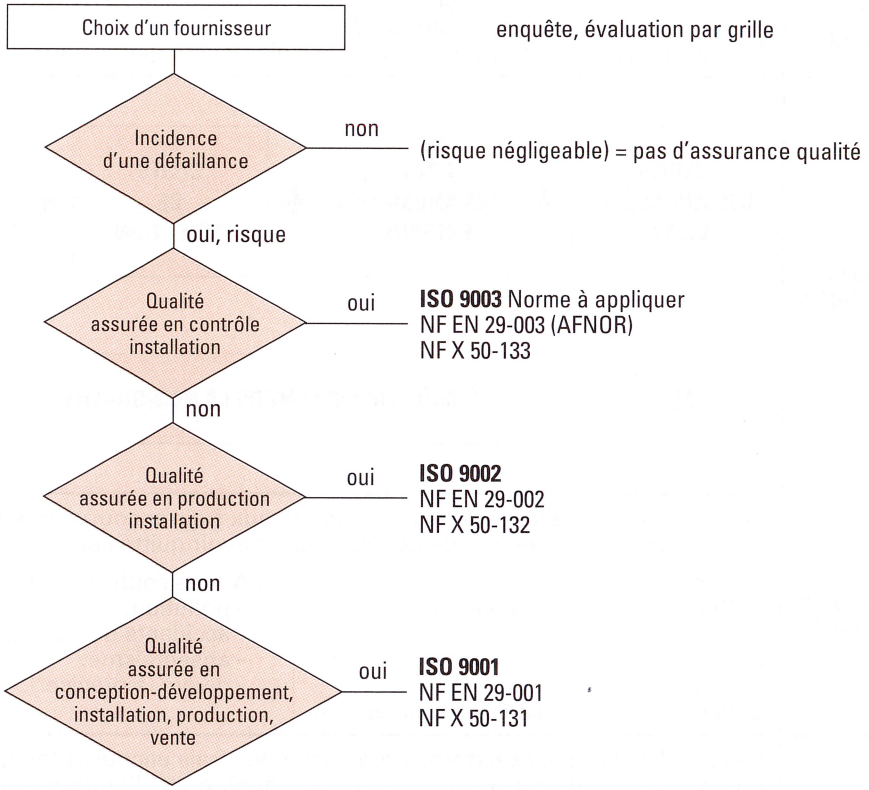
QUALITÉ

La qualité est l'ensemble des caractéristiques d'une entité qui lui donne l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés et implicites.
Dans de nombreux cas, les besoins peuvent évoluer avec le temps, ceci implique la révision périodique des exigences pour la qualité.
Les besoins peuvent inclure, par exemple, des aspects de performances, de facilité d'emploi, de sûreté de fonctionnement, de sécurité, des aspects économiques et esthétiques.

2.1.3. CHOIX D'UN MODÈLE D'ASSURANCE QUALITÉ

MODÈLES D'ASSURANCE QUALITÉ ISO 9001, 9002, 9003

Trois modèles sont normalisés, ils sont complémentaires et correspondent à des exigences croissantes.



MANUEL QUALITÉ

Le manuel qualité (NF X 50-160/161) est un document décrivant les dispositions générales prises par l'entreprise pour obtenir la qualité de ses produits ou services. Il décrit :
• l'ensemble des dispositions d'organisation relatives :
– aux structures de l'entreprise ;
– aux missions des services opérationnels et fonctionnels en matière de qualité et aux responsabilités qui en découlent ;
– aux procédures générales qui régissent l'obtention de la qualité ;
– aux liaisons internes et externes de l'entreprise ;
– à la formation, à la qualification et à la motivation du personnel ;
• les dispositions générales contribuant à la qualité, applicables à toutes les activités de l'entreprise. Le manuel qualité est établi par l'entreprise et essentiellement pour son usage interne.

AUDIT QUALITÉ

L'**audit qualité** (assurance qualité) est un examen méthodique et indépendant en vue de déterminer si les activités et résultats relatifs à la qualité satisfont aux dispositions préétablies, si ces conditions sont mises en œuvre de façon efficace et si elles sont aptes à atteindre les objectifs. Il s'applique essentiellement à des procédés, à des produits ou à des services.
Les audits qualité sont conduits par des personnes n'ayant pas de responsabilité directe dans les secteurs à auditer et de préférence en coopération avec le personnel du secteur concerné.
Un des buts d'un audit qualité est d'évaluer le besoin d'actions d'amélioration ou de correction.
Il convient de ne pas confondre l'audit avec des activités de surveillance ou de contrôle conduites dans le seul but de maîtrise d'un processus ou d'acceptation d'un produit.

2.1.4. COÛT DE LA NON-QUALITÉ

IDENTIFICATION DES COÛTS

Selon les sources documentaires, les coûts sont appelés :
- coûts de non-qualité (NF X 50-126) ;
- coûts de la qualité (guide des coûts relatifs à la qualité AFNOR) ;
- coût d'obtention de la qualité (COQ).

En fait, chaque identification évoque sensiblement la même chose.

COÛTS RÉSULTANTS

COÛTS DES ANOMALIES INTERNES + **COÛTS DES ANOMALIES EXTERNES** + **COÛTS DE DÉTECTION** + **COÛTS DE PRÉVENTION**

= **COÛTS RÉSULTANT DE LA NON-QUALITÉ**

ANOMALIES INTERNES

Le coût des **anomalies internes** correspond aux frais encourus lorsque le produit ne satisfait pas aux exigences de qualité avant d'avoir quitté l'entreprise :

a) Rebuts.
b) Retouches, reconditionnement, réparations...
c) Déclassements sur produits finis ou en cours.
d) Pertes dues aux achats inemployables.
e) Autres coûts internes :
- pollution,
- accidents du travail,
- absentéisme,
- divers (à préciser).

ANOMALIES EXTERNES

Le coût des **anomalies externes** représente les frais encourus lorsque le produit ne répond pas aux exigences de qualité après avoir quitté l'entreprise :

f) Réclamations clients.
g) Coûts de garantie (service après-vente).
h) Remises ou ristournes.
i) Autres coûts externes :
- pénalités de retard ;
- agios pour non-respect des délais ;
- pertes de clientèle ;
- remboursements des dommages causés à autrui ;
- prime d'assurance pour couverture de la responsabilité du fait des produits.

DÉTECTION

Les coûts de **détection** sont les dépenses engagées pour vérifier la conformité des produits aux exigences de la qualité, c'est-à-dire pour financer la recherche des anomalies :

- salaires et charges liés aux vérifications ;
- frais de contrôle sous-traités ;
- fournitures diverses et produits détruits lors des essais utilisés pour l'évaluation du produit ;
- amortissement du matériel de contrôle et d'essais utilisés pour l'évaluation du produit ;
- frais d'étalonnage ;
- divers (à préciser).

PRÉVENTION

Les coûts de **prévention** représentent les investissements humains et matériels engagés pour vérifier, prévenir et réduire les anomalies, c'est-à-dire pour financer les actions menées au niveau des causes des anomalies :

- établissement des documents relatifs à la gestion et à l'assurance de la qualité (manuel qualité, plans qualité, plans de contrôle) ;
- évaluation des fournisseurs ;
- sensibilisation, motivation et formation à la qualité et à la gestion de la qualité ;
- réalisation d'audits qualité ;
- analyse de la valeur ;
- divers (à préciser).

2.1.5. ANALYSE DE LA VALEUR

DÉFINITION

Selon la norme d'août 1980 (NF X 50-150/151/152/153), l'analyse de la valeur est une méthode de compétitivité, organisée et créative, visant la satisfaction du besoin de l'utilisateur par une démarche spécifique de conception à la fois fonctionnelle, économique et pluridisciplinaire.

CARACTÉRISTIQUES

L'analyse de la valeur se caractérise par :
– une démarche fonctionnelle qui impose de formuler le problème en termes de finalités et non en termes de solutions pour rechercher l'essentiel ;
– une démarche à caractère économique par la référence systématique aux coûts ;
– une démarche pluridisciplinaire par un travail de groupe faisant appel à un animateur et un décideur, en présence des personnes de formations et de responsabilités différentes, qui permet de trouver un consensus sur les fonctions, les performances, les principes, les solutions et les coûts, tout en favorisant l'exercice de la créativité.
Cette démarche créative vise à étendre l'éventail des solutions à considérer. Elle permet la prise en compte des évolutions du marché, de l'environnement et des techniques.

GROUPE « ANALYSE DE LA VALEUR »

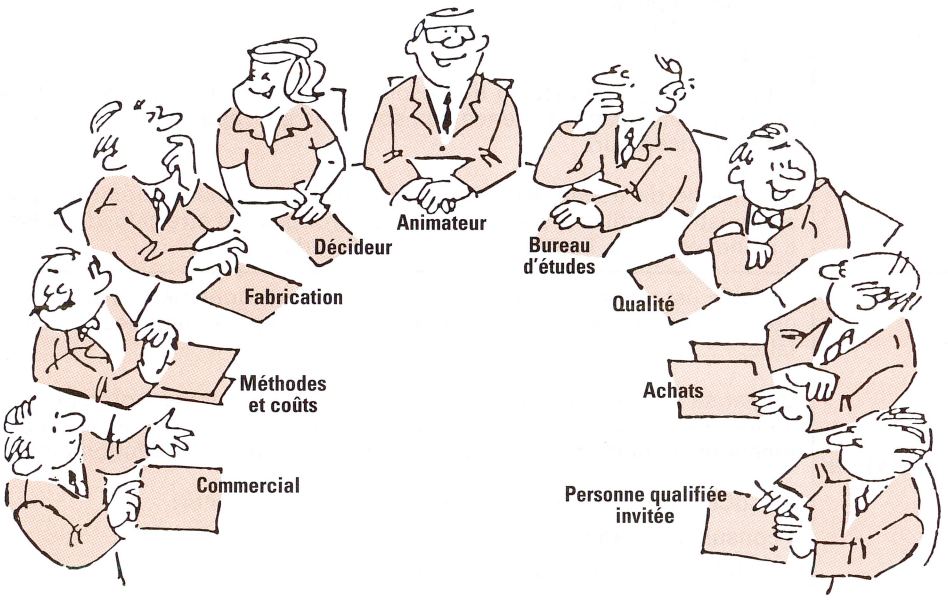
• **Recommandations pour la composition d'un groupe « analyse de la valeur »**
Ce groupe ne doit pas dépasser 10 personnes.

Attribution des rôles :

– Le **décideur** : c'est la personne mandatée pour prendre les décisions relatives à une action « analyse de la valeur » et les faire connaître. Il représente la direction de l'entreprise et a reçu les pouvoirs nécessaires.

– L'**animateur** : c'est la personne chargée de l'organisation et du déroulement d'une action. Elle en est responsable devant le décideur. Son efficacité repose sur les caractéristiques suivantes :
– maîtrise de la méthodologie de l'analyse de la valeur ;
– expérience en ce domaine ;
– bonne connaissance des principaux secteurs de l'entreprise ;
– esprit de synthèse, objectivité de jugement, réalisme et esprit de progrès ;
– sens des relations humaines ;
– optimisme, dynamisme, ténacité et persévérance, modestie et désintéressement.

• **Composition d'un groupe**



D'après un document ANVAR.

C

2.2. ANALYSE FONCTIONNELLE DES PRODUITS INDUSTRIELS

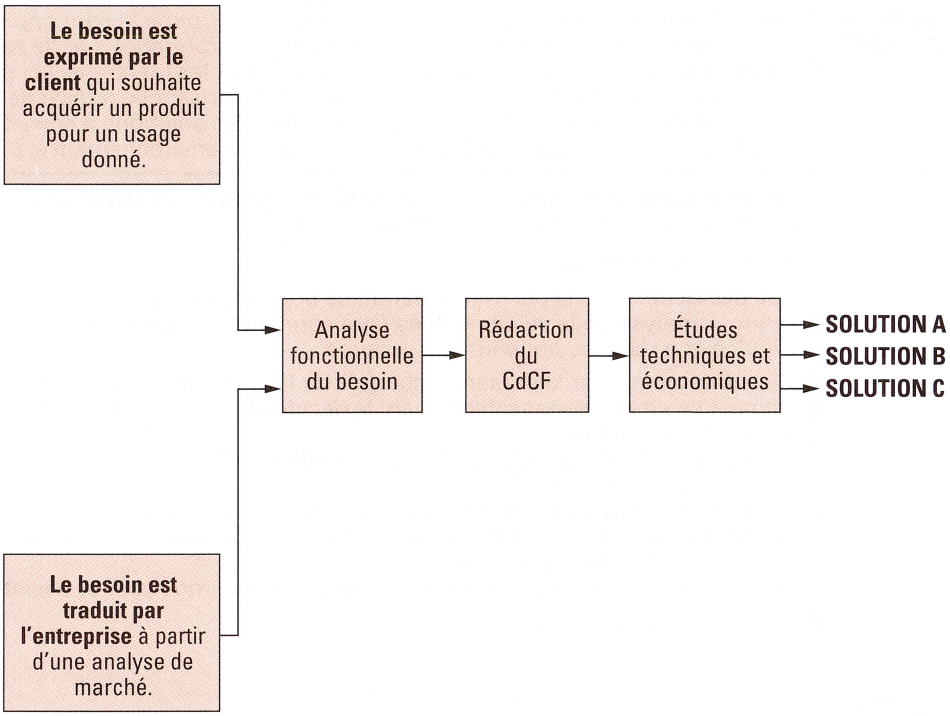
2.2.1. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL (CdCF)

CONCEPT

Selon la norme NF X 50-150, le **CdCF** est le seul document par lequel le demandeur exprime son besoin (ou celui qu'il est chargé de traduire) en termes de fonctions et de contraintes.

Ce document sert de **base de dialogue contractuelle** entre demandeur d'une part et concepteur-réalisateur du produit d'autre part.

Deux cas se présentent pour la rédaction du CdCF :



Dans le CdCF, l'expression du besoin est formulée en termes d'obligation de résultat, de finalité, sans référence aux solutions susceptibles d'y répondre (responsabilité du concepteur).

Un groupe de travail est constitué : marketing, achat, bureau d'études, secrétariat administratif, utilisateurs potentiels. Ce groupe peut être celui d'**analyse de la valeur**. Il a une existence limitée à la durée de l'étude.

UTILISATION

Le CdCF est un des éléments d'étude et de développement, il est à créer chaque fois que l'on veut expliciter, d'une manière technologiquement neutre, les besoins à satisfaire.

De par sa nature fonctionnelle, le CdCF ne peut s'adresser qu'à un bureau d'études. Il faut une structure pensante capable de transformer les fonctions de service et les fonctions techniques en imaginant puis en validant ces solutions techniques.

Le CdCF intervient dans les types de situation suivants :

- consultation, appel d'offres, adjudication ;
- marchés négociés entre partenaires ;
- relations entre services d'une même entreprise ;
- analyse de la valeur.

PROCESSUS D'APPLICATION*

Phases	Demandeur	Concepteur-réalisateur
1 SAISIE DU BESOIN C'est l'expression par le demandeur du besoin à satisfaire.	Analyse de marché / Analyse fonctionnelle → Formulation du besoin	
2 PROSPECTION DE LA FAISABILITÉ C'est montrer dans quelle mesure on peut répondre au besoin exprimé, en précisant les voies possibles.	1re édition externe du CdCF ; DÉCISION de prospection Affinement du besoin	Étude de la faisabilité
3 PRÉDÉVELOPPEMENT OU AVANT-PROJET C'est étudier les voies reconnues comme possibles en fin de phase « prospection de la faisabilité » afin de retenir celle qui sera développée.	2e édition externe du CdCF ; DÉCISION de pré-développement Ajustement du CdCF Édition définitive du CdCF ; DÉCISION de développement Référence CdCF Spécification Ébauche de définition	Étude de pré-développement ou d'avant-projet
4 DÉVELOPPEMENT Au cours de ces phases, des améliorations peuvent faire l'objet de propositions de modifications. Les propositions de modifications résultant d'une action d'Analyse de la Valeur sont appelées PMAV.	Procédure PMAV DÉCISION d'industrialisation Référence CdCF Référence spécification Définition	Étude de développement
5 INDUSTRIALISATION PRODUCTION MISE EN SERVICE	Procédure PMAV	Introduction Production Mise en œuvre

* Tiré de *Mémotech Dessin industriel*, C. Hazard.

FINALITÉ DU CdCF

Un CdCF vise à :
- augmenter la **compétitivité**,
- clarifier les **relations**,
- restaurer la **concurrence**,
- favoriser l'**innovation**.

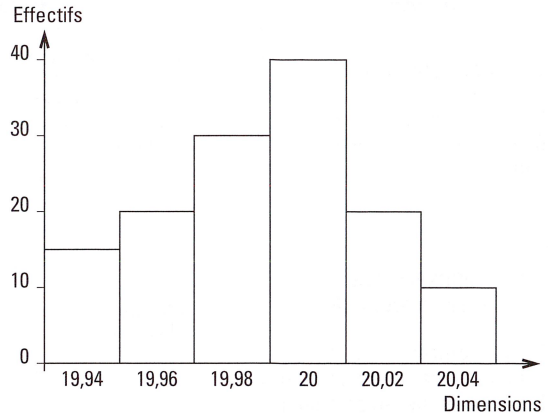
C

2.2.2. HISTOGRAMME

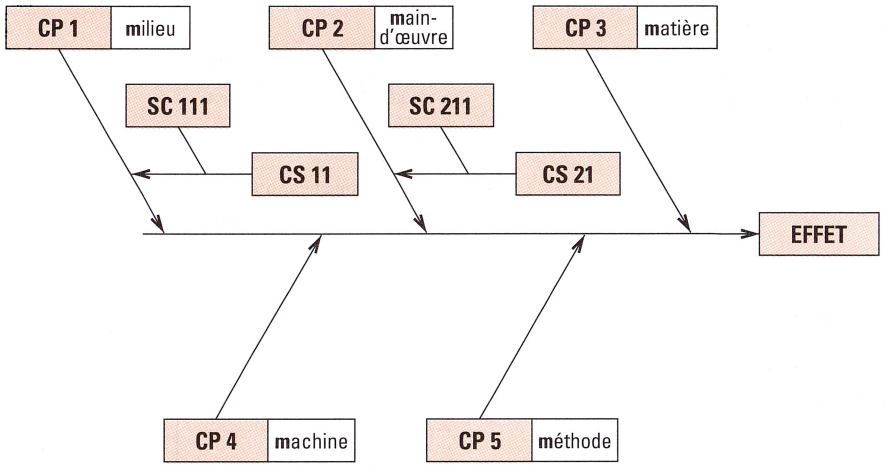
L'histogramme est un diagramme qui représente la fréquence des données sous la forme de colonnes.

Il aide à identifier les changements ou variations dans les processus en cours de modification et indique de quelle façon les différentes mesures d'un processus ou d'un produit peuvent être utiles quand des normes sont établies.

Exemple : dimensions des pièces produites.



2.2.3. DIAGRAMME « CAUSES-EFFETS » OU « D'ISHIKAWA » OU « EN ARÊTE DE POISSON »



– **CP** : causes principales.
– **CS** : causes secondaires.
– **SC** : sous-causes.

Cette méthode représente la relation entre un problème et ses causes potentielles. Elle aide à trier et à relier les interactions parmi les facteurs affectant un processus.
Elle visualise les causes d'un processus, d'un phénomène ou d'un problème, les hiérarchise et les ordonne en décomposant les causes **principales**, les **causes secondaires** et éventuellement les **sous-causes**.

Méthode :
• Identifier toutes les causes (nécessité d'un travail en groupe : *brainstorming*).
• Respecter les règles suivantes :
– écrire toutes les idées,
– ne pas émettre de critiques,
– viser la quantité,
– recueillir les idées.

Remarques :
– Pour faciliter la gestion, ne pas dépasser six causes principales.
– Pour aider à la construction du diagramme (recherche des causes principales), on peut recourir à la méthode des « **cinq m** » : **m**achines, **m**ain-d'œuvre, **m**éthodes, **m**atière, **m**ilieu.

2.2.4. MATRICE DE DÉCISION

C'est un tableau de comparaison des critères pour différentes propositions.

Exemple : moyens de production.

Il fournit un outil simple pour analyser et comparer différentes propositions et aider à la décision.

Critères \ Propositions	A	B	C
Défauts	10	12	14
Durée du cycle (en minutes)	15	18	7
Coût horaire	400	300	350
Flexibilité	Bonne	Moyenne	Moyenne
...			

2.2.5. *BRAINSTORMING* (Remue-méninges)

Le *brainstorming* permet, lors d'une recherche en groupe pour l'étude d'un problème et la recherche de solutions, de produire un maximum de solutions en utilisant au mieux toutes les idées des participants en combinant celles-ci entre elles.

Règles à suivre :
- Ne pas critiquer les idées émises, ne pas porter un jugement, seulement les consigner (ces idées seront triées par la suite).
- Enregistrer les idées qui paraissent les plus farfelues (elles peuvent être la source d'une innovation).
- Rechercher la qualité (permet d'en retenir les meilleures).
- Combiner les idées entre elles (les idées peuvent être reprises par d'autres et modifiées).
- Tous les participants au *brainstorming* doivent être consultés chacun leur tour.
- Laisser les idées mûrir (les idées peuvent être reprises à la réunion suivante).

2.2.6. DIAGRAMME DE PARETO

Ce diagramme représente la contribution relative des causes (classées par ordre décroissant d'importance) au problème global.

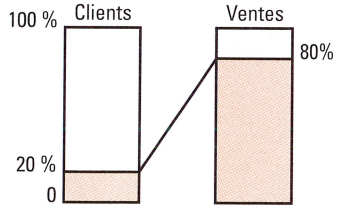
Il est basé sur le principe selon lequel un petit nombre de causes est souvent l'origine de la plupart des effets et il permet d'identifier les quelques problèmes vitaux qui doivent être traités en priorité.

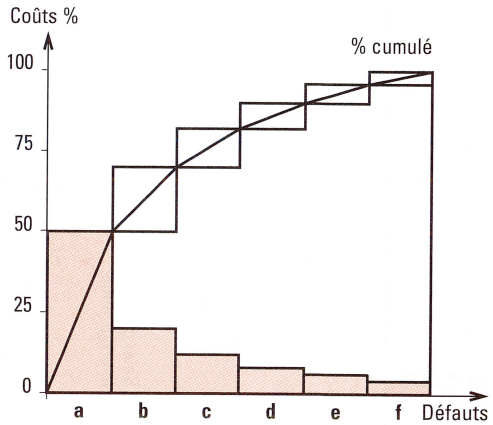
En première analyse du diagramme ci-contre, il faudrait agir en priorité sur les défauts (**a**) et (**b**).

Il n'y a pas toujours concordance entre l'importance du coût et le nombre de causes de dysfonctionnement.

Tout ensemble naturel d'éléments suit la règle de « 80-20 » ; par exemple, environ 20 % de nos clients concernent 80 % des ventes.

Cette relation est tout à fait générale et s'applique à toutes les occasions permettant de réduire le coût.





OPÉRATIONS		Coût des défauts
Rep.	Désignation	
f	Tournage	4
e	Fraisage	6
d	Perçage	8
a	Alésage	50
c	Rectification	12
b	Défaut du brut	20

C

2.2.7. RÉSEAU OU DIAGRAMME PERT (*Program Evaluation and Review Technic*)

DÉFINITION

Graphe orienté selon une direction symbolisant le déroulement du temps, le diagramme PERT est constitué par un ensemble de flèches représentant chacune une opération élémentaire ou tâche.

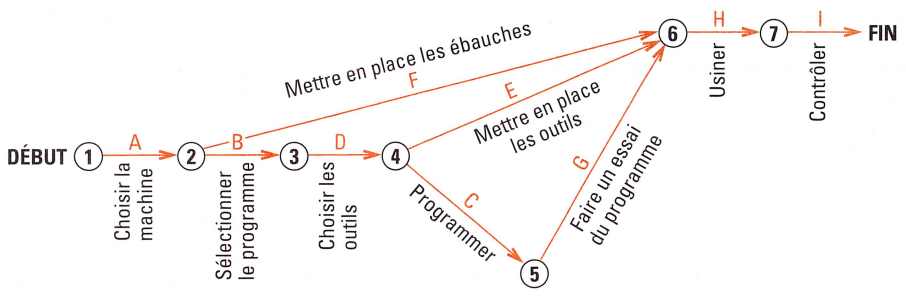
La position des flèches les unes par rapport aux autres traduit leur enchaînement dans le temps.

Le réseau PERT visualise la succession et la dépendance des différentes opérations ou actions à mener pour aboutir à la réalisation d'un projet.

TABLEAU D'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES OPÉRATIONS

Repères des tâches	Usinage sur machine-outil à commande numérique. Énoncé des opérations ou tâches	Tâches antérieures obligatoires	Durée min
A	Choisir le type de machine	néant	
B	Sélectionner le programme d'usinage	A	
C	Programmer	B	10
D	Choisir les outils	B	
E	Mettre en place les outils dans le magasin	D	10
F	Mettre en place l'ébauche sur la machine	A	5
G	Faire un essai du programme à vide	B C	4
H	Usiner	E F G	4
I	Contrôler	H	5

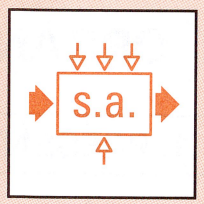
DIAGRAMME



Reporter les durées de chaque opération et tracer le chemin critique (le plus long).

Le réseau PERT est normalement suivi par le planning d'exécution Gantt (*voir « Diagramme de Gantt », p. 214-215*).

D Systèmes



1. Organisation des systèmes



1.1. Présentation générale d'un système 196

1.2. Préactionneurs 198
1.2.1. Situation dans la chaîne fonctionnelle 198
1.2.2. Fonctions des préactionneurs 198
1.2.3. Exemples de préactionneurs 199

1.3. Actionneurs 200
1.3.1. Situation dans la chaîne fonctionnelle 200
1.3.2. Fonction et classification des actionneurs 200
1.3.3. Exemples d'actionneurs 201

1.4. Effecteurs et chaînes cinématiques 202
1.4.1. Situation dans la chaîne fonctionnelle 202
1.4.2. Fonction des effecteurs et de la chaîne cinématique 202
1.4.3. Exemples d'effecteurs et d'éléments de chaîne cinématique 203

1.5. Capteurs 204
1.5.1. Situation dans la chaîne fonctionnelle 204
1.5.2. Fonctions des capteurs et types de signaux transmis 204
1.5.3. Exemples de capteurs 205

2. Systèmes de production



2.1. Systèmes de fabrication par enlèvement de matière (usinage) 207

2.2. Technologie de groupe (TG). Classification par familles 210

2.3. Principaux temps de fabrication 213

2.4. Diagramme de Gantt 214

3. Systèmes de manutention



3.1. Alimentation des pièces sur machine 216

3.2. Robots 217

4. Systèmes de vérification assistés par ordinateur



4.1. Éléments de base 220

4.2. Vérification de la conformité d'une pièce à la machine à mesurer tridimensionnelle 222

5. Systèmes d'assemblage



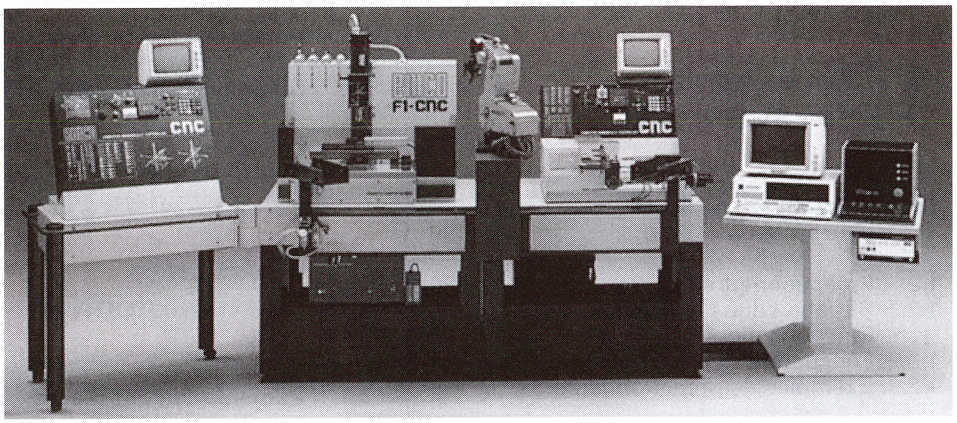
5.1. Chaînes d'assemblage 225

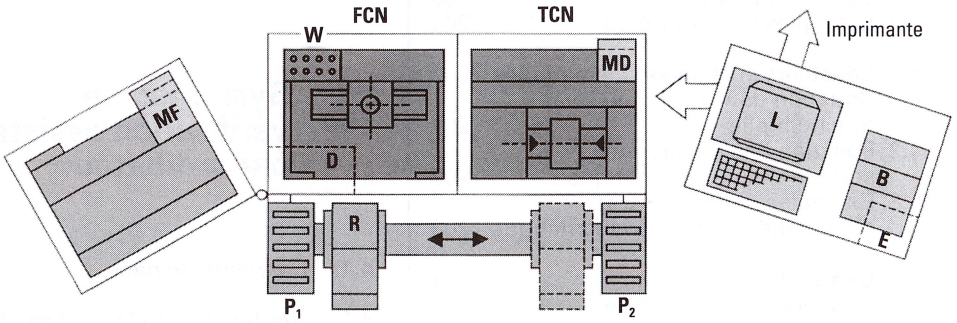
5.2. Gamme d'assemblage (montage et maintenance) 228

1. ORGANISATION DES SYSTÈMES

1.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE D'UN SYSTÈME

SYSTÈME DE FABRICATION FLEXIBLE (EMCO)

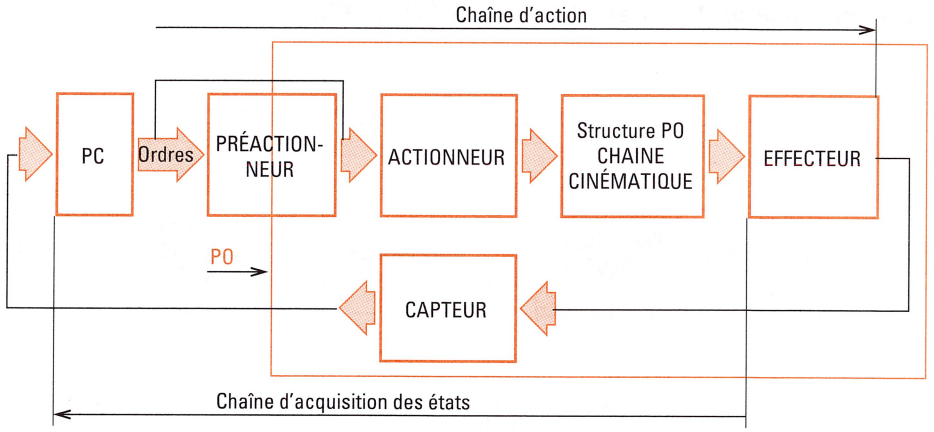




FCN : fraiseuse à commande numérique par calculateur
TCN : tour à commande numérique par calculateur
R : robot
P_1 : palette pour ébauche
P_2 : palette pour pièces achevées
B : pupitre de commande
L : calculateur pilote
E : interface RS 232
D : unité de conduite
W : magasin d'outils
MF : écran de visualisation de la fraiseuse
MD : écran de visualisation du tour

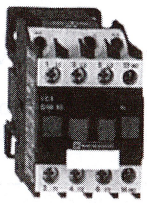
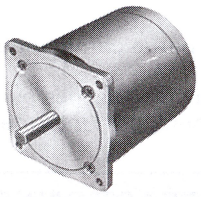
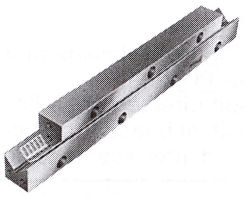
CHAÎNE FONCTIONNELLE SIMPLIFIÉE D'UN SYSTÈME AUTOMATISÉ

La figure ci-dessous montre les interactions qui existent entre les différentes parties et les différents composants d'un système automatisé.

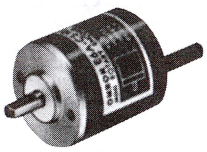


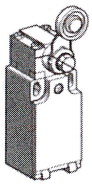
PARTIE OPÉRATIVE (PO)

GÉRER L'ÉNERGIE

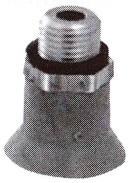
Préactionneurs	Actionneurs	Éléments chaîne cinématique
 Contacteur — Doc. TELEMECANIQUE	 Moteur pas à pas — Doc. CROUZET	 Rail de guidage — Doc. INA

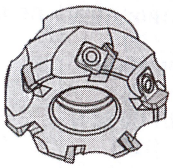
ACQUÉRIR LES ÉTATS — Capteurs


Codeur optique incrémental — Doc. OMRON


Interrupteur de position — Doc. TELEMECANIQUE

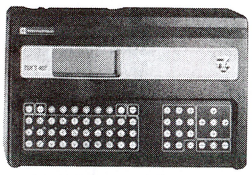
AGIR SUR LA MATIÈRE D'ŒUVRE — Effecteurs

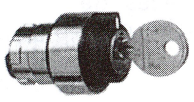

Ventouse — Doc. TELEMECANIQUE


Fraise — Doc. SANDVIK COROMANT

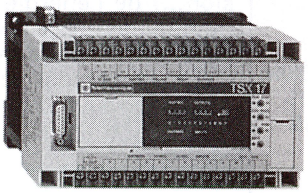
PARTIE COMMANDE (PC)

COMMUNIQUER


Terminal de programmation — Doc. TELEMECANIQUE


Interrupteur à clé

TRAITER LES DONNÉES

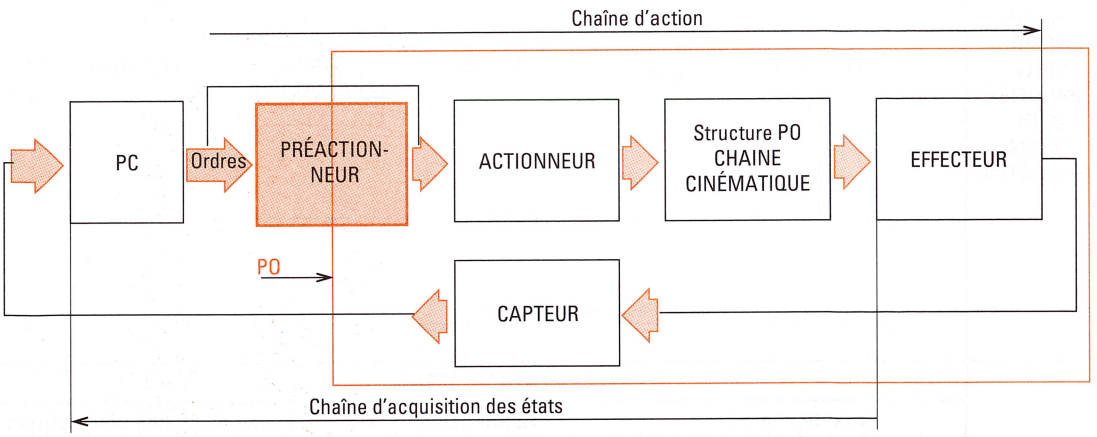

Automate — Doc. TELEMECANIQUE

D

1.2. PRÉACTIONNEURS

1.2.1. SITUATION DANS LA CHAÎNE FONCTIONNELLE

Le préactionneur est l'interface du dialogue PC ⇨ PO



La figure ci-dessus montre que la partie commande PC transmet des ordres vers la partie opérative PO :
- soit directement à l'actionneur si sa puissance est faible (voyant, moteur faible puissance) ;
- soit, et beaucoup plus généralement, par l'intermédiaire d'un **préactionneur** qui remplit ainsi son rôle d'interface dans ce dialogue.

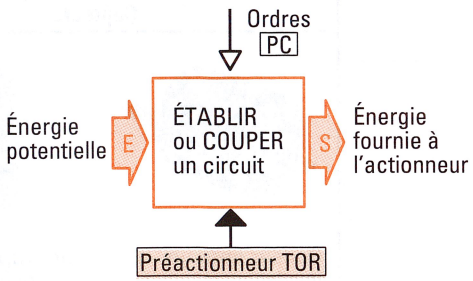
1.2.2. FONCTIONS DES PRÉACTIONNEURS

Leur rôle est de générer l'énergie de commande d'un actionneur.

DISTRIBUTION OU COMMANDE EN TOUT OU RIEN (TOR)

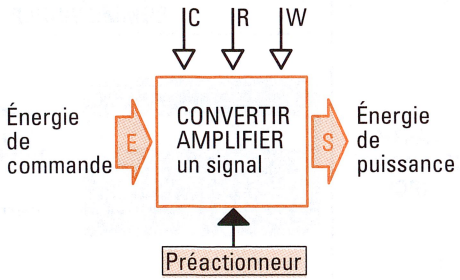
Ce type de préactionneur, appelé TOR, permet d'établir ou de couper un circuit, c'est-à-dire l'alimentation des actionneurs.

E : entrée
S : sortie

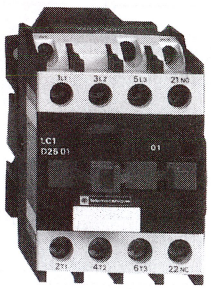
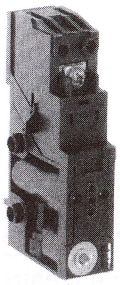
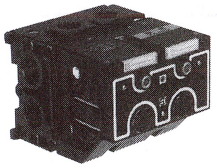
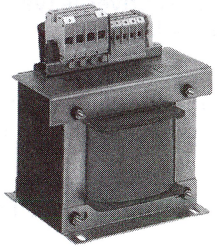


CONVERSION, AMPLIFICATION

Ces fonctions permettent d'adapter les caractéristiques (nature, puissance, pression...) de l'énergie du signal de commande du préactionneur à celles de l'énergie de puissance nécessaire pour l'alimentation des actionneurs.



1.2.3. EXEMPLES DE PRÉACTIONNEURS

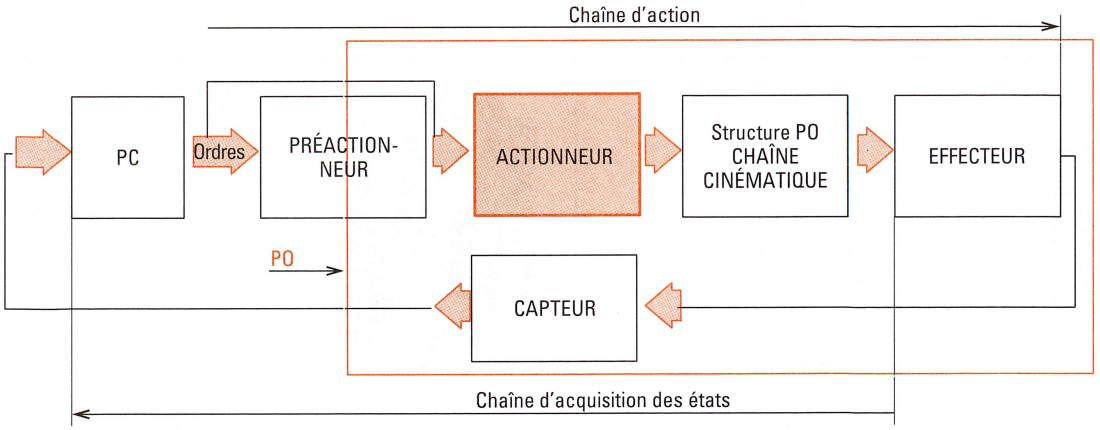
TYPES ↓ / APTITUDES →	FONCTION D'USAGE (activité) ↓	VISUALISATION ↓	OBSERVATIONS APPLICATIONS ↓
Contacteur tripolaire (Telemecanique)	Ordre PC Énergie électrique potentielle (E) → ÉTABLIR OU COUPER le circuit électrique de puissance → (S) Énergie électrique fournie Contacteur tripolaire		Catégories d'emploi des contacteurs (norme). AC1 : chauffage, distribution. AC2 : compresseurs, pompes. AC3 : ascenseurs, escaliers roulants, ventilateurs. AC4 : machines-outils, métallurgie, embrayage, électrovannes.
Interface électropneumatique (Telemecanique)	Signal électrique (E) → CONVERTIR un signal électrique en un signal pneumatique → (S) Énergie pneumatique de puissance Interface électropneumatique		• Raccordement et pilotage aux automates programmables. • Importante économie à l'installation. • Remplace le bornier électrique. • Pour chaque signal, un seul conducteur pneumatique entre le coffret et la machine.
Distributeur pneumatique (Telemecanique)	Énergie pneumatique de commande (E) → AMPLIFIER un signal pneumatique → (S) Énergie pneumatique de puissance Distributeur pneumatique		• De type monostable (3/2) pour commande d'un vérin simple effet (SE). • De type bistable (4/2) pour commance d'un vérin double effet (DE).
Transformateur monophasé de sécurité (Legrand)	Réseau V_1, I_1, f_1 (E) → TRANSFORMER les caractéristiques électriques → (S) Réseau V_2, I_2, f_2 Transformateur V : tension I : courant f : fréquence		• Il est destiné à alimenter un circuit de distribution ou un appareil d'utilisation en très basse tension de sécurité (≤ 50 V). • Le contact sur les deux phases peut être supporté sans danger, même en milieu conducteur. • Conforme à NF C 15-100 et NF C 52-210.

D

1.3. ACTIONNEURS

1.3.1. SITUATION DANS LA CHAÎNE FONCTIONNELLE

L'actionneur est le constituant de base de la PO.

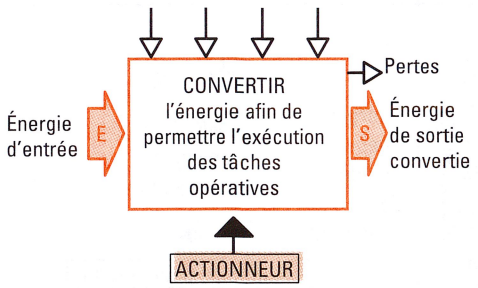


L'**actionneur** est un constituant de base de la chaîne d'action de la PO car il permet l'exécution des tâches opératives d'un système.

1.3.2. FONCTION ET CLASSIFICATION DES ACTIONNEURS

FONCTION D'USAGE

Convertir une énergie d'entrée (énergie de puissance transmise, en général, par le préactionneur) en une énergie de sortie adaptée à l'exécution de la tâche opérative par l'effecteur.

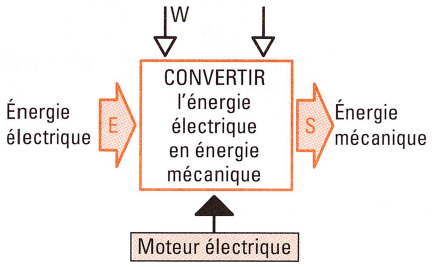
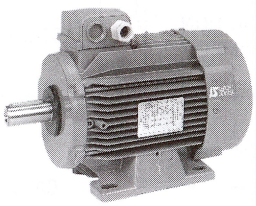
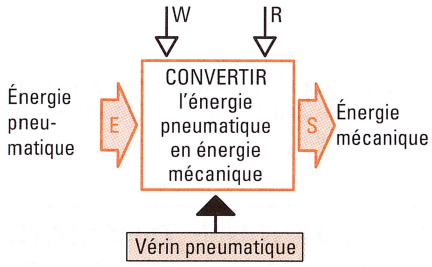
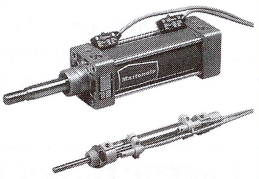
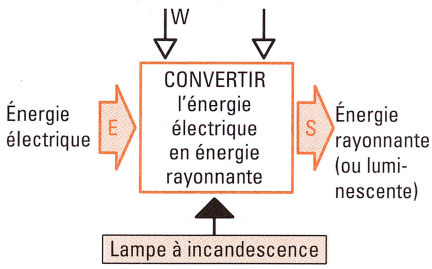
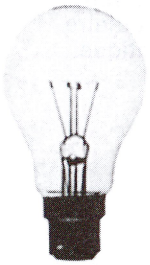
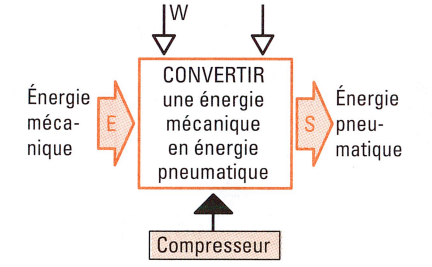
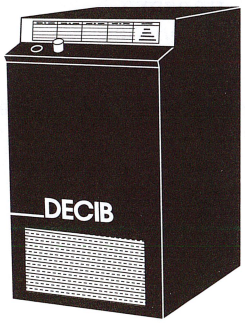


CLASSIFICATION

Les différentes conversions énergétiques mettent en évidence la mobilité ou la non-mobilité de l'énergie convertie (valeur ajoutée). Ce critère permet la classification des actionneurs en deux familles :

- les **actionneurs dynamiques** dont l'énergie convertie est mécanique, ce qui permet des mobilités en translation ou en rotation (moteur, vérin) ;
- les **actionneurs statiques** dont l'énergie convertie est sans mobilité (résistance, lampe...).

1.3.3. EXEMPLES D'ACTIONNEURS

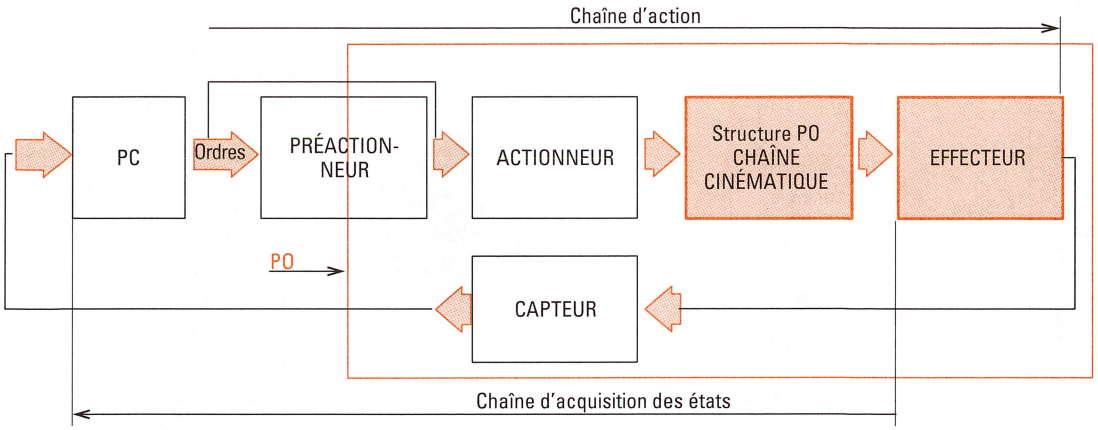
TYPES ↓ / APTITUDES →	FONCTION D'USAGE (activité) ↓	VISUALISATION ↓	OBSERVATIONS APPLICATIONS ↓
Moteur électrique asynchrone (Leroy Somer)			• Les moteurs électriques asynchrones triphasés à rotor en court-circuit, type fermé, sont les plus utilisés. • Simplicité, robustesse, faible encombrement. • Peu d'entretien et de surveillance. • Grande fiabilité de fonctionnement. • Faible prix de revient.
Micro-vérin pneumatique double effet (Norgren Martonair)			• Vérins conformes aux normes ISO DIS 6432, CETOP RP 52 P, AFNOR, NF E 49-030. • Excellent rendement et grande longévité. • Entretien aisé. • Grande robustesse. • Montages très divers grâce à la grande variété des fixations.
Lampe à incandescence ordinaire			• Se prête bien aux éclairages localisés et aux éclairages décoratifs. • Réalisations économiques des installations à faible durée d'utilisation. • Branchement direct sur le secteur. • Allumage instantané. • Efficacité lumineuse faible. • Dégagement de chaleur non négligeable.
Compresseur ou centrale d'air (Creyssensac)			• Insonorisé. • Montage sur plots antivibratiles. • Tableau de bord avec : – compteur horaire, – interrupteur marche-arrêt, – avec témoin manomètre.

D

1.4. EFFECTEURS ET CHAÎNES CINÉMATIQUES

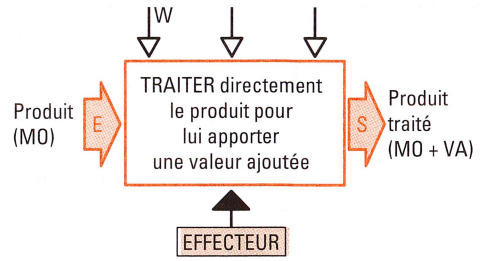
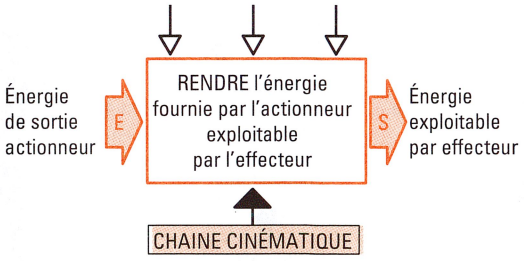
1.4.1. SITUATION DANS LA CHAÎNE FONCTIONNELLE

L'effecteur est l'élément terminal de la chaîne d'action opérative.

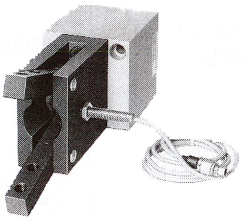
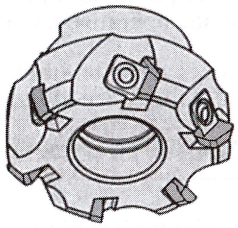
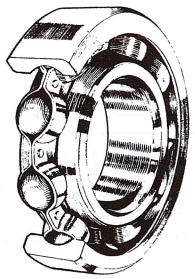


L'**effecteur** est l'élément terminal de la chaîne d'action d'une chaîne fonctionnelle. Il agit directement sur le produit et concrétise la valeur ajoutée recherchée par l'action ou la tâche opérative. Il est, en général, lié à l'actionneur par une **chaîne cinématique**.

1.4.2. FONCTIONS DES EFFECTEURS ET DE LA CHAÎNE CINÉMATIQUE

EFFECTEUR	Traiter directement le produit (concrétiser la valeur ajoutée) à partir des mobilités, des énergies (W) transmises par l'intermédiaire d'une chaîne cinématique.	
CHAÎNE CINÉMATIQUE	Structure PO composée d'éléments de transmission, de transformation, de guidage... qui permettent de rendre exploitable, par l'effecteur, l'énergie de sortie de l'actionneur.	

1.4.3. EXEMPLES D'EFFECTEURS ET D'ÉLÉMENTS DE CHAÎNE CINÉMATIQUE

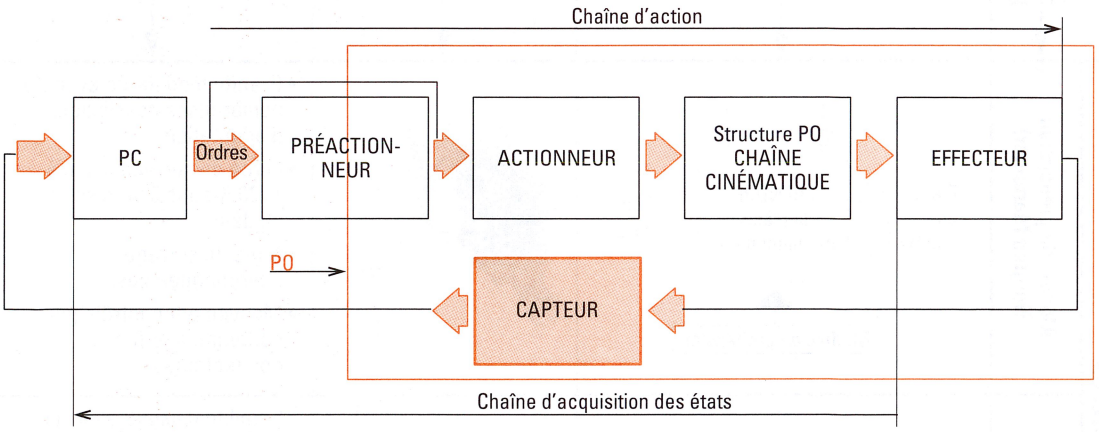
TYPES / APTITUDES	FONCTION D'USAGE (activité)	VISUALISATION	OBSERVATIONS APPLICATIONS
EFFECTEURS — Module de préhension (Norgren Martonair)	Pièce en attente (E) — PRENDRE la pièce par pincement — (S) Pièce saisie ; Module de préhension		• Grande modularité avec de nombreuses possibilités d'adaptation. • Force de serrage jusqu'à 1 730 N sous 6 bars selon modèle. • Mors de serrage interchangeables. • Mouvement contrôlé par capteur inductif avec connecteur.
EFFECTEURS — Fraise de surfaçage (Sandvik Coromant)	Pièce à l'état brut (E) — SURFACER une pièce à vitesse élevée — (S) Pièce usinée ; Fraise à surfacer		• Stabilité d'usinage élevée. • Nombre maximum de plaquettes pour une productivité optimale dans des conditions stables. • Tous matériaux suivant nuances des plaquettes. • Plaquettes interchangeables. • Grande vitesse de coupe.
ÉLÉMENTS DE CHAÎNE CINÉMATIQUE — Roulement à billes à contact radial (1 rangée de billes) (SNR)	Arbre (E) — GUIDER en rotation — (S) Arbre guidé en rotation (ω) ; Roulement à billes		• Conforme à NF E 22-315. • Nombreuses versions : protégés ou étanches, à joints spéciaux… • Aptitudes moyennes aux charges radiales et axiales. • Très bonne aptitude à la rotation. • Roulement universel, excellent rapport qualité/prix.
ÉLÉMENTS DE CHAÎNE CINÉMATIQUE — Vis-écrou à billes (SKF)	Mouvement de rotation (E) — TRANSFORMER un mouvement de rotation en translation — (S) Mouvement de translation ; Vis-écrou à billes		• Pas de frottement, pas de jeu. • Vitesse de déplacement élevée. • Durée de vie importante. • Positionnement axial précis requis. • Très utilisée notamment sur les machines à commande numérique.

D

1.5. CAPTEURS

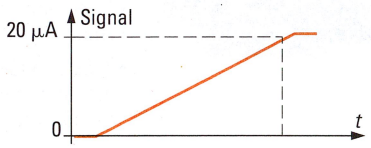
1.5.1. SITUATION DANS LA CHAÎNE FONCTIONNELLE

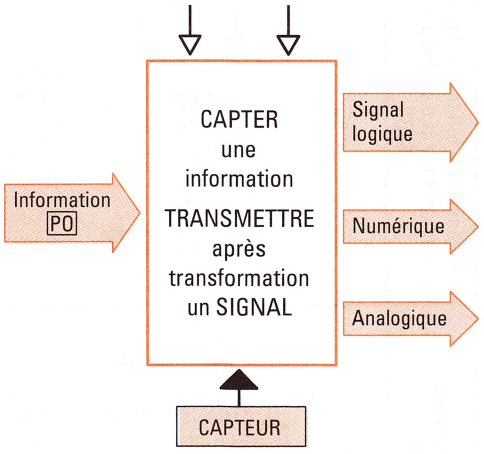
Le capteur est l'interface du dialogue PO ⇨ PC.



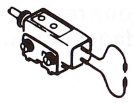
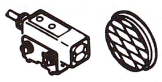
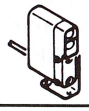
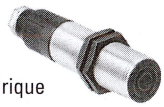
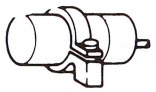
La figure ci-dessus précise que la partie commande PC doit impérativement, pour gérer le processus de coordination des tâches opératives, connaître les différents états de la partie opérative PO.
Il existe, dans tout système automatisé, un élément qui capte ces états pour en informer ensuite la partie commande. Cet élément, interface indispensable du dialogue PO ⇨ PC est un **capteur**.

1.5.2. FONCTIONS DES CAPTEURS ET TYPES DE SIGNAUX TRANSMIS

LOGIQUE	• États 0 ou 1 • À partir d'une information binaire, (présence OUI [1] ou NON [0]). C'est le cas des capteurs TOUT ou RIEN (TOR). 
NUMÉRIQUE	Capteur incrémental dont la rotation, sur un ou plusieurs pas, se traduit par une suite d'impulsions prise en compte par une interface (automate). 
ANALOGIQUE	Le signal est une grandeur physique proportionnelle à l'information (grandeur thermique, électrique, force...). 

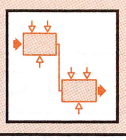


1.5.3. EXEMPLES DE CAPTEURS

TYPES ↓ / APTITUDES →	FONCTION D'USAGE (activité) ↓	VISUALISATION ↓	OBSERVATIONS APPLICATIONS ↓
Interrupteur de position (Norgren Martonair)	W État position pièce — E — CAPTER une position par contact — S — Signal pneumatique logique Interrupteur de position		• Détection de pièces en mouvement par action mécanique. • Appareil résistant aux ambiances agressives. • Nombreuses applications industrielles (détection ouverture, fermeture, fin de course...).
Détecteur photo-électrique (Telemecanique)	W État présence pièce — E — DÉTECTER présence pièce sans contact — S — Information de présence variation d'intensité Détecteur photo-électrique	 Système barrage Système reflex   Système de proximité	**Barrage** • Détection de matériaux opaques et réfléchissants. • Environnement pollué. • Longues distances. **Reflex** • Détection possible uniquement d'un seul côté. • Convoyage de boîtes. • Environnement propre. **Proximité** • Détection d'objets transparents ou translucides. • Détection de repères ou marques.
Détecteur de proximité inductif (Telemecanique) **Détecteur de proximité capacitif (Telemecanique)**	W État présence pièce — E — DÉTECTER présence pièce sans contact — S — Signal électrique logique Détecteur de proximité	 Cylindrique  Parallélépipédique  Fixation par collier  Fixation par écrous	**Détecteur inductif** • Objets métalliques. **Caractéristiques communes aux deux détecteurs** • Contrôle de présence, de fin de course. • Détection de passage, de défilement. • Comptage, codage, positionnement. • Environnement extérieur sévère : poussière, huile de coupe, agents chimiques, humidité, vapeurs, chocs, vibrations. • Détection de pièces de petites dimensions ou fragiles. **Détecteur capacitif** • Liquides et pulvérulents. • Matériaux conducteurs et isolants.

D

2. SYSTÈMES DE PRODUCTION



DÉFINITIONS

• **Productique**

Ensemble de technologies, de procédés ou systèmes, de méthodes tels que la commande numérique des machines-outils, la gestion de production (ordonnancement, technologie de groupe, qualité...), l'assistance par ordinateur (fabrication assistée par ordinateur **FAO**...), le montage, le contrôle... employés afin d'optimiser la productivité dans une entreprise.

• **Productivité**

Capacité à produire et à vendre le maximum de produits conformes (respect des normes imposées) dans un délai défini et au prix de revient le plus bas.

• **Compétitivité**

Capacité à affronter, dans de bonnes conditions, les entreprises concurrentes et les exigences de la clientèle avec des produits compétitifs et innovants.

• **Processus de production**

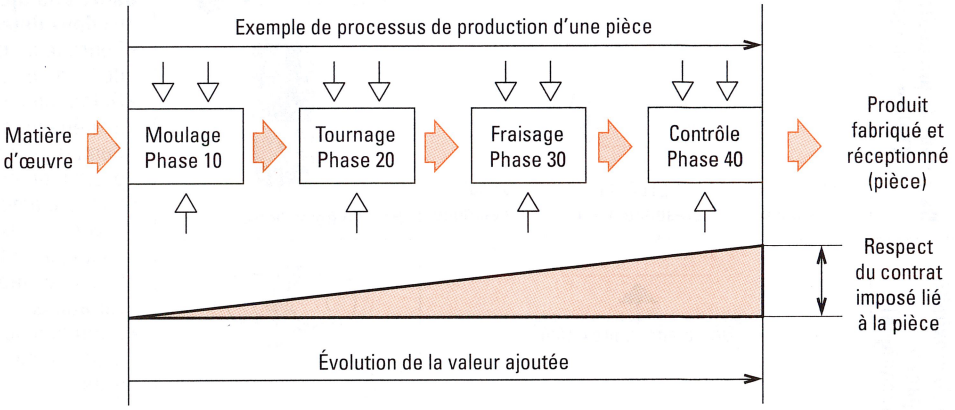
Chronologie des opérations réalisées avec différents procédés ou systèmes (moulage, usinage, montage, soudage, collage...). Il introduit les notions de temps et d'ordonnancement.

• **Procédé** ou **système**

Technique d'obtention mettant en œuvre une démarche opérative. Chaque procédé ou système apporte au produit une valeur ajoutée.

• **Produit**

En général le produit est un bien matériel (de consommation, d'équipement) qu'une entreprise fournit aux consommateurs pour répondre à leurs besoins. Il constitue l'objectif de la démarche productique.

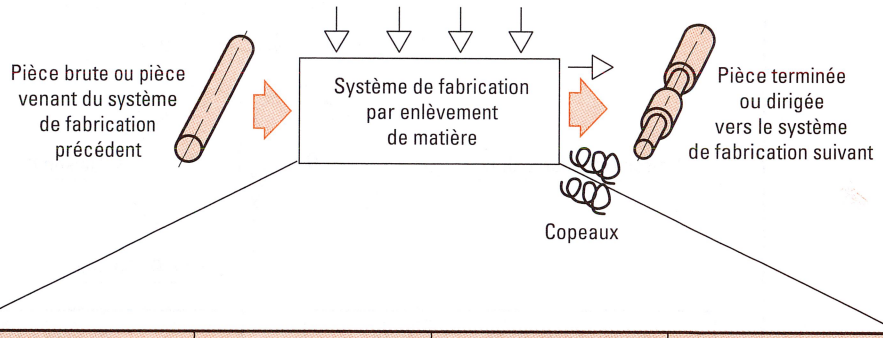


Exemple de système de production

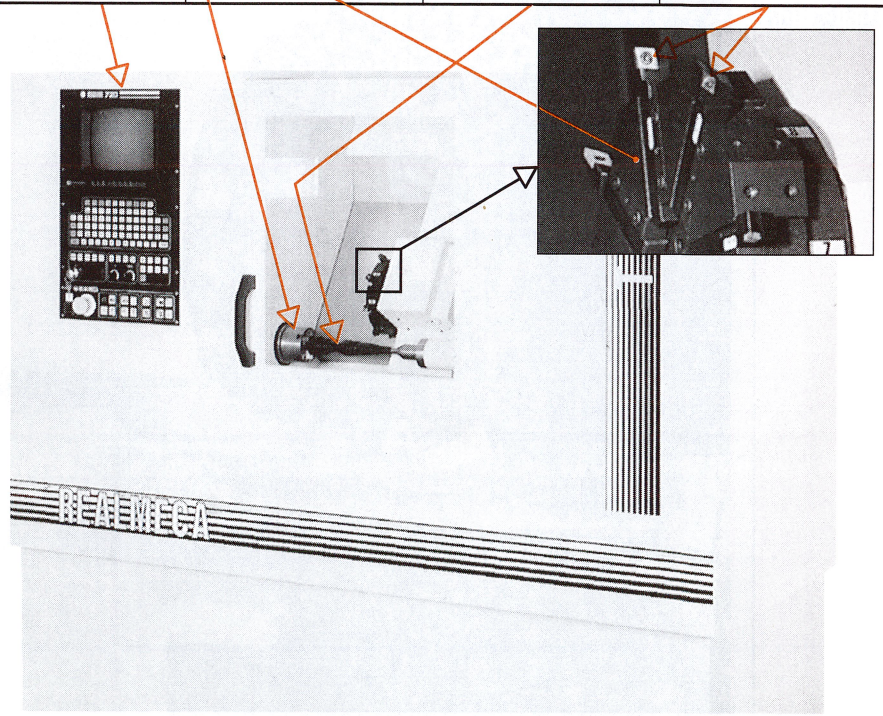
2.1. SYSTÈMES DE FABRICATION PAR ENLÈVEMENT DE MATIÈRE (USINAGE)

ÉLÉMENTS DE BASE DES SYSTÈMES DE FABRICATION PAR ENLÈVEMENT DE MATIÈRE

Les systèmes de fabrication par enlèvement de matière sont composés des éléments de base suivants : la machine, les appareillages porte-pièce et porte-outil, la pièce, l'outil.



Machine	Appareillages	Pièce	Outil
Support géométrique et cinématique du système.	Permettent la liaison complète et démontable, dans une position géométrique définie, de la pièce et de l'outil dans le système	Élément de base dans l'analyse du système. Elle détermine les choix des autres éléments du système et des liaisons qui en découlent.	Élément de coupe de la matière dans le système.



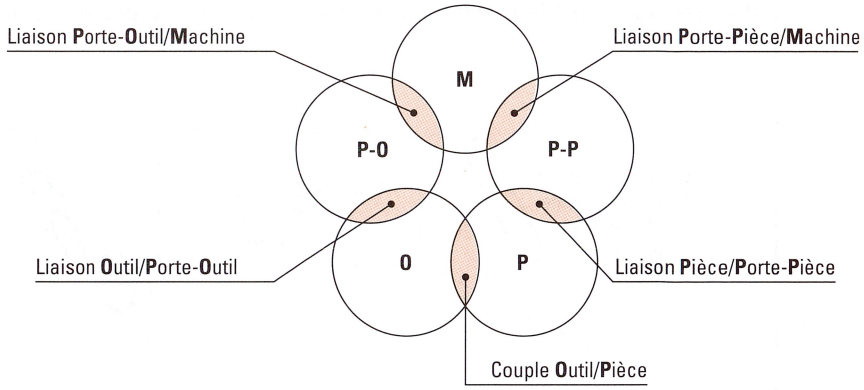
Doc. REALMECA

D

Systèmes de fabrication par enlèvement de matière (usinage)

LIAISONS INTERNES AU SYSTÈME DE FABRICATION

Dans un système de fabrication, les éléments de base sont liés les uns aux autres par les liaisons suivantes :

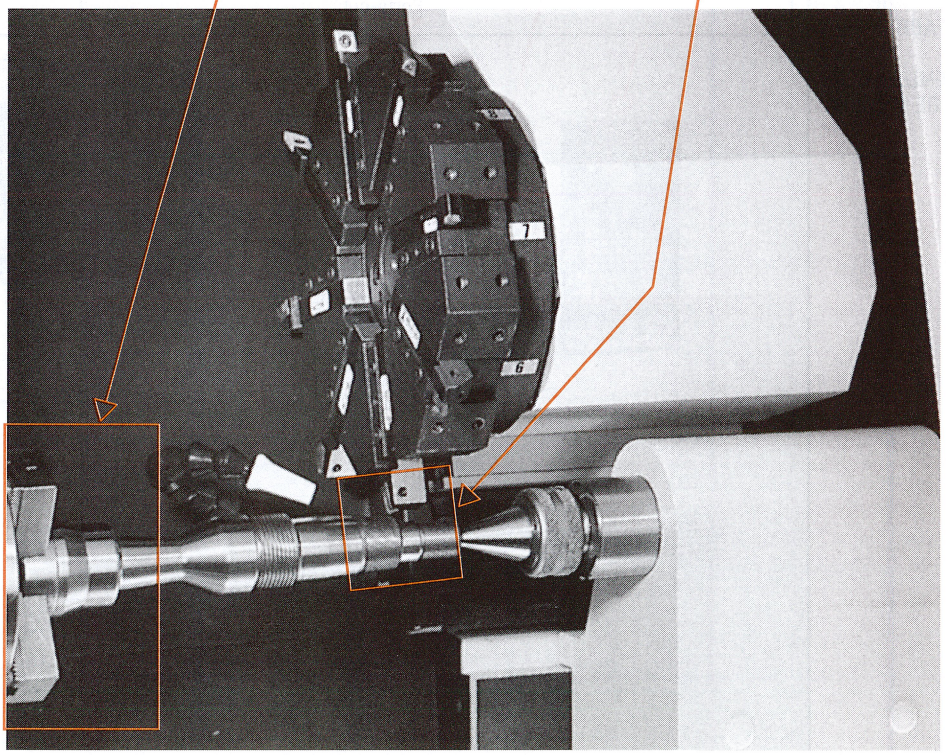


Exemple de liaison : (P)(P-P)

Permet l'étude des liaisons mécaniques entre solides (symbolisation géométrique et technologique). Transposable aux autres liaisons du système : (O)(P-O), (P-O)(M), (P-P)(M).

Couple (O)(P)

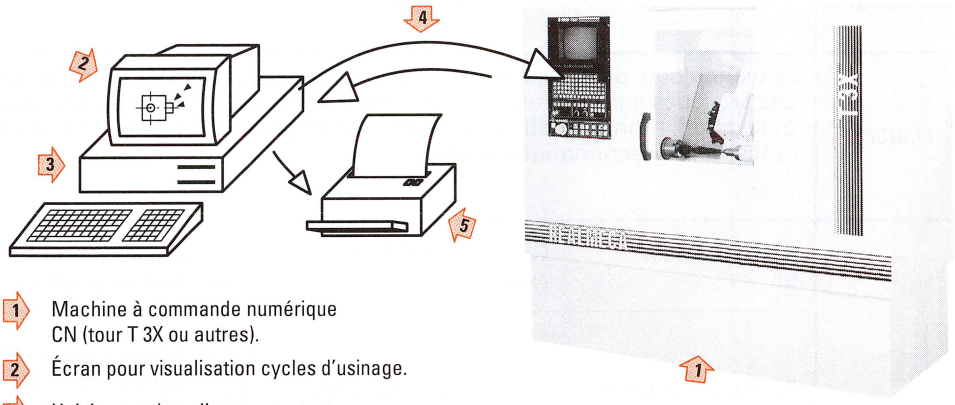
Permet de dégager les principes de génération de surfaces, les réglages cinématiques, les opérations d'usinage...



Doc. REALMECA

Exploitation d'un système de fabrication par enlèvement de matière à partir d'une assistance par ordinateur avec logiciel EFI-CN (FAO)

CONFIGURATION POSTE FAO

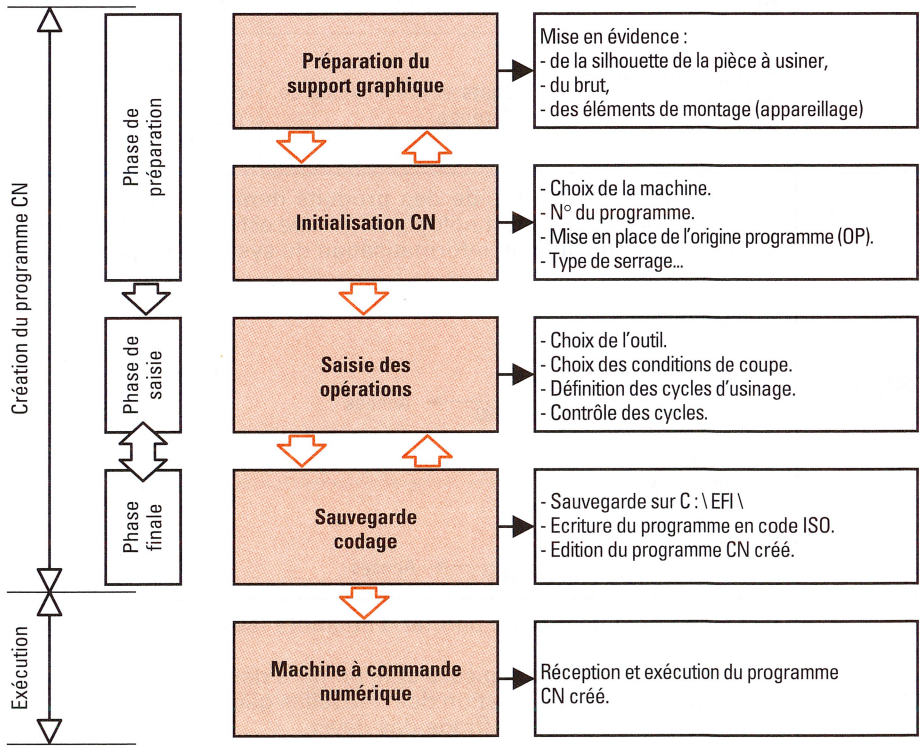


1. Machine à commande numérique CN (tour T 3X ou autres).
2. Écran pour visualisation cycles d'usinage.
3. Unité centrale ordinateur portant les logiciels EFI-CN et AUTOCAD.
4. Liaison ordinateur/CN et CN/ordinateur (port série).
5. Imprimante graphique pour édition programme CN ou documents fabrication (APEF).

Doc. REALMECA

DÉMARCHE GÉNÉRALE FAO LOGICIEL EFI-CN

La création d'un programme CN peut se décomposer en trois phases ordonnées de travail.



D

2.2. TECHNOLOGIE DE GROUPE (TG). CLASSIFICATION PAR FAMILLES

DÉFINITION (NF X 50-310)

La technologie de groupe est un concept de regroupement qui permet d'identifier les similitudes entre des éléments et de les reclasser en familles, en vue d'optimiser les traitements ou les actions les concernant.

PRINCIPE

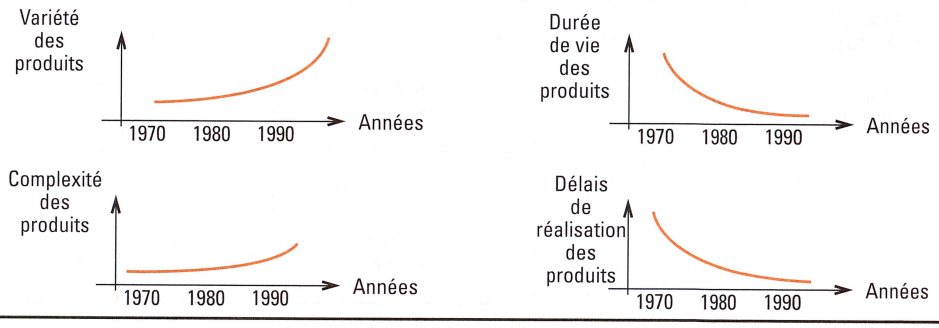
La technologie de groupe consiste à grouper des pièces, des produits, des opérations, des procédés aux différents stades de leur élaboration : conception, production, industrialisation, montage, afin de profiter avantageusement de leurs similitudes pour les industrialiser économiquement.

DOMAINES D'APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE DE GROUPE

Bureau d'études **BE**	Élaboration des avant-projets	Souci de standardisation et limitation du nombre de pièces nouvelles.
Bureau des méthodes **BM**	Élaboration des documents méthodes	– Réduction du nombre de gammes et de leur temps de préparation. – Standardisation des processus. – Uniformisation des outillages de fabrication et de contrôle.
Gestion de production **GP**	Piloter le flux de matière	– Diminution du nombre de dossiers à gérer. – Meilleure exploitation des moyens. – Simplification de l'ordonnancement. – Réduction des en-cours.
Atelier de production **AP**	Implantation des moyens de production	Création d'îlots de production et de cellules flexibles.
Achats-approvisionnement **AA**	Achats et commandes de référence	Limitation du nombre de références à gérer, donc du nombre de fournisseurs, gain de prix par des commandes de plus grandes quantités.

INTÉRÊTS

Face à une évolution rapide des produits demandés par les clients (voir les graphiques ci-dessous), la technologie de groupe est la démarche préalable indispensable à toute automatisation et informatisation du système de production.



OBJECTIFS

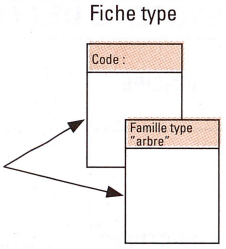
La technologie de groupe permet d'atteindre les objectifs suivants (la liste n'est pas exhaustive) :
– réduire la diversité des pièces et le nombre des articles,
– réduire les coûts de création des nouvelles gammes,
– réduire les temps de chiffrage des devis,
– réduire les en-cours,
– archiver le savoir du personnel (acquis techniques importants).

OUTILS

• Classification et codification

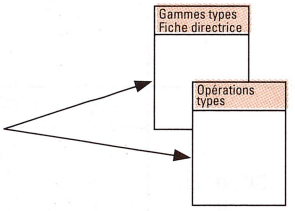
C'est la difficulté majeure en ce qui concerne l'implantation de la technologie de groupe dans l'entreprise. Il faut avant tout définir les critères de regroupement qui serviront à définir les familles de pièces, ceci à partir d'un échantillon de pièces représentatives de l'entreprise.

Cette implantation doit impérativement commencer au bureau d'études puis passer au bureau des méthodes et ensuite à l'atelier de production.

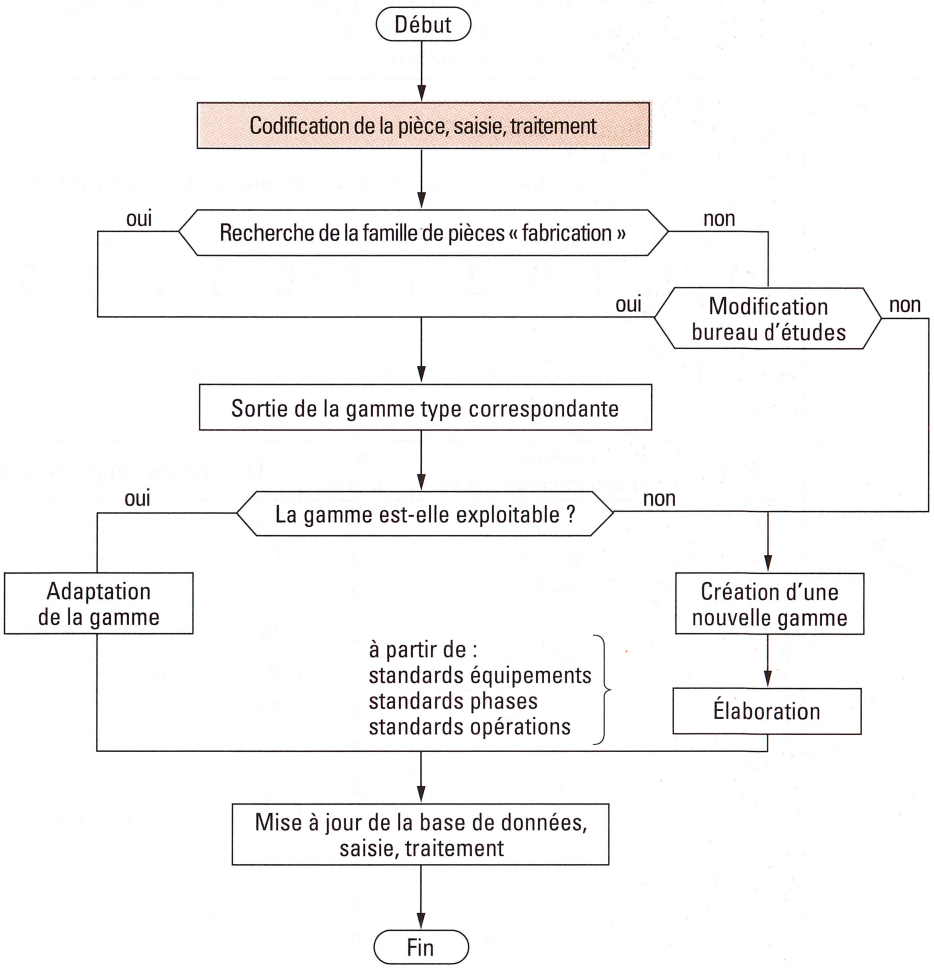


• Fiches techniques

Elles comportent la définition :
- des fichiers de pièces,
- des familles de pièces,
- des dessins types de pièces,
- des familles de gammes,
- des gammes types,
- des familles d'opérations,
- des opérations types.



EXEMPLE D'ORGANIGRAMME DE LA TECHNOLOGIE DE GROUPE AU BUREAU DES MÉTHODES



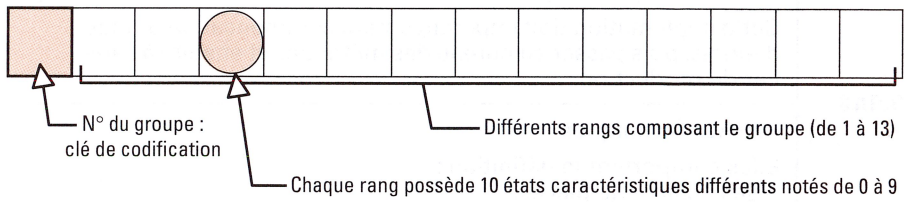
D

SYSTÈME DE CODIFICATION DES PIÈCES : CETIM-PMG (pièce mécanique générale)

PRINCIPE

Ce système utilise une codification de base morphodimensionnelle pour classer les pièces fabriquées et les matières.

STRUCTURE DE LA CODIFICATION



GROUPES DE TYPES DE PIÈCES

N°	Groupes
0	Matières
1	Pièces élémentaires usinées de révolution
2	Pièces élémentaires usinées de non-révolution
3	Pièces élémentaires de construction soudée : produits plats
4	Pièces élémentaires de construction soudée : produits longs
5	Ensembles et sous-ensembles en construction soudée
6	Pièces standard de commerce
7	Moules, matières plastiques

EXEMPLE DE CODIFICATION

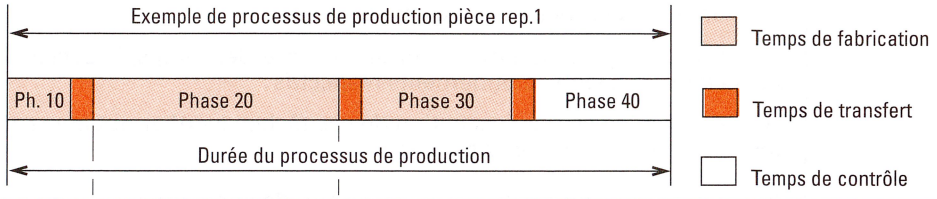
CENTREUR
Dessin de définition, *voir p. 19.*
Matière : C40 (XC42)
Programme de fabrication : petite série renouvelable. 50 pièces par mois durant 3 ans.



Rang	Critères de classification retenus	N° d'état	État caractéristique de la pièce codifiée	
1	Morphologie générale d'usinage	2	Pièce épaulée (2 épaulements)	
2		2	Deux formes intérieures débouchantes	
3		0	Deux formes intérieures non débouchantes	
4	Dimensions	2	20 mm < longueur < 40 mm	
5		1	20 < diamètre < 32	
6	Éléments de forme	0	Sans	
7		0	Sans	
8		0	Sans	
9	Tolérances	2	Qualité de 16 à 9, Ra 6,3 à 1,6 avec $l < 5\,\varnothing$	
10	Matière	1	Acier C40 (XC42)	
11	Type de brut	0	Produit ouvré, barre ronde	
12	Traitement thermique	0	Sans traitement thermique	
13	Cadence et quantité	2	Moins de 30 lots par an	Quantité : 26 à 150

2.3. PRINCIPAUX TEMPS DE FABRICATION

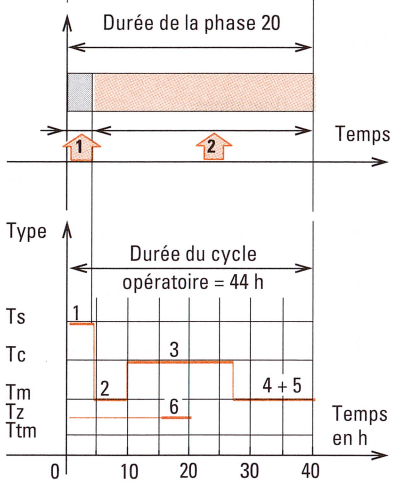
EXEMPLE DE TEMPS DANS LE PROCESSUS



NOTIONS DE SIMO-GRAMME

C'est une représentation graphique du cycle de travail.

Simogramme
de la phase 20 TOURNAGE
Série de 400 pièces



1 Temps de préparation du poste (Ts)

2 Temps d'exploitation du poste (Tc, Tm, Tz)

Rep.	Opérations	Type	Temps pour une pièce	Temps pour la série
1	Équiper et régler le système de fabrication	Ts		4 h
2	Monter la pièce	Tm	100 cmin.	6,66 h
3	Usiner la pièce	Tc	250 cmin.	16,66 h
4	Démonter la pièce	Tm	100 cmin.	6,66 h
5	Nettoyer le montage	Tm	200 cmin.	10 h
6	Ébavurage	Tz	100 cmin.	
				44 h

cmin. : centième de minute
h : heure

TEMPS DE PRÉPARATION (Ts)

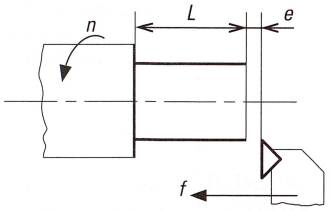
Temps nécessaire à la préparation d'un poste de travail en vue de la production d'une série de produits. Ce temps couvre l'installation de l'appareillage, de l'outil ainsi que tous les réglages géométriques et les réglages cinématiques du système de fabrication.

TEMPS DE COUPE (Tc) (OU TEMPS TECHNOLOGIQUE Tt)

Temps productif durant lequel l'outil coupe la matière et génère la ou les surface(s)

n : vitesse de rotation en tr/min.
f : avance en mm/tr.
L : longueur usinée en mm.
e : longueur d'approche en mm.
Tc : temps de coupe en minutes.

$$Tc = \frac{L + e}{n.f}$$



TEMPS MANUEL (Tm)

Temps correspondant à un travail intellectuel ou physique que l'opérateur effectue systématiquement pour chaque pièce de la série.

Exemples : monter une pièce, actionner un mécanisme.

TEMPS TECHNO-MANUEL (Ttm)

Temps correspondant à des actions combinées de l'opérateur et de la machine...

Exemple : perçage sur une perceuse sensitive.

TEMPS MASQUÉ (Tz)

Temps correspondant à un travail manuel effectué pendant que la machine travaille (Tc). Ce temps n'est donc pas pris en compte dans la durée du cycle.

Exemples : mesurer, ébavurer une pièce.

D

2.4. DIAGRAMME DE GANTT

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

C'est un outil d'ordonnancement qui permet :

– de visualiser graphiquement, sur une échelle des temps, la succession des tâches à effectuer avec leurs jalonnements respectifs ;

– de lancer et de suivre l'exécution de ces tâches (vérifier notamment si leur exécution est conforme aux prévisions) ;

Pour établir ce diagramme, il est nécessaire de connaître :

– la procédure de fabrication (gammes) ;

– les différents temps liés à l'organisation de la productique : réglage, usinage, transfert...

– les délais imposés ;

– les ressources et moyens disponibles.

Principe de représentation

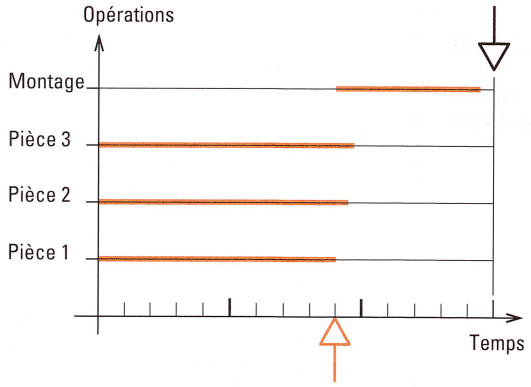
→ Au 4e jour de la 2e semaine :

– les pièces 1 doivent être terminées ;

– les pièces 2 et 3 sont en cours de fabrication ;

– le montage du produit (1 + 2 + 3) doit être lancé.

→ Date de livraison du produit.

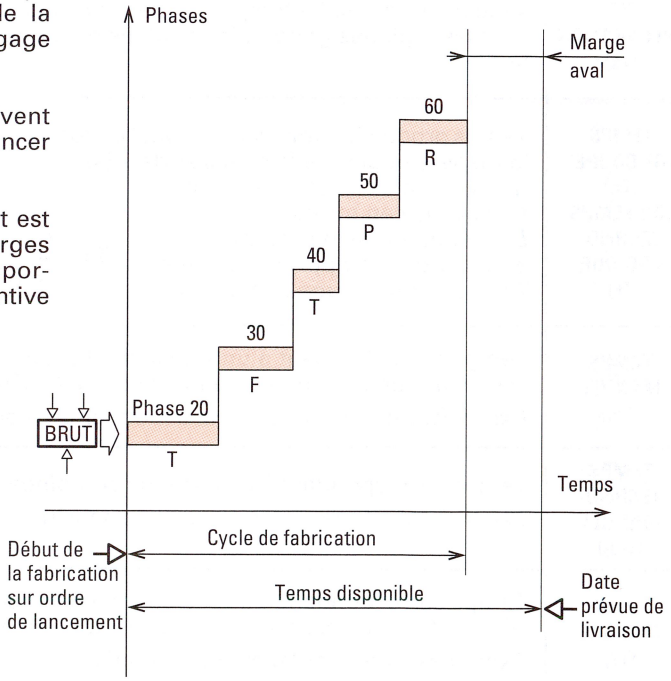


JALONNEMENT « AU PLUS TÔT »

La différence entre la durée de fabrication et de temps disponible (fonction de la date de livraison) dégage une **marge aval**.

Les pièces brutes doivent être disponibles pour lancer l'ordre de fabrication.

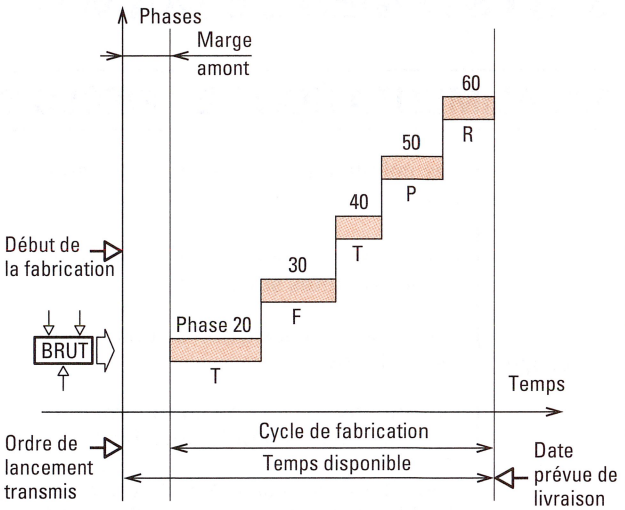
Ce type de jalonnement est utilisé lorsque les charges de fabrication sont importantes (démarche préventive en cas d'aléas).



JALONNEMENT « AU PLUS TARD »

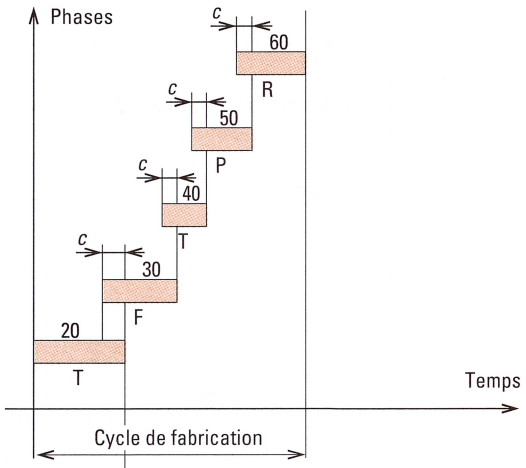
En prenant comme base la date prévue de livraison, la même différence de temps exprimée dans le cas précédent dégage une **marge amont.**

Ce type de jalonnement permet plus de souplesse dans l'organisation de l'îlot de production.



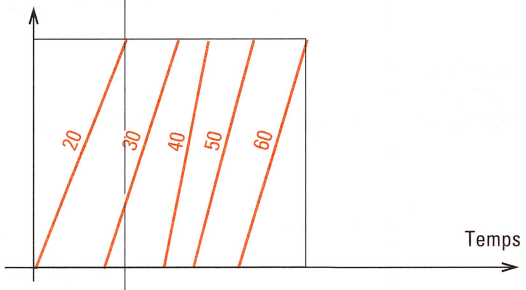
JALONNEMENT AVEC CHEVAUCHEMENT

Ce type de jalonnement avec chevauchement (*c*) des phases entre elles permet de réduire la durée du cycle de fabrication.

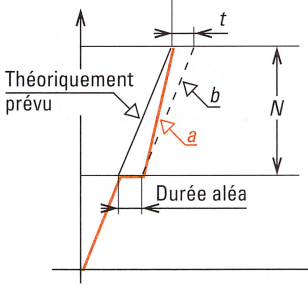


Remarque : dans le cas d'un aléa de fabrication lors d'une phase (exemple : phase 20)

a ▷ Sans conséquence sur la durée du cycle de fabrication si l'on peut accroître les capacités de production pour le nombre de pièces (*N*) restant à fabriquer.



b ▷ Si les capacités de production sont déjà optimales, la durée du cycle de fabrication peut être plus ou moins prolongée (*t*).



Exemple d'aléa dans la phase 20.

D

3. SYSTÈMES DE MANUTENTION

3.1. ALIMENTATION DES PIÈCES SUR MACHINE

QUALITÉS

Les cellules d'usinage sont des centres équipés de systèmes automatisés d'alimentation des pièces.

L'unité de chargement et de déchargement des pièces sur une machine doit posséder les qualités suivantes :

– précision : la pièce doit se positionner le plus précisément possible sur le porte-pièce (isostatisme) ;

– productivité : lors du changement de pièce, la machine ne produit plus. L'opération doit être la plus rapide possible ;

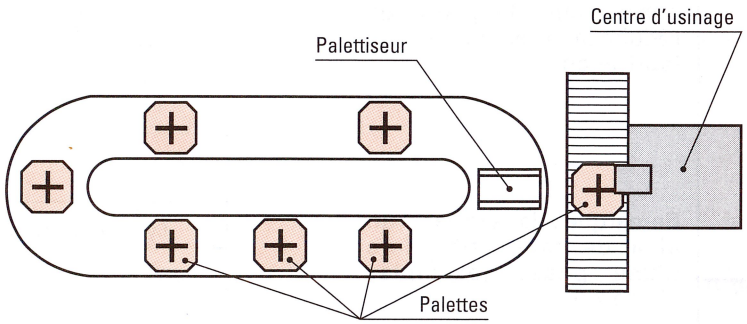
– flexibilité : le système doit pouvoir s'adapter aux changements de fabrication (pièces de différents modèles) ou à des positions différentes de la pièce sur la machine ;

– fiabilité : la probabilité du taux de panne doit être très faible.

CONFIGURATIONS POSSIBLES

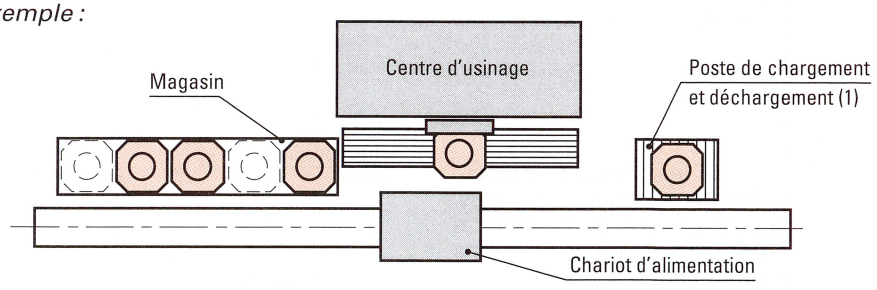
• **Magasin circulaire + palettiseur**

Exemple :



• **Magasin linéaire + palettiseur**

Exemple :



(1) Opération effectuée par l'opérateur.

3.2. ROBOTS

DÉFINITION

Un robot est un mécanisme dont le but est la saisie, le déplacement et le positionnement d'objets.

Les déplacements et les différentes positions du robot peuvent être asservis et préprogrammés.

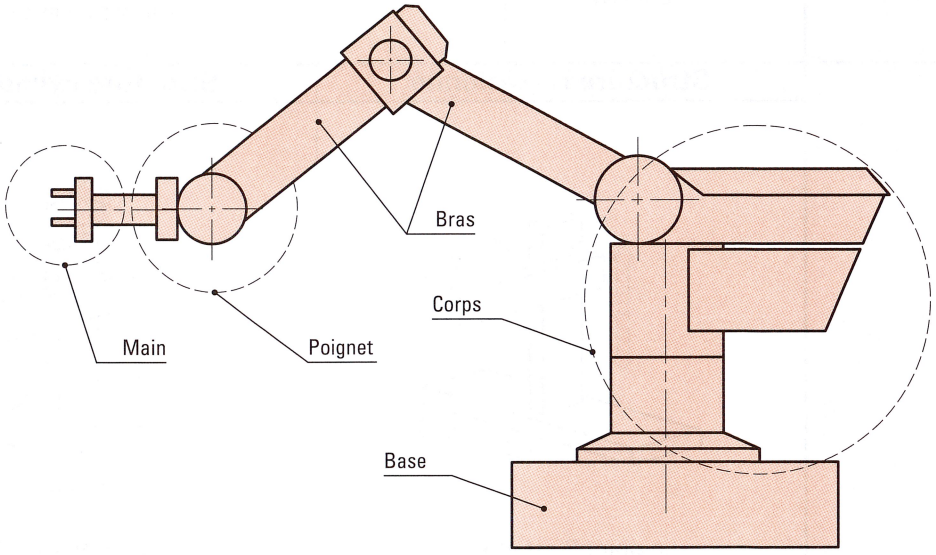
Il peut être utilisé pour le positionnement des pièces sur les machines mais également dans les systèmes de montage automatisés.



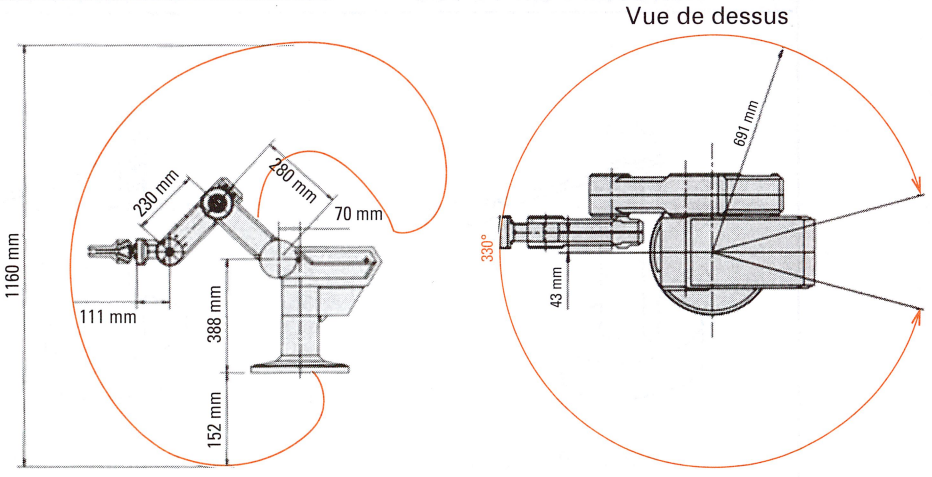
Robot SCORBOT

Doc. ESHED ROBOTEC

TERMINOLOGIE



ESPACE DE TRAVAIL



D

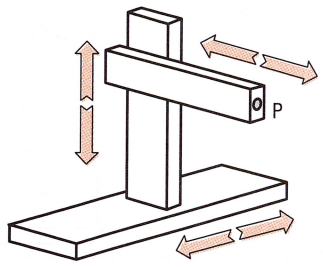
Robots

CLASSIFICATION

TYPE	PROGRAMMATION	FONCTIONNEMENT
ROBOT À APPRENTISSAGE	Par apprentissage	Répétition d'une séquence mémorisée après apprentissage réalisé par un opérateur humain
ROBOT À COMMANDE NUMÉRIQUE	Langage de bas niveau	Ordres de séquences et de conditions de travail reçus numériquement
ROBOT INTELLIGENT	Langage de haut niveau	Fonctions variées grâce à son importante faculté de saisie de l'environnement par des capteurs

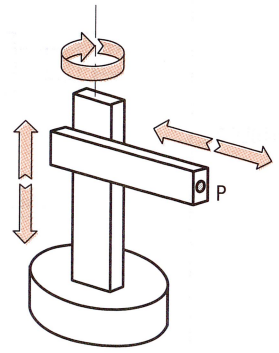
STRUCTURES

Structure cartésienne



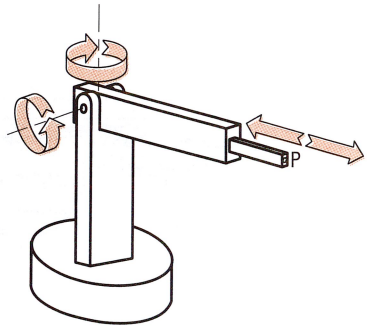
Le point P est atteint par 3 translations.

Structure cylindrique



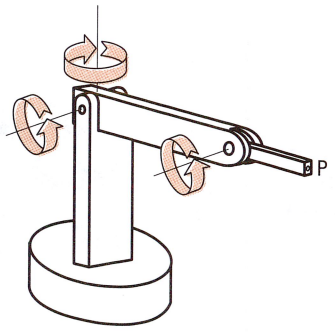
Le point P est atteint par 1 rotation et 2 translations.

Structure sphérique



Le point P est atteint par 2 rotations et 1 translation.

Structure polaire



Le point P est atteint par 3 rotations.

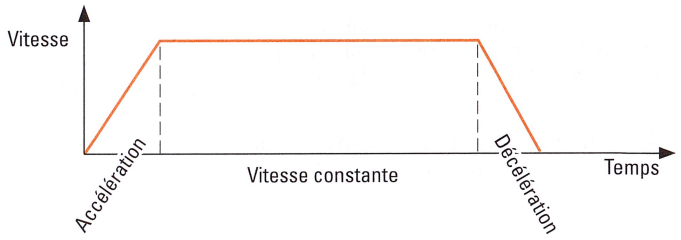
CARACTÉRISTIQUES DES ROBOTS

• **Volume de travail**
C'est l'espace physique déterminé par l'ensemble des points que peut atteindre l'extrémité de l'organe terminal. Il est déterminé par l'architecture du robot.

Exemples :
– parallélogramme pour un robot cartésien,
– hémisphère pour un robot polaire.

• **Charge admissible**
C'est la charge que peut transporter le poignet du robot dans tout son volume de travail.

• **Vitesse de déplacement**
Le constructeur définit la vitesse de déplacement linéaire ou angulaire pour chaque axe (en m/s ou en degré/s).



Courbe de la vitesse de déplacement, en fonction du temps, de l'extrémité d'un axe d'un robot

• **Précision**
C'est l'écart de distance entre la position programmée et la position atteinte.

• **Répétabilité**
C'est l'écart moyen entre un point programmé et le barycentre des points réellement atteints au cours d'une série d'essais. Le barycentre représente la position moyenne atteinte.
Cette caractéristique est très importante car on attend d'un robot qu'il puisse venir un grand nombre de fois au même endroit.

• **Versabilité**
C'est la capacité d'un robot à s'adapter à une difficulté aléatoire à l'intérieur d'une tâche.

SÉCURITÉ

Le risque le plus important est le risque de heurts dans la zone d'évolution.

Seul le personnel **habilité** peut accéder, lors du réglage ou lors d'une opération de maintenance, à cette zone d'évolution.

Cette zone doit être matérialisée au sol et son accès protégé par des barrières de protection (*voir p. 90-92*).

D

4. SYSTÈMES DE VÉRIFICATION ASSISTÉS PAR ORDINATEUR

4.1. ÉLÉMENTS DE BASE

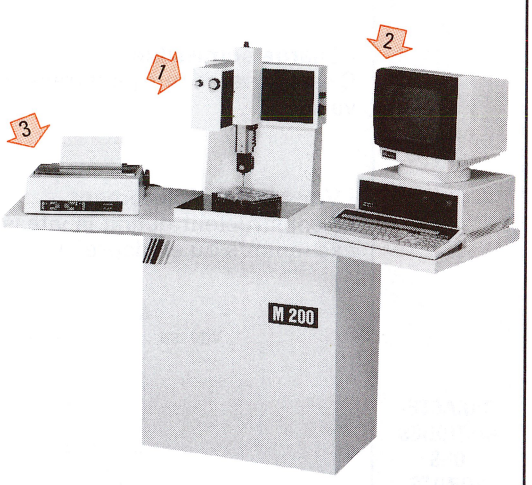
CONFIGURATION GÉNÉRALE D'UNE MESURE TRIDIMENSIONNELLE

1 **La machine à mesurer tridimensionnelle** (MMT) de type col de cygne.

Elle dispose :
– d'un **palpeur** électronique se déplaçant sur 3 glissières orthogonales (règles) selon les 3 axes XYZ ;
– d'une référence de planéité (axe Z) : marbre en granit sur lequel est liée la pièce à mesurer.

2 **Un ordinateur** qui :
– porte le logiciel (*ex. :* César 3,4...) ;
– traite les informations transmises par les règles (définition, calculs...).

3 **Une imprimante** qui permet l'édition de documents (*ex. :* certificat de mesurage...).



Ensemble M 200

Doc. REALMECA

Remarque : pour atteindre la productivité maximale, il est possible d'intégrer le palpeur sur le changeur d'outil d'une commande numérique. Cette possibilité permet de rendre de nombreux services dans l'exploitation de la MOCN (*ex. :* mesurages intermédiaires directement sur la pièce en vue de réaliser une finition précise...).

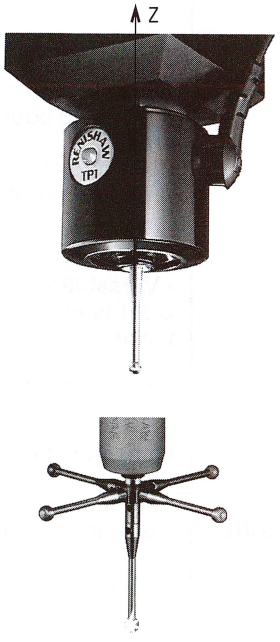
PALPEUR

Les points matériels mesurés sur la pièce sont appréhendés à l'aide d'un palpeur. Le palpeur est installé sur l'axe Z. Sa longueur et son diamètre sont mesurés et mémorisés (utilisation d'une sphère étalon).

L'opérateur peut le déplacer :
– librement ;
– à partir de commande manuelle, numérique, etc.

Chaque accostage du palpeur sur l'élément palpé est confirmé en général par un bip sonore et lumineux.

Le palpeur est électronique (marque Renishaw), possède une ou plusieurs branches, ce qui permet une meilleure accessibilité aux surfaces à palper.

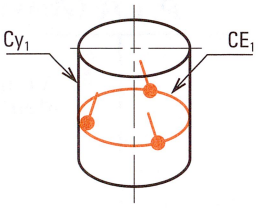


Doc. RENISHAW

ÉLÉMENTS PALPÉS

Les éléments matériels pouvant être palpés sur la pièce à mesurer sont : un point, une droite, un plan, un cercle, un cylindre, un cône ou une sphère.

Exemple : palpage en 3 points du cercle (CE_1) section droite du cylindre (CY_1).



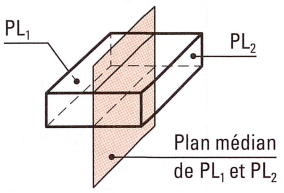
Le nombre de points palpés est essentiellement fonction :
- de la nature de l'élément ;
- de la vérification à effectuer ;
- du logiciel utilisé.

Nb de points \ Élément	Point	Droite	Cercle	Plan	Cyl.	Cône	Sphère
Minimum	1	2	3	3	5	6	4
Nuage de points	1	⩾4	⩾6	⩾8	⩾10	⩾12	⩾9

ÉLÉMENTS CONSTRUITS

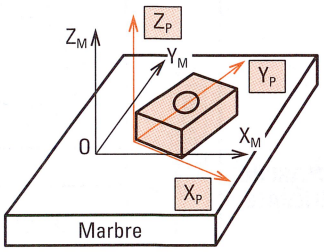
La construction et la mémorisation d'éléments tels que les éléments fictifs (plan médian, axe) et les éléments non palpables (intersection de plans) sont possibles à partir d'éléments palpés.

Exemple : palper PL_1 ⟶ palper PL_2 ⟶ construire le plan médian de PL_1 et PL_2.



REPÈRES DE RÉFÉRENCE

La machine possède un repère *M* (OXYZ) qui lui est lié. Il est conseillé, pour éviter d'avoir à positionner la pièce par rapport au repère machine, de définir un repère lié à la pièce *P* à partir de certains éléments palpés (en général les éléments référentiels de cotation).



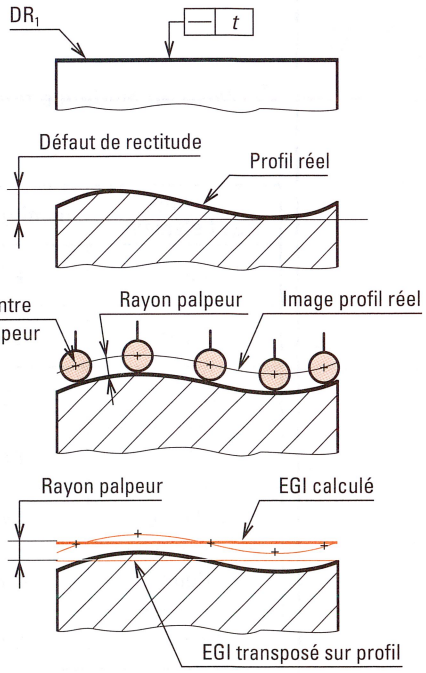
PRINCIPE DU MESURAGE POINT PAR POINT

Élément géométrique de définition représentant l'élément palpé : droite DR_1.

Profil réel de l'élément considéré effectivement usiné par le système de fabrication. Il est géométriquement imparfait.

Image du profil réel, passant par les centres du palpeur, du nuage de points palpés effectivement entrés dans le calculateur.

Élément géométrique idéal (EGI) associé, de même nature que l'élément géométrique de définition DR_1. Il est défini par le calculateur à partir des données précédentes.

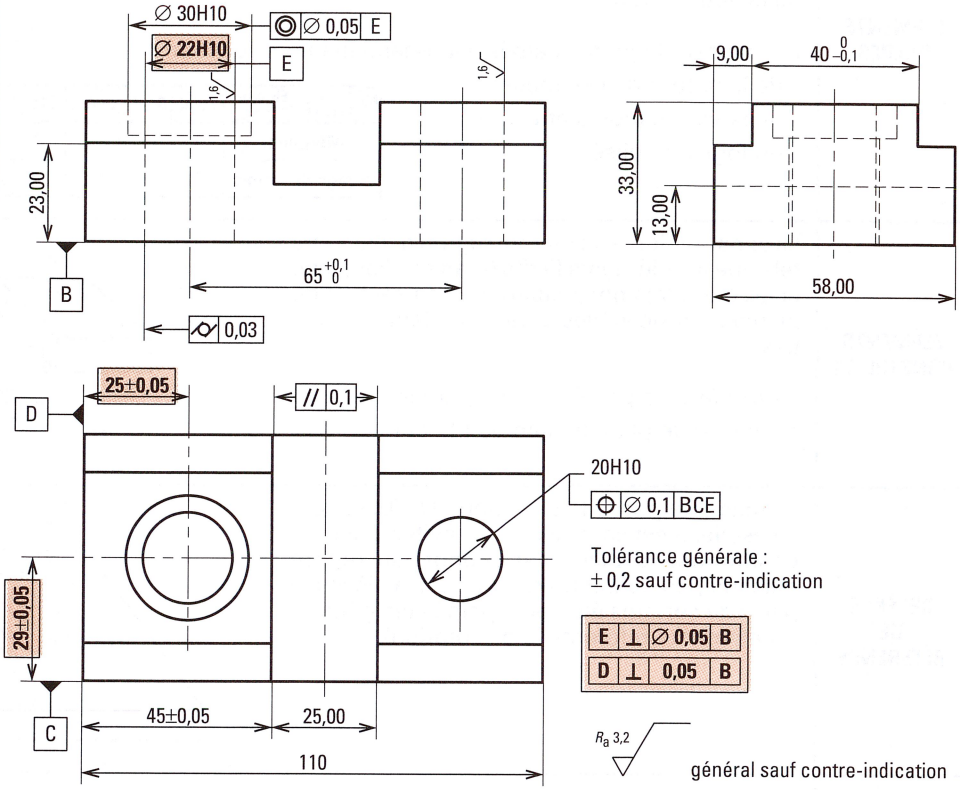


D

4.2. VÉRIFICATION DE LA CONFORMITÉ D'UNE PIÈCE À LA MACHINE À MESURER TRIDIMENSIONNELLE

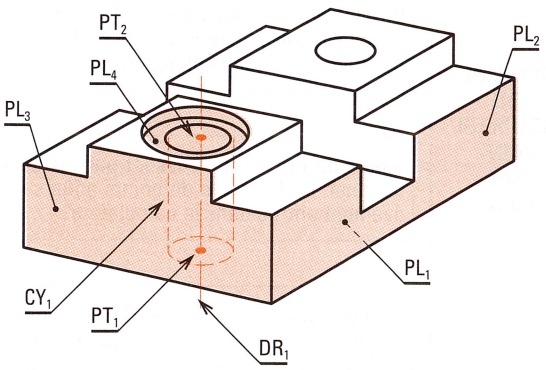
DÉMARCHE GÉNÉRALE

1. À partir du dessin de définition (d'après REALMECA CEDILL), **identification et analyse des spécifications encadrées à mesurer.**



2. **Mise en évidence des éléments géométriques de définition concernés**

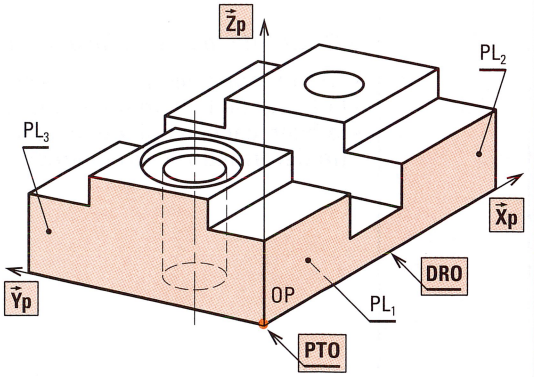
Nature de l'élément	Identificateur
Point	**PT**
Droite	**DR**
Cercle	**CE**
Plan	**PL**
Cylindre	**CY**
Cône	**CN**
Sphère	**SP**



DÉMARCHE GÉNÉRALE (suite)

3. Définition et mise en place du repère pièce

- PL_1 (B) définit l'axe $\vec{Z}p$
  Justifications : plus grande surface d'appui et référence de la spécification de ⊥ à mesurer ;
- L'intersection de PL_1 et PL_2 (C : référence de 29 ± 0,05) appelée DRO (droite d'origine) définit l'axe $\vec{X}p$;
- L'intersection de PL_1, PL_2, PL_3 (D : référence de 25 ± 0,05) appelée PTO (point d'origine) définit l'origine OP du repère pièce.
  L'axe $\vec{Y}p$ est ⊥ à $\vec{Z}p$ et $\vec{X}p$ à l'origine OP.



4. Détermination de l'algorithme du programme de mesure

1. Déterminer le diamètre du palpeur.
2. Palper le plan PL_1 (marbre).
3. Palper le plan PL_2.
4. Palper le plan PL_3.
5. Construire la DRO intersection de PL_1 et PL_2.
6. Construire le PTO intersection de PL_1 et PL_2 et PL_3.

Définition du repère pièce

7. Définir $\vec{Z}p$ PL_1 devient référence XY.
8. Définir $\vec{X}p$ DRO devient axe X.
9. Définir l'origine PTO (origine repère pièce).

10. Calculer la perpendicularité PL_3/PL_1 (comparer avec tolérance = 0,05).
11. Palper CY_1 au moins dans 2 sections éloignées (comparer le diamètre avec la tolérance).
12. Définir DR_1 droite axe cylindre CY_1.
13. Calculer le défaut de perpendicularité de DR_1 par rapport à PL_1 (comparer avec tolérance = ∅ 0,05).
14. Palper PL_4.
15. Construire PT_2 point d'intersection entre DR_1 et PL_4.
16. Construire PT_1 point d'intersection entre DR_1 et PL_1.
17. Charger la distance entre PT_1, PT_2 et PL_2 (29 ± 0,05).
18. Charger la distance entre PT_1, PT_2 et PL_3 (25 ± 0,05).
19. Évaluer la dimension PT_2/PL_2. } (comparer avec
20. Évaluer la dimension PT_1/PL_2 } tolérance).
21. Évaluer la dimension PT_2/PL_3. } (comparer avec
22. Évaluer la dimension PT_1/PL_3 } tolérance).

5. Rédaction du programme correspondant (logiciel César 3.0)

1. DIAPA/PAI = 1,995
2. PLNPT/PL_1 (marbre)
3. PLNPT/PL_2/
4. PLNPT/PL_3/
5. DR_2PL/DRO ; PL_1 ; PL_2/
6. PT_3PL/PTO ; PL_1 ; PL_2 ; PL_3/

7. REFER/PL_1, +/
8. DRREF/DRO ; +/
9. PTORI/PTO/

10. PERPE/PL_3, PL_1 ; TOL = 0,05/*
11. CYNPT/CY_1 ; COMP ; DIA_1/*
12. DRCYL/DR_1 ; CY1/
13. PERPE/DR_1 : PL_1 ; TOL = 0,05/*
14. PLNPT/PL_4/
15. PDRFL/PT_2 ; DR_1 ; PL_4/
16. PDRPL/PT_1 ; DR_1 ; PL_1/
17. CHARG/DIS_1 ; NOM = 29 ; EI = – 0,05 ; ES = 0,05/
18. CHARG/DIS_2 ; NOM = 25 ; EI = – 0,05 ; ES = 0,05/
19. DIPPL/PT_2 ; PL_2 ; COMP ; DIS1/*
20. DIPPL/PT_1 ; PL_2 ; PL_3 ; COMP ; DIS 2/*
21. DIPPL/PT_2 ; PL_3 ; COMP ; DIS2/*
22. DIPPL/PT_1 ; PL_3 ; COMP ; DIS2/*

* Résultats conservés sur le certificat de mesures

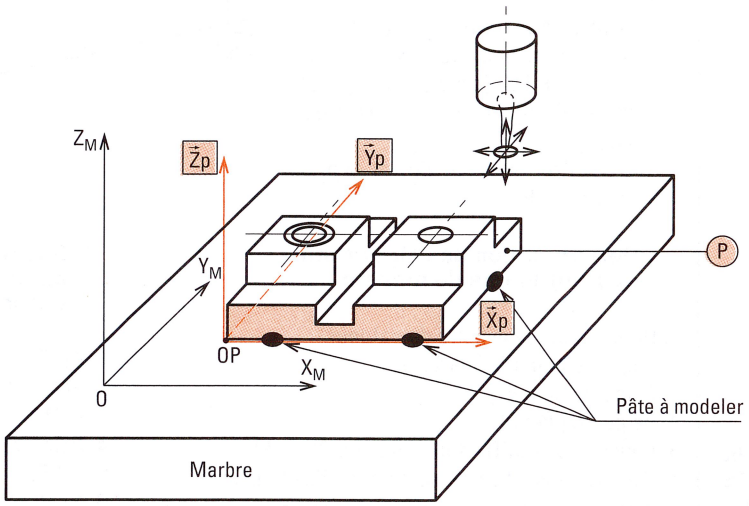
D

DÉMARCHE GÉNÉRALE (suite)

6. Exécution du programme bloc à bloc sur MMT, palpage des surfaces codifiées

– Règles de mise en place de la pièce

- Orienter visuellement la pièce selon son repère par rapport aux axes de la MMT ;
- la poser de telle manière que l'accessibilité des éléments palpés soit maximale ;
- la fixer, car elle doit rester stable durant toute l'opération, sans serrage excessif (pas de déformation). Un plaquage à la pâte à modeler suffit généralement.



– Règles de manipulation

- Limiter la vitesse d'accostage du palpeur ;
- ne pas déplacer le palpeur à partir de sa tête ;
- respecter le nombre minimum de points pour le palpage des éléments.

– Règles d'évolution dans l'exécution du programme

Voir logiciel.

7. Exploitation du certificat de mesurage

Dans presque tous les cas la conformité de la spécification mesurée vis-à-vis de la tolérance imposée est donnée directement sur le certificat de mesurage.

Dans le cas de la conformité des spécifications 29 ± 0,05 et 25 ± 0,05, il faudra s'assurer que les deux distances entre les points PT_1 et PT_2 par rapport aux plans PL_2 et PL_3 sont bien dans la tolérance demandée.

5. SYSTÈMES D'ASSEMBLAGE

5.1. CHAÎNES D'ASSEMBLAGE

OBJECTIF

Les chaînes d'assemblage ont pour but de décrire l'ordre d'assemblage des différents éléments constituant un mécanisme.

La chronologie d'assemblage des éléments est consignée dans une gamme d'assemblage.

Les éléments à assembler peuvent être préassemblés. Ils peuvent être également des composants standard manufacturés (vis, joints, roulements...).

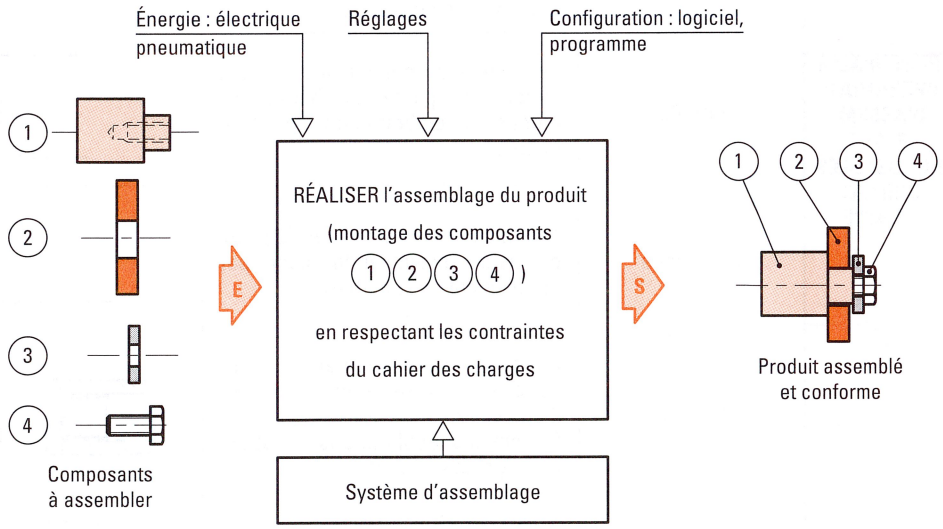
DIFFÉRENTS TYPES

Les chaînes d'assemblage peuvent être manuelles, semi-automatiques ou totalement automatiques. Leur conception est fonction de nombreux critères :

- l'importance de la série,
- le niveau de productivité demandé,
- la complexité des composants,
- le coût de l'investissement consenti,
- la spécificité des tâches à accomplir,
- les ressources humaines de l'entreprise.

Le concept industriel le plus développé actuellement est fondé sur un système d'assemblage flexible permettant d'assembler plusieurs types de produits différents ou un même produit avec de nombreuses variantes.

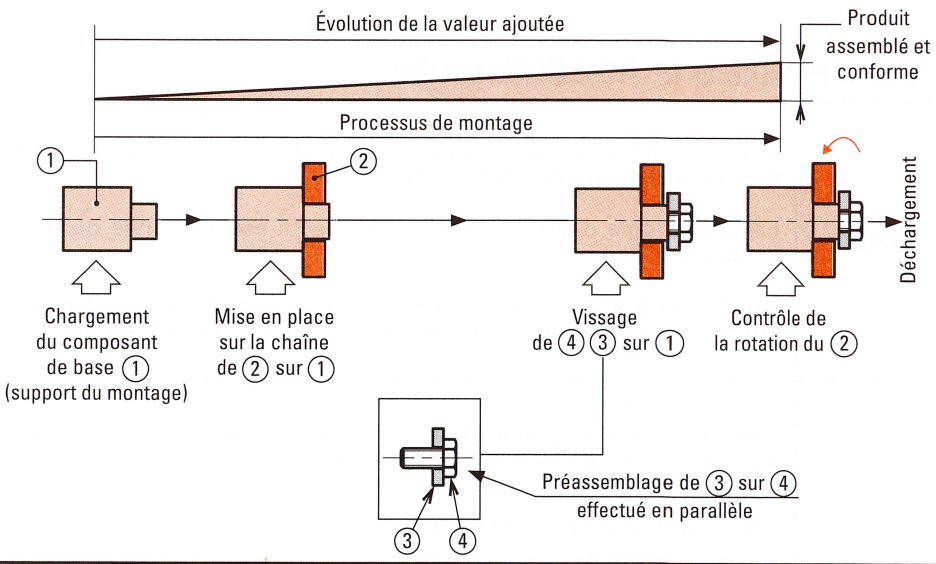
REPRÉSENTATION FONCTIONNELLE (ACTIGRAMME)



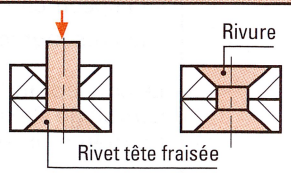
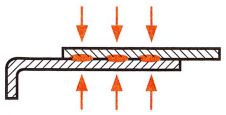
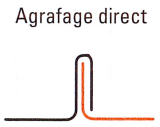
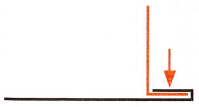
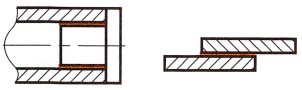
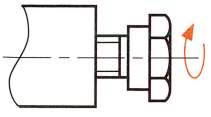
D

Chaînes d'assemblage

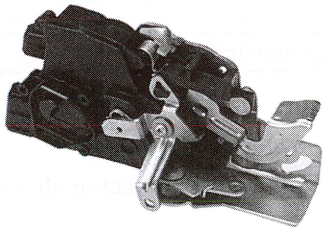
ORGANISATION SIMPLIFIÉE D'UNE CHAÎNE

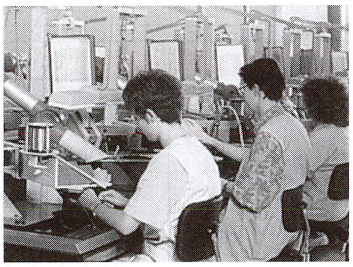


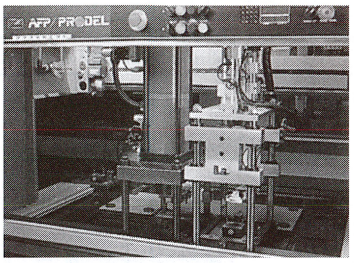
PRINCIPALES OPÉRATIONS D'ASSEMBLAGE RÉALISABLES SUR UNE CHAÎNE

Opération	Principe	Schéma
Rivetage	Consiste à refouler l'extrémité d'une tige cylindrique munie d'une tête (rivet) afin de former une rivure qui maintient solidement deux pièces.	
Soudage (autogène en général)	Permet de lier de façon permanente plusieurs pièces. Énergie lumineuse : laser. Énergie électrique : soudage par résistance électrique…	
Agrafage	Consiste à assembler deux pièces minces en pliant les bords des pièces par emboîtement direct ou indirect.	
Sertissage	Technique dérivée de l'agrafage qui consiste à assembler des pièces par écrasement de la matière.	
Collage	Consiste essentiellement à faire adhérer deux surfaces au moyen d'une colle. Principales applications : fixation, freinage, étanchéité.	
Vissage	Consiste à lier deux pièces par l'intermédiaire d'éléments filetés (vis, écrou…).	

Exemple industriel
Système flexible d'assemblage **semi-automatique** d'actionneurs pour automobiles (doc. APL/Prodel).



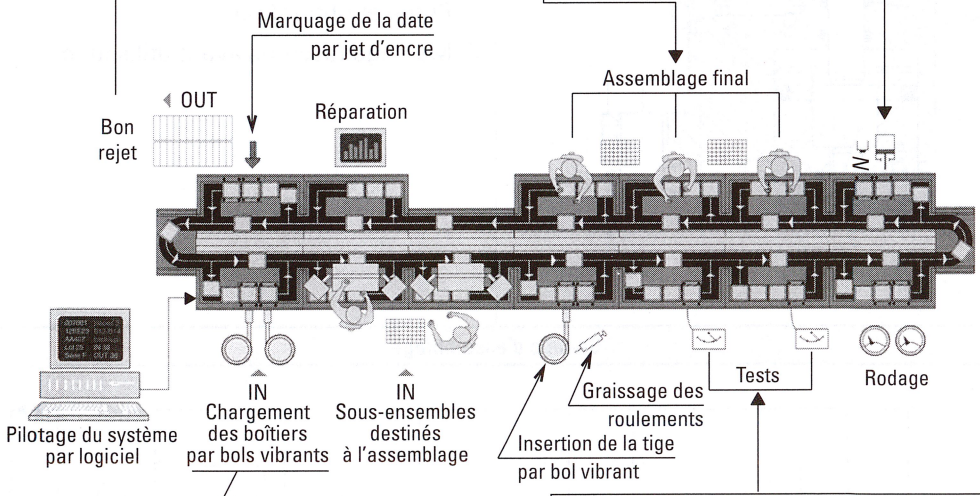




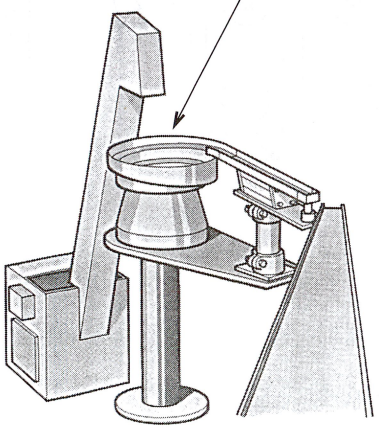
Actionneur assemblé, contrôlé, conforme aux exigences imposées.

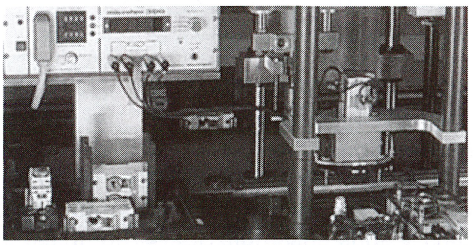
Opérations manuelles.

a) Fermeture par vérin.
b) Dispositif automatique de soudure à ultrason.



Stations de mesure et essais automatiques : mesure des vitesses d'entrée et de sortie, contrôle des connexions électriques et du fonctionnement du contacteur d'un actionneur de porte.





Doc. BERNAY AUTOMATION

Remarque : pour les systèmes flexibles d'assemblage automatique, les opérations manuelles sont remplacées par des opérations effectuées par des robots et bras manipulateurs (*p. 217-218*).

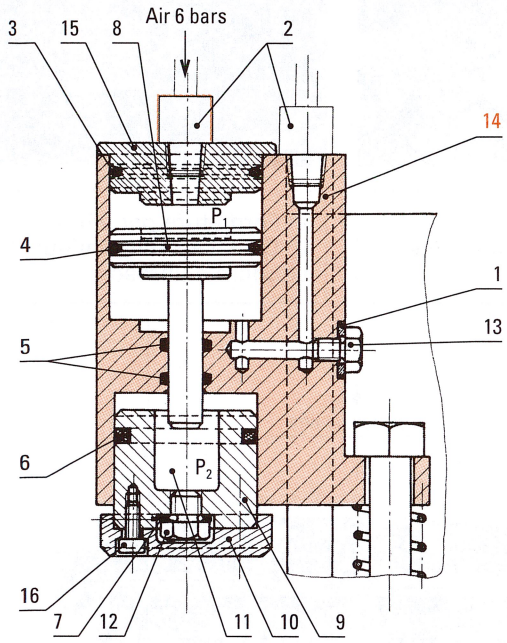
D

5.2. GAMME D'ASSEMBLAGE (MONTAGE ET MAINTENANCE)

DÉMARCHE

Choisir le composant de base → Identifier les sous-ensembles (SE) → Dans chaque sous-ensemble, agencer le montage des composants → Organiser la gamme en tenant compte des contraintes d'antériorité

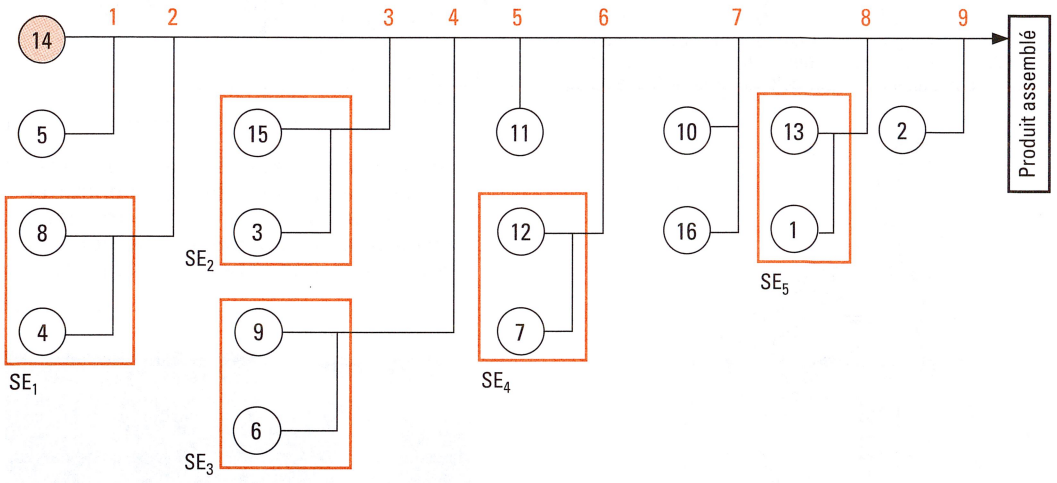
Exemple : serrage oléo-pneumatique



Contraintes d'antériorité de montage

1. Montage des joints avant piston (8)
2. Montage piston avant couvercle (15)
3. Fermeture du cylindre pour protection du piston
4. Montage piston pour création chambre P_2 avant remplissage (huile)
5. Remplissage de P_2 avant fermeture
6. Purge et fermeture avant protection
7. Finition protection
8. Purge et obturation
9. Montage raccords avant utilisation

Gamme d'assemblage



Interprétations :

La pièce rep. (14) (corps) est choisie comme composant de base ;
– les composants (5) (joints) sont montés directement sur (14) ;
– dans le sous-ensemble SE_1 (4) (joint) est monté sur (B) puis SE_1 est monté sur le produit.

Remarque :

À chaque action d'assemblage peuvent être précisées des instructions de montage (méthode, règle, outillage...) ainsi que le temps de montage alloué.

E Annexes

1. Procédés d'usinage particuliers

1.1. Usinage à très grande vitesse 230

1.2. Usinage par abrasion 232

1.3. Usinage par électro-érosion 234

1.4. Usinage par rayon laser 236

2. Glossaire de base en productique

A à Z

237

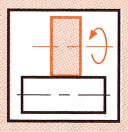
3. Index alphabétique

P. ?

239

E

1. PROCÉDÉS D'USINAGE PARTICULIERS



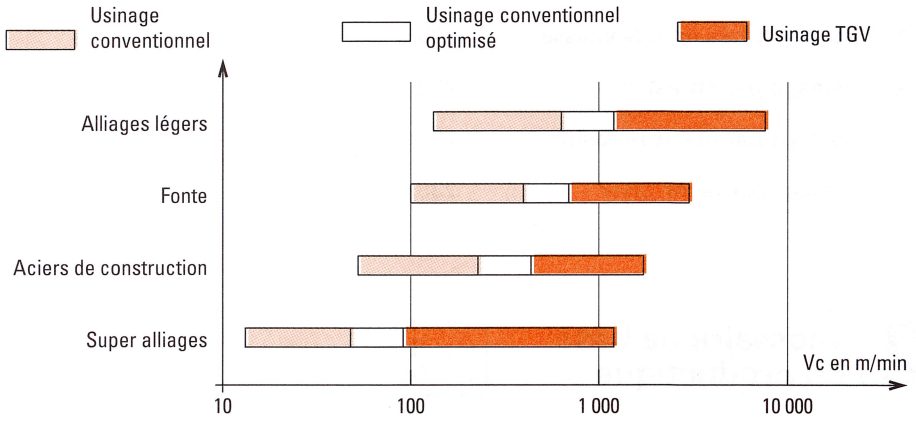
1.1. USINAGE TRÈS GRANDE VITESSE (UTGV)

PRINCIPE

Ce procédé repose sur un accroissement important de la vitesse de coupe (5 à 10 fois plus élevée que celle utilisée dans des conditions conventionnelles) et ceci grâce notamment aux performances toujours améliorées des matériaux d'outils.

Il consiste à enlever à grandes vitesses (de coupe et d'avance) une faible épaisseur de matière (de l'ordre du millimètre) en procédant par balayages successifs.

Comparaison de vitesses de coupe en fraisage pour quelques matériaux.



AVANTAGES

– Augmentation de la productivité grâce à la réduction substantielle des temps de fabrication.
– Amélioration de la qualité de l'usinage notamment au niveau des états de surface (rugosité).
– Diminution des efforts de coupe, ce qui permet l'usinage de pièces à parois minces, d'alléger les éléments de bridage.
– Diminution des déformations thermiques de la pièce (l'évacuation de la chaleur produite par la coupe du métal se fait essentiellement par le copeau).

Évacuation de la chaleur produite de la coupe

	Vitesse classique	TGV
Pièce	40 %	10 %
Outil	40 %	10 %
Copeaux	20 %	80 %

INCONVÉNIENTS

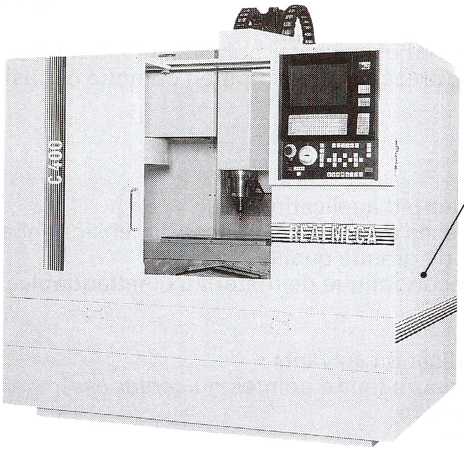
Ce procédé impose l'emploi d'éléments ou systèmes dédiés.

Exemples :
– l'augmentation des vitesses d'avance impose des CN et des systèmes d'asservissement d'axe très performants ;
– l'existence d'un anneau d'air en giration autour de l'outil gêne la lubrification, ce qui nécessite un système spécifique (*voir p. 231*).

CRÉNEAU D'UTILISATION

Procédé utilisé essentiellement pour des opérations de demi-finition et de finition (faible profondeur de passe) et en majorité pour l'usinage des alliages légers (à base d'aluminium) et des matériaux composites.

CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINE (REALMECA)



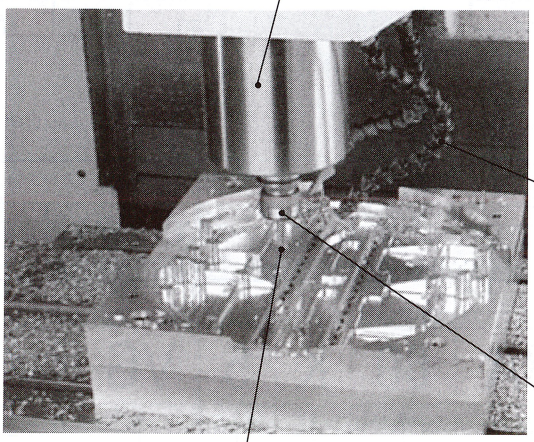
Doc. REALMECA

STRUCTURE DE LA MACHINE

Elle conditionne la précision de la machine.
La structure doit être lourde et massive pour absorber une grande partie des vibrations de la coupe.
Les éléments de transmission doivent être légers et rigides (généralement montés sur des guidages précontraints).
Pour la sécurité, elle est équipée d'un capotage de protection renforcé.

BROCHE

C'est une électrobroche rapide et de forte puissance, autour de 25 kilowatts, tournant à des vitesses de rotation de 30 000 à 50 000 tr/min.
Elle est montée sur des roulements hybrides.
Elle présente une grande rigidité et une étanchéité parfaite (copeaux de très petites dimensions).
La stabilité thermique de l'ensemble est assurée par un système de refroidissement.



LUBRIFICATION

Système de lubrification spéciale adapté à de très grandes vitesses (en général système de micropulvérisation par gouttelettes).

OUTIL

Queue cylindrique, lisse et renforcée (goujures limitées à la partie active).

Généralement en carbure revêtu ou non (selon le matériau usiné), céramique, ou nitrure de bore cubique CNB (fraisage dur).

PORTE-OUTIL (P-O)

- Liaison P-O/machine : avec cône ISO ou plus souvent avec cône HSK (plus rigide).
- Liaison outil/P-O : avec pince de haute qualité.

Ensemble parfaitement équilibré dynamiquement.

E

1.2. USINAGE PAR ABRASION

DÉFINITIONS

D'après NORTON

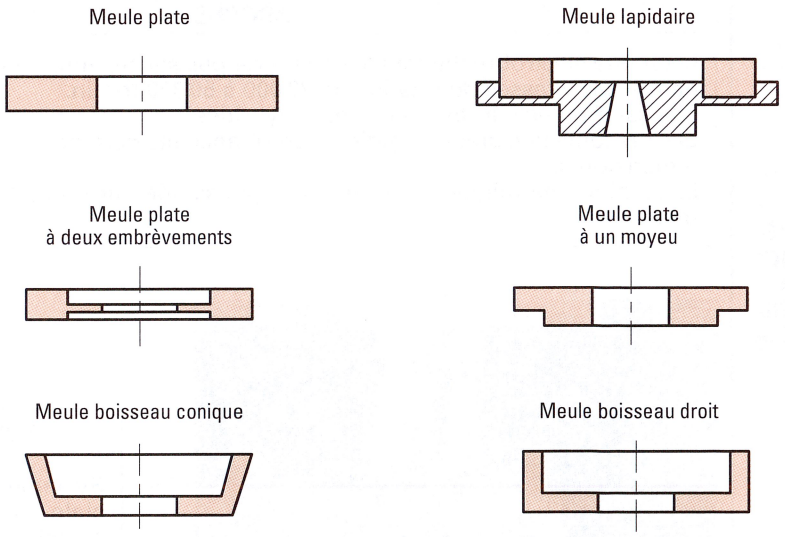
La rectification est une opération d'usinage par abrasion (superfinition).
Cette opération est, en général, précédée d'une finition obtenue par usinage conventionnel (*voir p. 105*).

L'outil de coupe est une meule.

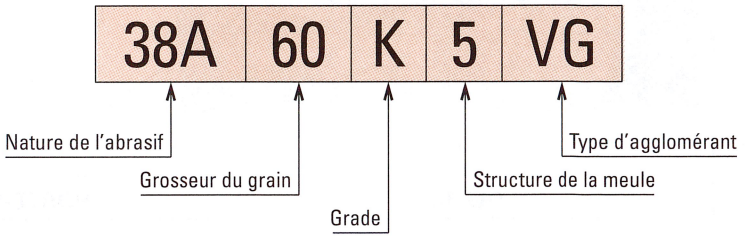
La rectification a un double champ d'application :
– elle permet de réaliser des pièces avec des tolérances dimensionnelles très serrées et d'obtenir un état de surface de grande qualité ;
– elle rend possible l'usinage économique de matériaux inattaquables à l'aide d'outils coupants conventionnels.

On distingue les types de rectification suivants :
– rectification cylindrique extérieure (entre pointes ou *centerless*),
– rectification cylindrique intérieure,
– rectification plane (surfaçage),
– rectification en plongée par meule de forme...

PRINCIPAUX TYPES DE MEULES



DÉSIGNATION



Abrasif : c'est un corps cristallisé dur (*ex. :* 38A = corindon supérieur).

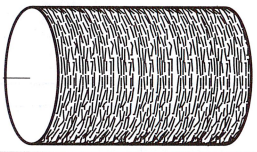
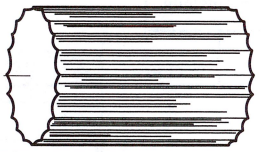
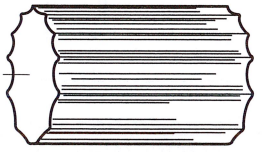
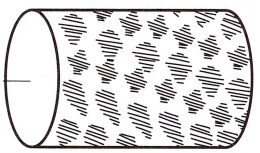
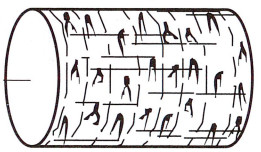
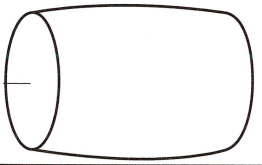
Grade : c'est un indice de force avec laquelle l'agglomérant retient les grains.

Structure : c'est l'indice de tassement des grains d'abrasif.

Agglomérant : c'est le liant qui maintient les grains d'abrasif (*ex. :* V = vitrifié).

Caractéristiques de l'agglomérant vitrifié : propres au fabricant (G).

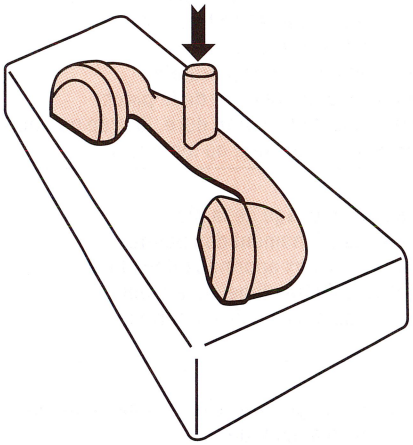
PRINCIPAUX DÉFAUTS DE RECTIFICATION

DÉFAUTS	CAUSES
Brûlures et criques 	• Vitesse de rotation de la pièce trop faible. • Vitesse de translation trop forte. • Passes trop profondes. • Prise de contact trop brutale. • Mauvais entraînement de la pièce. • Meule mal taillée, trop dure, lustrée ou encrassée. • Arrosage insuffisant ou incorrect.
Spires 	• Mauvais blocage de la pièce. • Mauvais alignement des pointes. • Usures ou jeux anormaux dans la machine. • Mauvais diamantage de la meule. • Mauvaise position des lunettes.
Stries 	• Mauvais rapport des vitesses pièce-meule. • Mauvais diamantage : – diamant trop pointu ou en mauvais état, – diamantage trop grossier. • Meule trop dure.
Facettes avec arêtes vives 	• Pièce mal maintenue. • Profondeur de passe excessive. • Vitesse de la meule excessive. • Vibrations de la machine. • Meule déséquilibrée. • Meule trop dure ou à grain trop fin.
Facettes avec arêtes arrondies 	• Mauvais entraînement de la pièce. • Mauvais entraînement de la meule. • Jeu dans la broche porte-meule. • Meule déséquilibrée.
Facettes en hélice 	• Broche porte-meule en mauvais état. • Meule déséquilibrée. • Faux rond de la meule. • Face de travail de la meule en mauvais état. • Liquide d'arrosage souillé.
Piqûres, virgules 	• Mouvements irréguliers de la table. • Faux rond de la broche porte-meule. • Mauvais diamantage (vibrations du diamant). • Meule trop tendre. • Liquide d'arrosage souillé.
Ovalisation 	• Centres des pièces mal formés ou dissemblables. • Mauvais alignement des centres. • Excès ou manque de jeu entre les pointes et la pièce. • Angles différents des pointes. • Pointes de la machine en mauvais état. • Entraînement de la pièce défectueux. • Arrosage intermittent.

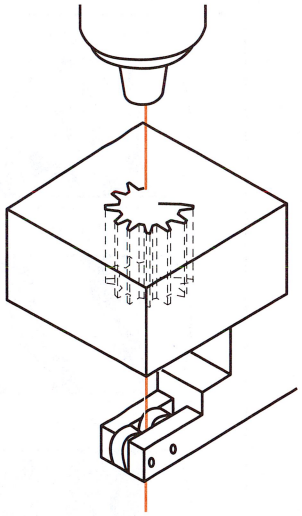
1.3. USINAGE PAR ÉLECTRO-ÉROSION

PRINCIPALES TECHNIQUES (d'après SOFETEC)

USINAGE PAR ENFONÇAGE

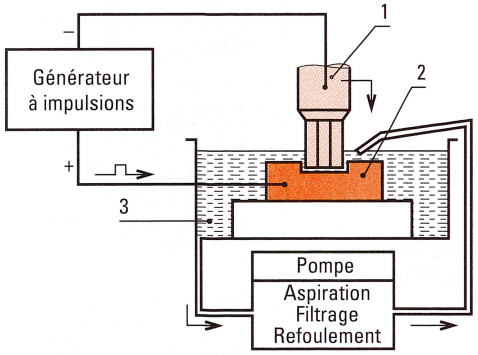


USINAGE PAR DÉCOUPAGE PAR FIL



PRINCIPE DE L'ENFONÇAGE PAR ÉTINCELAGE

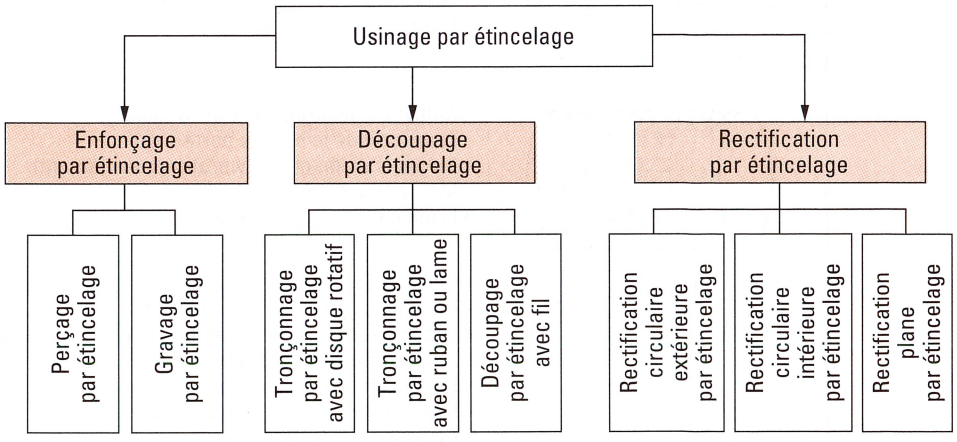
Les deux électrodes 1 et 2 sont plongées dans un liquide diélectrique 3 (fluide à haute résistivité). La pièce 2 est reliée à l'anode et l'outil 1 à la cathode.
Un générateur à impulsions fournit des décharges électriques dont la durée et la tension sont fonction du matériau pièce et de la précision demandée.
À chaque impulsion, la décharge électrique produite (température variant de 30 000 à 50 000°) provoque l'érosion de l'empreinte à réaliser dans la pièce.



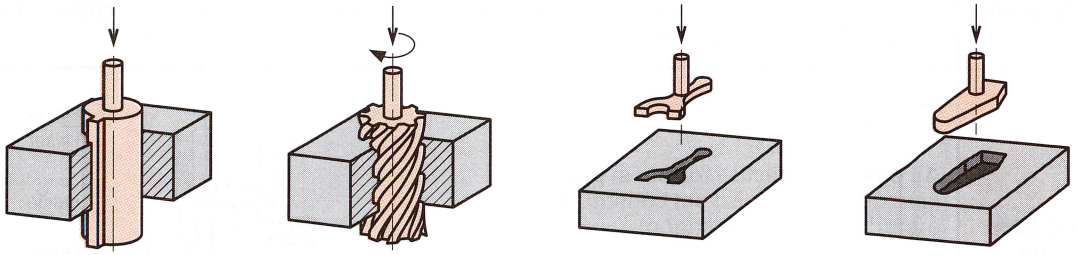
PROPRIÉTÉS

Les propriétés fondamentales de l'usinage par électro-érosion sont :
– l'aptitude à usiner des métaux ou alliages durs ou réfractaires (usinage de matrices et autres outillages en acier trempé, en carbure de tungstène...) ;
– la faculté de reproduire automatiquement des formes très diverses à condition qu'elles soient « démoulables ».

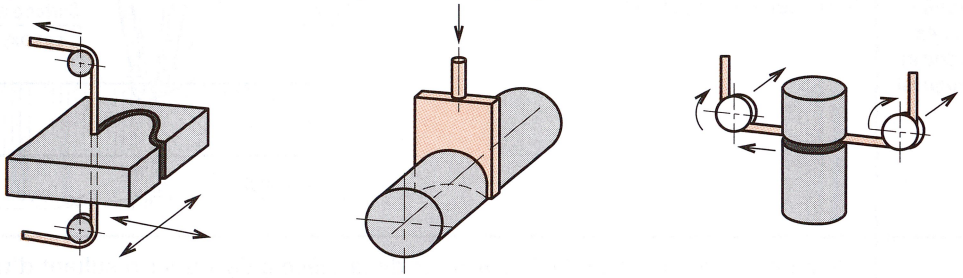
CATÉGORIES D'ÉTINCELAGE



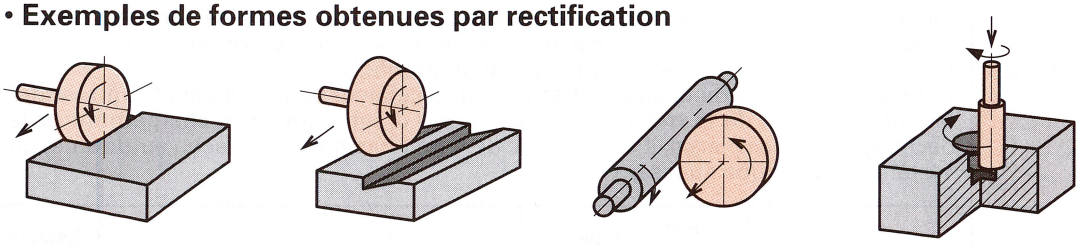
• Exemples de formes obtenues par enfonçage



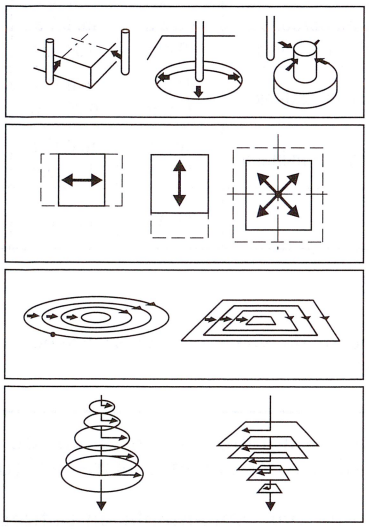
• Exemples de formes obtenues par découpage



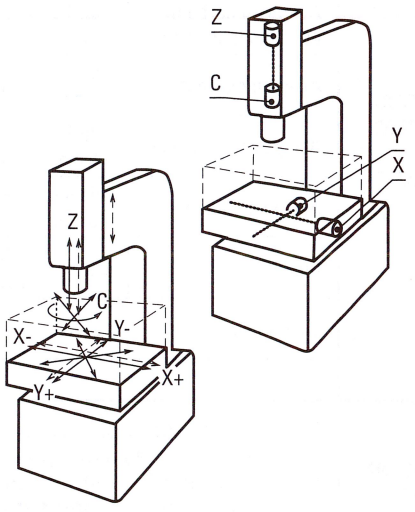
• Exemples de formes obtenues par rectification



• Usinage par électro-érosion par machine à commande numérique (MOCN)



Schémas expliquant quelques-unes des facilités d'usinage qu'apporte la programmation des déplacements orbitaux sur une MOCN.



Différents axes de base sur une MOCN par électro-érosion et mouvements réalisables en coordonnant les déplacements correspondants.

E

1.4. USINAGE PAR RAYON LASER

UTILISATION

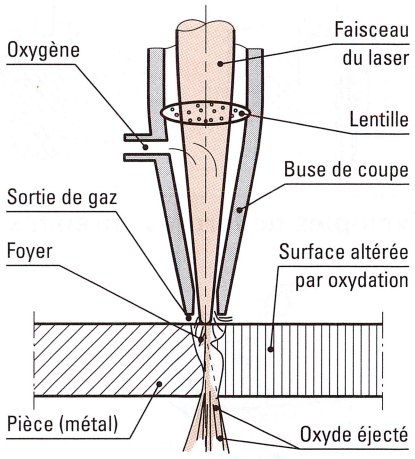
Près de 70 % des applications des lasers de puissance en mécanique concernent le découpage des tôles métalliques, des planches en matières plastiques, en matériaux composites ou en caoutchouc...

PRINCIPE DU DÉCOUPAGE AU LASER (d'après *Industrie et Techniques*)

Le faisceau est localisé à la surface du matériau.

Au point d'impact se forme un puits capillaire dont les parois sont constituées d'un matériau (métal, plastique).

Un gaz injecté sous pression par une buse dans la zone de découpage évacue le matériau en fusion.



AVANTAGES

C'est une technique souple. Les formes de la pièce à découper résultent d'une programmation et non de la réalisation d'un outillage spécifique.
Elle réalise un travail de qualité. Lors du découpage, les pièces ne sont soumises à aucun effort (découpage de pièces fines et complexes sans déformations).
La découpe des pièces permet une utilisation immédiate.
Le procédé est facilement automatisable. Un calculateur peut facilement commander les mouvements de la machine. Sous réserve d'automatiser le chargement et le déchargement des pièces, il est possible de faire fonctionner, de façon autonome, un système de découpe au laser.

PERFORMANCES ET QUALITÉ

Matériaux	Épaisseur maximale de découpe*	Qualité de la découpe*
Aciers au carbone et faiblement alliés	de 4 à 10 mm	Excellente
Aciers inoxydables	de 4 à 6 mm	Excellente
Alliages d'aluminium	de 3 à 5 mm	Mauvaise à bonne
Alliage de titane	de 5 à 8 mm	Moyenne à excellente
Cuivre	0,5 maxi	Médiocre à bonnne
Thermoplastiques	30 mm	Médiocre à excellente

Matériaux	Épaisseur en mm	Largeur saignée	Hauteur des bavures
Aciers au carbone et faiblement alliés	de 3 à 10 mm	de 0,1 à 0,30 mm	de 0 à 0,30 mm
Aciers inoxydables	de 1 à 5 mm	de 0,11 à 0,20 mm	de 0 à 1 mm
Alliages d'aluminium	de 3 à 5 mm	de 0,11 à 0,18 mm	de 1 à 1,25 mm
Plexiglass	20 mm	0,5 mm	0

* Fonction du type et de la puissance de la machine utilisée.

ÉVOLUTION DE L'USINAGE AU LASER

Du point de vue conception, la découpe au laser diminue les contraintes de formes donc donne accès à des pièces plus fonctionnelles, à des ensembles mécaniques plus performants, plus esthétiques et moins chers.
Du point de vue organisation de la production, des lancements en petites séries deviennent possibles.
L'évolution de l'usinage au laser permet de mettre en œuvre des nouvelles techniques telles que le marquage ou le perçage.

2. GLOSSAIRE DE BASE EN PRODUCTIQUE

A à Z

APEF (Avant-Projet d'Étude de Fabrication) : l'APEF est un document élaboré par le bureau des méthodes à partir du dessin de définition. Il permet de définir une suite ordonnée possible des différentes phases permettant la réalisation de la pièce. A chaque phase sont généralement précisés les machines, les outils, le repérage isostatique et les opérations chronologiques d'usinage.

Avance (*f*) : en tournage, valeur de déplacement de l'outil par tour de la pièce en mm/tr (millimètre par tour).

Avance par dent (f_z) : en fraisage, valeur de déplacement par dent et par tour de l'outil en mm/dt/tr (millimètre par dent et par tour).

Brut : état initial de la pièce dans son processus de réalisation. Constitue la matière d'œuvre entrant dans le premier système de fabrication.

Bureau d'études (BE) : secteur d'une entreprise où l'on conçoit et définit les produits.

Bureau des méthodes (BM) : secteur d'une entreprise où l'on prépare et organise le travail à partir du dessin de définition, en vue de la fabrication du produit (dossier d'industrialisation). Les documents élaborés au BM s'appellent : APEF, contrat de phase...

Carte de contrôle : relevé statistique de l'évolution de la valeur d'une cote au cours d'une fabrication réelle.

Chaîne cinématique (d'une machine-outil) : représentation graphique mettant en évidence les différents éléments à partir desquels les mouvements générateurs sont transmis à l'outil, à la pièce.

Contrat de phase : document de référence de l'opérateur. Établi par le bureau des méthodes, il contient toutes les indications nécessaires à la mise en œuvre du poste de travail.

Contrôle : opération de vérification sans mesurage, consistant à contrôler si la valeur réelle de la spécification est bien comprise entre les limites maximales et minimales autorisées par l'intervalle de tolérance. La pièce est bonne ou mauvaise.

Cotes de fabrication (Cf) : ce sont des cotes, calculées à partir des spécifications du dessin de définition, qui apparaissent sur le contrat de phase. Elles doivent être respectées lors de l'usinage.

Degré de liberté : terme qui définit la possibilité de déplacement en translation ou en rotation d'un solide dans l'espace.

Famille de pièces : ensemble de pièces qui comportent des similitudes de formes, d'usinages à réaliser...

Flexibilité : aptitude d'un système d'usinage à s'adapter aux changements de productions.

Fonderie : procédé d'obtention de pièces à l'état brut par coulée du métal en fusion dans l'empreinte d'un moule en sable ou métallique.

Fréquence de rotation : nombre de tours par minute (tr/min) qu'effectue l'outil ou la pièce pendant l'usinage. Grandeur calculée à partir de la vitesse de coupe.

Génération de surfaces : terme d'usinage développant, à partir de modèle(s) géométriques(s), la technique de réalisation de surface(s) par enlèvement de matière. Deux mouvements générateurs sont nécessaires : le mouvement de coupe et le mouvement d'avance. Les modes de génération peuvent être de forme ou d'enveloppe.

Géométrie de l'outil : ensemble des faces, des arêtes, des angles qui caractérisent un outil de coupe pour une situation d'usinage donnée.

Gestion de production : ensemble de moyens permettant d'organiser le travail dans différents secteurs d'une entreprise de manière à limiter les pertes de temps et d'argent afin que l'entreprise puisse produire mieux et moins cher tout en conservant des produits de bonne qualité.

Intervalle de tolérance (IT) : marge d'erreur laissée pour la réalisation d'une spécification. Il précise les valeurs limites à ne pas dépasser.

Isostatisme : étude de la mise en place géométrique (repérage isostatique) des pièces sur l'appareillage ou sur la machine dans le système de fabrication.

Journal de bord : document sur lequel sont notés tous les événements survenus sur le poste de travail au cours d'une production.

Logiciel : ensemble de programmes remplissant un travail donné et utilisés sur un ordinateur. *Exemple :* le logiciel de la machine à mesure tridimensionnelle « César 3.0 » permet d'effectuer des calculs relatifs aux mesurages des pièces.

Maintenance : fonction consistant à maintenir en état de fonctionnement, à dépanner, à réparer un dispositif ou une machine hors d'état de fonctionnement, ou encore à prévoir d'éventuelles pannes.

Machine-outil à commandes assistées : nouveau concept de machine-outil permettant à l'opérateur de choisir entre les modes manuel, semi-automatique et automatique pour réaliser une fabrication imposée dans des conditions ergonomiques et de sécurité optimales.

Machine-outil à commande numérique (MOCN) : machine-outil dont la gestion de l'usinage est assurée par un système informatique appelé Directeur de Commande Numérique (DCN) à partir d'un programme. Sur chaque axe de déplacement est placé un capteur numérique (codeur) qui rend compte au DCN de la position de chaque chariot.

E

Glossaire de base en productique

Machine-outil conventionnelle : machine-outil dont la gestion de l'usinage (réglages, conduite des opérations...) est assurée par l'opérateur.

Machine à mesure tridimensionnelle (MMT) : machine de métrologie, raccordée à un système informatique (logiciel), permettant d'effectuer des mesurages suivant trois dimensions (dans l'espace).

Modèle de mesurage : élément essentiel de la méthodologie en mesurage. Il détermine la manière selon laquelle une spécification sera vérifiée et notamment le nombre et la localisation des dimensions à mesurer.

Mesurage direct : mesurage dont le résultat brut est directement lu sur l'instrument. Son incertitude est égale à deux graduations du vérificateur utilisé.

Mesurage indirect (méthode différentielle) : l'expression du mesurage brut est déterminée indirectement en tenant compte de la différence relevée par l'amplificateur entre l'étalon et la pièce à mesurer et de la valeur de l'étalonnage. Se pratique sur un marbre (métrologie au marbre).

Normale de repérage : une normale est un élément graphique utilisé dans la symbolisation géométrique du repérage isostatique. C'est un contact ponctuel représenté par un vecteur normal à la surface considérée. Il supprime un degré de liberté.
Exemple : pour symboliser une liaison appui plan, il faudra représenter trois normales de repérage.

Opération (d'usinage) : réalisation d'une ou plusieurs surfaces élémentaires en n'utilisant qu'un seul mouvement d'avance dans le couple outil/pièce.

Outil de coupe : c'est l'effecteur coupant du système de fabrication. Il peut être à tranchant(s) unique ou multiple(s). Il reçoit au moins un mouvement générateur.

Pénétration (*a*) : désigne l'engagement de l'outil dans la pièce. Elle s'exprime en millimètre (mm).

Phase : la phase est une étape dans la réalisation d'une pièce. C'est un ensemble d'opérations effectuées à un même poste de travail (montage, contrôle) ou sur une même machine (usinage).

Porte-outil (P-O) : interface permettant de lier l'outil à la machine.

Porte-pièce (P-P) : interface permettant de lier la pièce à la machine.

Processus (de production) : chronologie des opérations réalisées avec différents procédés (moulage, usinage, montage, soudage...). Il introduit les notions de temps et d'ordonnancement.

Productique : ensemble de technologies et de moyens (machines-outils à commande numérique, gestion de production, de la qualité, ...) permettant d'optimiser la productivité dans une entreprise.

Produit : en général, c'est un bien matériel (de consommation, d'équipement) qu'une entreprise fournit aux consommateurs pour répondre à leurs besoins. Il constitue l'objectif de la démarche productique.

Qualité : c'est un ensemble de caractéristiques (sécurité, fiabilité, maintenabilité, coût d'achat) propre à un produit afin qu'il puisse satisfaire les besoins exprimés par l'utilisateur.

Réglages cinématiques : ils consistent à régler la vitesse des mouvements générateurs :
- fréquence de rotation (mouvement de coupe) ;
- vitesse d'avance (Vf) ou avance par tour (f) (mouvement d'avance).

Réglages géométriques : consistent à régler un élément de la machine ou de l'appareillage en rotation (angulaire) ou en translation en fonction d'une spécification à respecter.

Repère (machine) : c'est un repère orthogonal (O, X, Y, Z) permettant de définir les mouvements sur une machine. Le repère est un trièdre (formé par 3 demi-droites perpendiculaires entre elles et ayant même origine).

Repère programme (MOCN) : c'est un repère, installé sur la pièce, dont les axes sont les axes de déplacements de la machine. L'origine de ce repère est appelée origine programme (OP). Il permet de déterminer les coordonnées des points de passage des outils utilisés pour réaliser la pièce.

Sécurité : ensemble de mesures permettant de garantir l'intégrité des personnes au sein d'une entreprise.

Spécifications : éléments de cotation, installés sur le dessin de définition, visant à définir fonctionnellement les surfaces (isolément, entre elles) d'une pièce mécanique.

Système de fabrication : système composé d'une machine, d'appareillages, d'une pièce et d'un outil visant à apporter une valeur ajoutée (générer des surfaces en respectant le contrat d'usinage imposé) sur une pièce mécanique.

Technologie de groupe : c'est une méthode de gestion de production qui consiste à regrouper les pièces par famille (dans lesquelles on trouve des similitudes de formes, de dimensions...) pour les fabriquer dans des îlots de production.

Temps : prennent en compte la durée de toutes les opérations réalisées durant un cycle de production. On distingue les temps de fabrication, de montage, de contrôle, de transfert...

Vitesse de coupe : vitesse à laquelle un point de l'outil arrive sur la pièce en fraisage ; vitesse à laquelle un point de la pièce arrive sur l'outil en tournage. Elle est exprimée en mètres par minute.

Vitesse d'avance : vitesse à laquelle se déplace l'outil par rapport à la pièce en tournage ; vitesse à laquelle se déplace la pièce par rapport à l'outil en fraisage. Elle est exprimée en millimètres par minute.

Zone de tolérance : zone dans laquelle doit impérativement se situer l'élément usiné pour respecter une spécification. Sa définition est fonction de la spécification considérée.

INDEX ALPHABÉTIQUE

P. ?

A

Actionneurs 200
Ambiances thermiques 150
Analyse de la valeur 189
Angles d'outil 130-131
Annexes 229
Appareillages 207
Assurance qualité ISO 9000 187
Auxiliaires de contrôle 166
Avance 100, 237
Axes normalisés 34-35

B

Brainstorming (remue-méninges) 193
Bridage (règles) 62
Bruit 149
Brut 106, 237

C

Cahier des charges fonctionnel (CDCF) 190
Calibres de contrôle 164
Calibres et mesureurs d'angles 167
Capteurs 204
Carte de contrôle 11, 179
Chaînes cinématiques, effecteurs 202
Chaînes d'assemblage 225
Chaîne fonctionnelle simplifiée d'un système 197
Circuits géométriques, notions 52
Comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail 86
Comparateur 163
Compétitivité des produits industriels 185
Comportement au poste de travail 147-148
Conditions de coupe 136
Conditions de travail et prévention 142
Conduite de l'usinage 99
Contrat de phase 11, 28 à 31
Contrôle et mesure 158
Contrôle qualité 157
Contrôle, auxiliaires de 166
Copeau minimum 71
Cotation de fabrication 32
Coupe des matériaux 129
Coupe (mouvement) 100
Coût de la non-qualité 188
Coûts 186
Cycle de vie d'un produit 185

D

Décalage d'origines 75-78
Décodage des formes 12-14
Décodage des spécifications 19
Décodage des spécifications d'état de surface 26
Décodage des spécifications dimensionnelles 21
Décodage des spécifications géométriques 24
Degrés de liberté 47
Degrés de liberté, symbolisation géométrique 48
Degrés de liberté, symbolisation technologique 50
Démarche qualité 185
Demi-finition 104
Désignations normalisées des matériaux 27
Dessin d'ensemble 9
Dessin de définition 10
Diagramme causes-effets, ou d'Ishikawa 192
Diagramme de Gantt 214
Diagramme de Pareto 193
Diagramme PERT 194
Durée de vie des outils 138

E

Ébauche 104
Effecteurs et chaînes cinématiques 202
Éléments d'un système qualité 185
Éléments de référence des MO 38
Éléments de réglage des MO 39
Éléments géométriques de base 12
Enveloppe (génération) 101
Ergonomie 156
Erreurs de vérification 174
Étalons de rugosité (rugotest) 168
Étude de l'outil de coupe 129

F

Fabrication assistée par ordinateur (FAO) 209
Fiche de contrôle 170
Fiches de poste 84
Finition 104
Forets 133
Forme (génération) 101
Formes obtenues par usinage 15
Formes obtenues par moulage 18
Fraisage, réglage du poste d'usinage 110
Fraises 132
Fréquence de rotation 69

G

Gamme d'assemblage 228
Génération des surfaces 100
Gestion de l'usinage 104
Grandeurs géométriques 71
Groupement de surfaces 108

H

Histogramme 192

I

Installation d'un tour 94
Installation d'une fraiseuse 95
Installation d'une perceuse 93
Instruments de mesure coulissants 158-160
Instruments de mesure à vis micrométrique 161-162
Intervalles de tolérance (IT) 237
Isostatisme (liaisons mécaniques) 48-49

J

Jauge d'outil 76
Jauge de profondeur 160
Journal de bord 184

L

Liaisons pièce/machine 62
Liaisons mécaniques entre solides 46
Liaisons pièce/porte-pièce 60

Index alphabétique

Limites d'intervention des opérateurs sur MO 142
Lubrification 138

M

Machines et équipements de travail 89
Machines-outils 34
Machines-outils, différents types 40 à 45
Machines-outils, éléments de référence 38
Machines-outils, éléments de réglage 39
Maintenance 96-97
Mandrins 54-55
Matériaux pour outils de coupe 134
Matériaux, désignation normalisée 27
Matrice de décision 193
Mesurage et contrôle 158
Mesurages direct et indirect 71
Mesureurs électroniques 168
Micromètre 161
Mise en conformité des MO 89
MOCN, préparation 72

N

Nomenclature 9
Nomenclature des phrases 10
Non-qualité 188
Normales de repérage 48, 238

O

Opérations d'usinage 104
Origines machine, origine mesure 73
Origines pièce 74
Origines programme 75
Outil de coupe 129
Outils en alésage 125
Outils en filetage 126-127
Outils en fraisage 121 à 123
Outils en perçage 124-125
Outils en tournage 118 à 120

P

Pénétration 71
Phase 238
Pied à coulisse 158
Porte-outil modulaire 67
Porte-pièces liés à la machine 53
Porte-pièces modulaires 59
Préactionneurs 198
Prévention des risques professionnels 82
Prises origines machine (POM) 73
Procédure de réglage du couple outil/pièce 114
Programmation, notion de 77
Protecteurs de MO 90
Protection non mécanique 92
Protection d'un tour 94
Protection d'une fraiseuse 95
Protection d'une perceuse 93
Protection individuelle 146

Q

Qualité 185
Qualité métrologique des instruments de mesure 176

R

Rectification 232
Réglage du couple outil/pièce 68, 114
Réglages géométriques du poste d'usinage 110 à 113
Réglage mouvement de coupe 69
Réglage mouvement d'avance 70
Réglages spécifiques d'usinage 109
Relation outil → opération → forme générée 118
Relation outil → porte-outil → machine 63
Relation pièce → porte-pièce → machine 46
Risques chimiques 151
Risques d'incendie 152
Risques électriques 155
Risques mécaniques 90
Robots 217
Rugosité 26

S

Sécurité dans l'entreprise 82-83, 147-148
Spécification des états de surface 26
Spécifications dimensionnelles 21
Spécifications géométriques 24
Spécifications 19-20
Suivi statistique de la production 178
Systèmes 195-196
Systèmes d'assemblage 225
Systèmes de fabrication par enlèvement de matière 207
Systèmes de manutention 216
Systèmes de production 206
Systèmes de vérification assistés par ordinateur 220

T

Technologie de groupe, classification par famille 210
Temps de fabrication 213
Tolérances 22-23

U

Unité de base en productique 21
Usinage à l'outil coupant 100
Usinage à très grande vitesse (UTGV) 230-231
Usinage par abrasion (rectification) 232-233
Usinage par électro-érosion 234-235
Usinage par rayon laser 236

V

Vérification assistée par ordinateur 220
Vérification, erreurs de 174
Vérification, mise en œuvre 169
Vitesse d'avance 70
Vitesse de coupe 68-69

Z

Zones dangereuses 91

Composition I.G.S.-Charente Photogravure à l'Isle-d'Espagnac (16340)
Imprimerie Hérissey à Évreux – N° 76865