

I.1 INTRODUCTION [ZIR 09]

Le montage d'usinage est un dispositif permettant de positionner et de maintenir la pièce dans le référentiel de la machine-outil en vue de son usinage.

Cette position doit être précise et stable durant tout le processus d'usinage.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur la modélisation des connaissances associées à la conception des montages d'usinage sous forme d'une base de règles et sur la conception de montages d'usinage pour les pièces prismatiques.

Ces travaux prennent en considération l'accessibilité des différentes surfaces de la pièce pour choisir les surfaces de posage, la conception du bridage et l'optimisation des efforts de serrage en tenant compte de la stabilité et de l'équilibre de la pièce.

D'autres travaux s'intéressent à l'analyse de l'erreur de positionnement de la pièce sur ses appuis et à la gestion des collisions entre les éléments constituant le montage et les outils de coupe.

La validation de la qualité de positionnement est abordée de manière à s'assurer du bon positionnement des surfaces usinées. Beaucoup de travaux ont aussi abordés les phénomènes de frottement et les problèmes de contact.

La plupart des travaux considèrent que toutes les informations liées à la sous-phase sont connues au moment de la conception du montage d'usinage. Notre approche vise à traiter la conception du montage d'usinage de façon découplée des autres actions menées en conception de la sous-phase en se basant sur des estimations et sur les informations issues de l'architecture de gammes d'usinage. Pour le choix et le placement des éléments en contact avec la pièce on considère les contraintes de qualité, d'accessibilité et de comportement mécanique. Ces différentes contraintes ne sont pas indépendantes entre elles. Il est donc difficile de les satisfaire toutes en même temps. La solution retenue sera donc issue d'un compromis pour le choix des éléments. Pour le placement nous proposons de mettre en place une fonction optimisant le placement de ces éléments sur la pièce en considérant les contraintes adéquates.

I.2 DEFINITION

Un montage d'usinage est un outillage utilisé pour fixer la pièce solidement à la bonne position dans l'espace de travail de la machine-outil. La conception du montage d'usinage joue un rôle important pour obtenir une pièce usinée de bonne qualité. Elle s'inscrit au sein d'un processus plus global de fabrication industrielle. Les contraintes que doit respecter un montage d'usinage sont : garantir un libre accès des outils de coupe aux surfaces à usiner, garantir la qualité de la pièce à usiner, garantir la stabilité de la pièce sous les sollicitations dues aux efforts de coupe, garantir un montage et un démontage aisé de la pièce, permettre l'évacuation des copeaux et du fluide de coupe et garantir la sécurité de l'opérateur pour la mise en œuvre du montage. [ZIR 07]

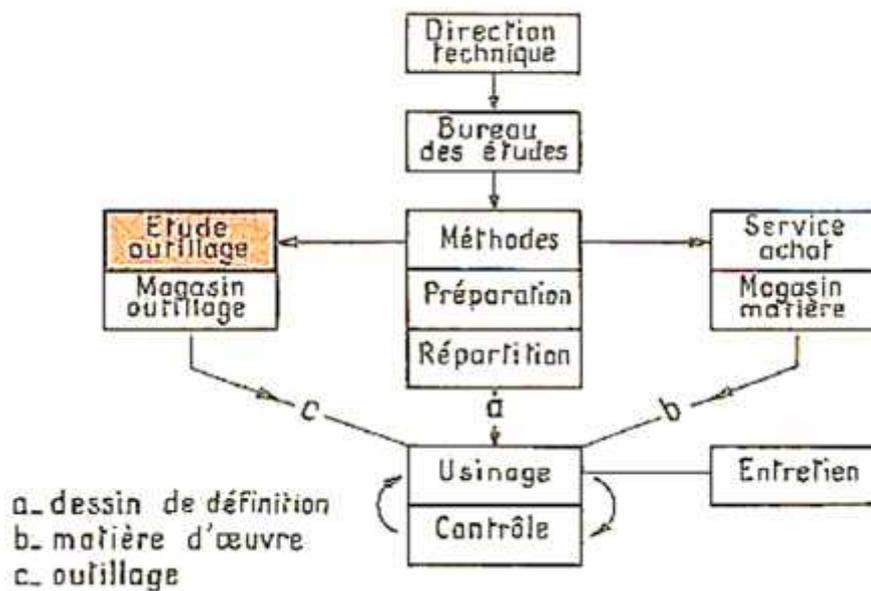


Fig.I.1 : L'usine et ses fonctions [CHE 82]

I.3 CLASSIFICATION

Les montages spéciaux d'après leur usage sont classés en :

- Les Machines-Outils (M.O)
- Les équipements standards
- Les outils standards de coupe et de contrôle

Tab I.1 : Différentes catégories de montages d'usinage [CHE 82]

Catégories	Utilisation
Montage d'usinage	- Perçage, Fraisage, Tournage, Rabotage, etc. ... - Division circulaire ou linéaire.
Montage de Reproduction	- Usinage de surface réglée ou de révolution quelconque
Montage de compensation	- Positionnement angulaire d'axes, Plan et prismes.
Montage de vérification	- Mesure, contrôle et triage en série
Montage d'accélération	- Alimentation automatique de la machine et pré-positionnement des pièces
Montage de substitution	- Possibilité de modifier la destination technique des machines usuelles
Montage de découpage	- Découpage des flans

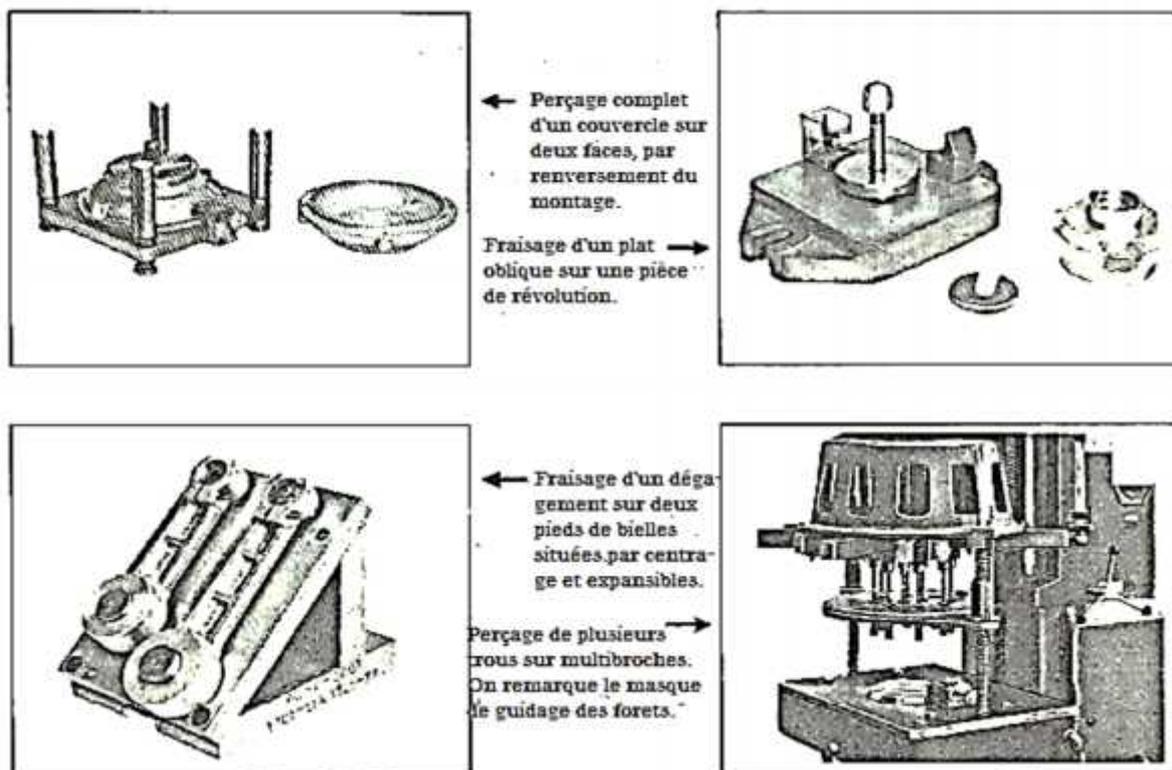


Fig.I.2 : Quelques Montages d'usinages

I.4 LIAISON MONTAGE-MACHINE

I.4.1 Machines et Montages

L'équipement ordinaire des machines-outils usuelle (Tour, Fraiseuse, Perceuse, etc...) ne permet un usinage précis et économique que pour les travaux unitaires et par un opérateur qualifié. L'équipement spécial (Montage et outils) intervient dès qu'il s'agit de produire en série économiquement avec une main d'œuvre peu qualifiée ; il simplifie les tâches et réduit « les temps mort ».

Le fait d'utiliser des montages spéciaux n'accroît pas la précision de la machine ; leurs défauts propres peuvent éventuellement s'ajouter à ceux de cette dernière et finalement se répercuter sur la pièce à produire, d'où la nécessité de tolérances faibles pour les surfaces fonctionnelles du montage (en principe : **IT** du montage **0.1IT** des pièces à fabriquer).

La précision durable est conditionnée par la permanence de qualité des surfaces en contact :

- Entre pièce à usiné et montage ;
- Entre montage spécial et machine-outil.

Toutes les surfaces de référence et d'usure sont définies par leurs qualités macro et micro-géométriques ainsi que par leur dureté ; elles sont fondamentales pour le bon fonctionnement. Nous désignerons, quand les confusions sont à craindre, respectivement par **SR** et **SR'** (ou **R** et **R'**) les références-pièce et les références-montage en contact et par **sr** et **sr'** (ou **r** et **r'**) les références-montage et machine en regard.

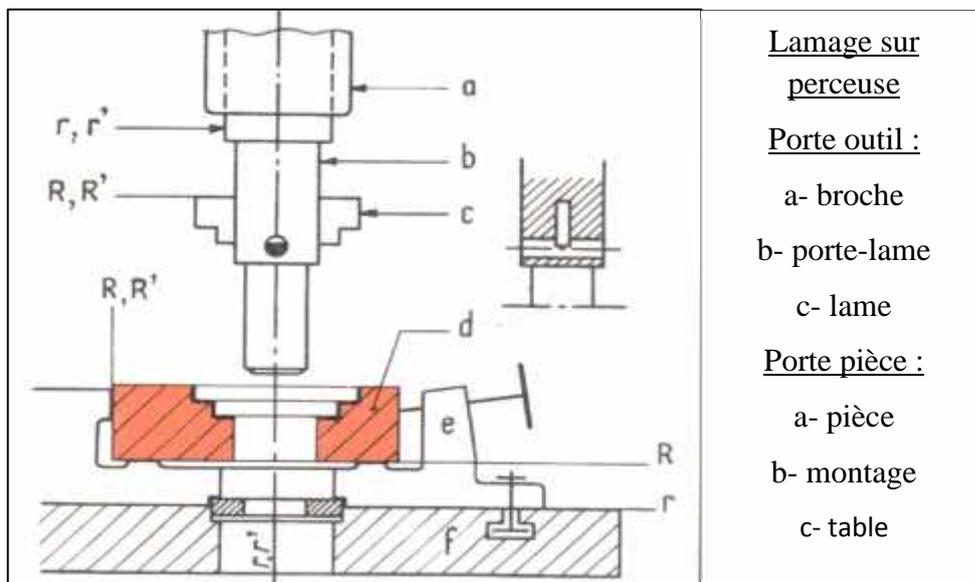


Fig.I.3 : Usinage-type en montage (Lamage sur perceuse) [CHE 82]

désignerons par **SR** et **SR'** (ou **R** et **R'**) les références-outil et porte-outil en contact et par **sr** et **sr'** (ou **r** et **r'**) les références porte-outil et machine en contact également.
Les références **R** et **r** d'un système sont obligatoirement dépendantes.

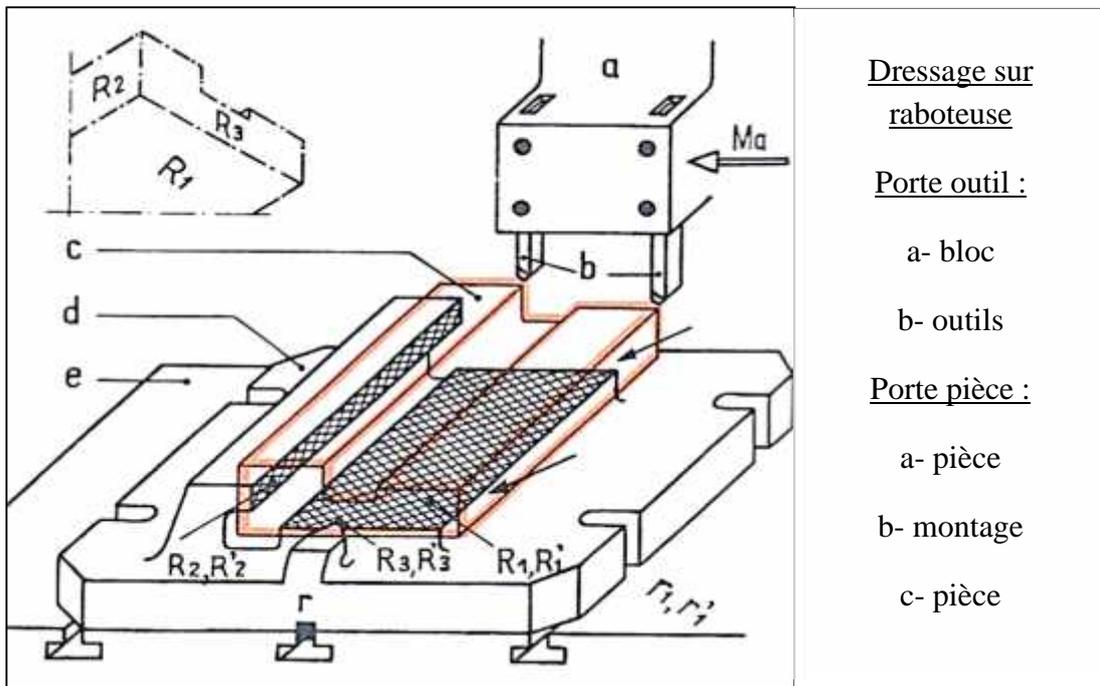


Fig.I.4 : Usinage-type en montage (Dressage sur raboteuse) [CHE 82]

I.4.2. Porte-pièce

Cet organe (table ou plateau) permet d'abloquer la pièce à usiner, ou, dans notre cas, le montage spécial affecté à celle-ci.

La table rectangulaire équipe les fraiseuses, aléseuses, étaux limeurs, raboteuses, mortaiseuses ainsi que certaines rectifieuses et perceuses.

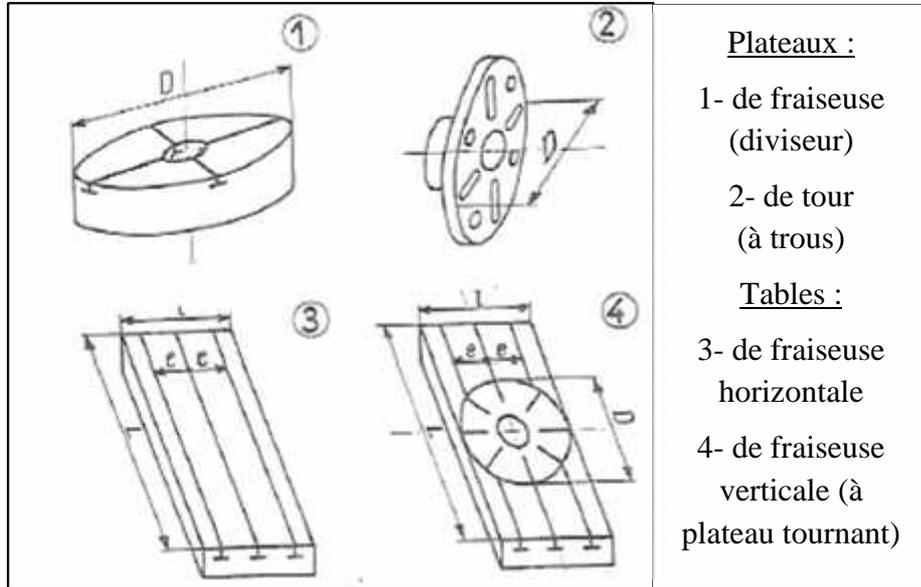
Le plateau circulaire tournant équipe les tours ainsi que certaines rectifieuses et perceuses. Souvent sur les fraiseuses verticales et les mortaiseuses on trouve les deux systèmes combinés pour animer la pièce de trois mouvements d'avance dans le même plan horizontal : deux rectilignes perpendiculaires et le troisième de rotation.

Le positionnement du montage spécial s'opère en principe d'après un système de référence à trois faces formant un trièdre trirectangle et mieux encore d'après le système plan-trait-point de **Lord Kelvin** équivalent à six contacts ponctuels (3 pour **r₁**, 2 pour **r₂**, 1 pour **r₃**).

- la réf. **r₁** correspond à la surface d'appui de la table ou du plateau ;
- la réf. **r₂** est généralement la rainure médiane de la table (flanc opposé à l'effort de coupe) ou l'alésage du plateau ;
- la réf. **r₃** est une butée opposée à l'effort de coupe suivant la direction **r₂** (cas de la table) ou à la rotation (cas du plateau).

Assez souvent la butée positive, r_3 n'est pas réalisée, l'immobilisation étant assurée par adhérence grâce à un serrage appliqué contre r_1 , ceci lorsque la table ne possède que des rainures longitudinales.

Par contre, certaines grandes raboteuses ont des tables pourvues de rainures auxiliaires transversales et de trous permettant les mises en butée.



- Plateaux :
- 1- de fraiseuse (diviseur)
 - 2- de tour (à trous)
- Tables :
- 3- de fraiseuse horizontale
 - 4- de fraiseuse verticale (à plateau tournant)

Fig.I.5 : Plateaux et Tables [CHE 82]

L'ablocage du montage spécial s'effectue par des éléments de serrage prenant appui dans les rainures à té. Eviter de détériorer la rainure fournissant r_2 grâce à des têtes de boulons calibrées ménageant un jeu entre la tige et les flancs de rainure. L'ablocage assure le positionnement c'est-à-dire le maintien des six contacts r_1-r_1' , r_2-r_2' , r_3-r_3' , malgré les sollicitations de la pesanteur et de l'effet de coupe, au moyen de six serrages opposés aux six positions d'appui.

Rainures à Té					Rainures pour languettes ③			
a nominal tolérances $\pm 0,03$	b	c	h max/min		r	a ₁ nominal tolérances $\pm 0,01$	e	f
6	11	6	9	6,5	0,5	6	2	3
8	15	7	12	9	0,5	8	3	3
10	18	8	15	11	0,75	10	3	5
12	22	11	18	13	1	12	4	5
16	27	14	24	18	1,25	16	4	8
20	33	16	30	22	1,5	20	6	8

- 1- Rainure à Té :
- a- boulon
 - b- languette de référence
- 2- Boulons :
- a- monobloc
 - b- à tête amovible
- 3- Dimension d'après :
- NF.E.21 301

Fig.I.6 : Fixation sur Table [CHE 82]

Cas particuliers :

- Serrage unique axial pour les petits montages robustes centrés par emboîtement cylindrique.
- Positionnement par deux piétages substitués aux réf. r_2 et r_3 par exemple pour les montages spéciaux de tournage, fixés sur un faux-plateau lui-même monté sur le nez de broche.
- Référence unique r_1 sur plateau ou table et pas d'ablocage pour les petits montages de perçage (l'effort de pénétration du foret s'ajoute alors à la pesanteur pour assurer l'adhérence montage/table).

I.4.3 Porte-outil

Les porte-outils spéciaux sont positionnés et abloqués d'après les mêmes principes de référence que les montages spéciaux porte-pièce mais les dispositions pratiques sont plus simples, par exemple dans les deux cas ci-après :

1°/Porte-outils tournants : montés sur broche tournante, ils reçoivent des outils de coupe (fraise, foret, grain d'alésage) et sont positionnés par une seule surface de contact conique et bloqués par coincement (conicité 5%) ou bien par système de rappel axial sur cône Américain 7/24 et tenons d'entraînement.

2°/Porte-outils non tournants : montés sur chariots de tour, raboteuse, etc., ils sont généralement prismatiques avec deux références r_1 et r_2 et ablocage par vis de pression.

3°/Caractéristiques des machines-outils :

La machine qui recevra le montage spécial est généralement désignée à la sous-section « étude d'usinage » par le « bureau des méthodes » en tenant compte des exigences techniques et des disponibilités.

La fiche signalétique de chaque machine-outil renseigne le dessinateur sur sa caractéristique dimensionnelles et diverses telles que :

- Dimensions des tables et plateaux porte-pièces ;
- Dimensions des nez de broche et tourelle porte-outil ;
- Positions et dimensions des rainures à té et des trous de passage par boulons ;
- Capacité d'encombrement sur porte-pièce et porte-outil ;
- Valeurs des courses utiles du porte-pièce ou du porte-outil ;
- Gamme des valeurs n en tours/mn ou en coups/mn ;
- Gamme des avances automatiques ;
- Puissance disponible.

I.5. LIAISON MONTAGE PIECE

I.5.1 Mise en position (positionnement)

Avant de tailler la pièce, il faut positionner et serrer ; après taillage il faut desserrer, éjecter et enlever. L'ensemble de ces actions successives est désigné par le terme globale « ablocage »

Le positionnement consiste à placer la pièce à usiner dans une position totalement définie par ses distances à trois plans de références rectangulaires .il se fait en trois temps (fig. 1.7)

1. Appuyer ou dégauchir la pièce en trois points par sa surface R1 (ouD1)
2. Buter la pièce latéralement en deux points par sa surface R2 (ouD2) sans déranger ce qui précède.
3. Buter la pièce longitudinalement en un point par sa surface R3 (ouD3) sans déranger ce qui précède.

Aux surfaces de référence usinées (R) correspondent des bornes (ou touches) planes a contact localisé.

Aux surfaces de départ brutes (D) correspondent des bornes (ou touches) bombés a contact ponctuel avant serrage.

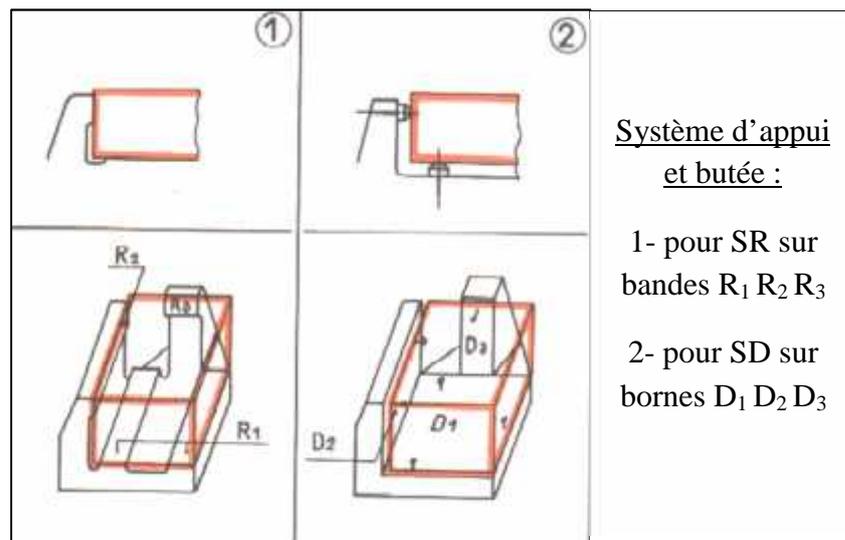


Fig.I.7 : Montages pour Prismes [CHE 82]

Principe de positionnement :

Les bornes d'appui remplissent trois fonctions :

- situer la pièce en position ;
- interdire son déplacement sous l'action de son propre poids, de l'effort de coupe ou de l'effort de serrage ;
- interdire la déformation de la pièce par les mêmes causes.

1°/Bornes à contact plan (fig. 1.8-1) :

Elles ne doivent pas s'imprimer dans la pièce (ne pas la marquer) d'où pression spécifique conseillée au maximum du même ordre que les contraintes en usage dans la construction mécanique (=10daN/mm² pour acier et fonte,=2.5daN/mm² pour aluminium et alliage).

D'autre part, il faut éviter les grandes surfaces de contact avec risque de portage douteux par faux parallélisme. Pour satisfaire au mieux les conditions ci-dessus et favoriser le portage pièce-appui, la borne offre une surface utile 100mm² de préférence circulaire (soit =12mm), et rectifiée, si possible, après mise en place.

2°/Bornes à contact ponctuel (fig. 1.8-2) :

Elles entrent en contact avec la pièce par leur sommet, puis sous charge s'y impriment jusqu'à ce que le quotient décroissant de la charge par la surface d'empreinte sphérique atteigne une valeur voisine () de la résistance R à l'écrasement. A ce moment le système des forces est en équilibre; mais si, en travail, l'effort de coupe s'ajoute à celui de serrage, l'équilibre est rompu, l'empreinte s'accroît par affaissement de la pièce jusqu'à établissement d'un nouvel équilibre. Ce dernier phénomène, fréquemment constaté, est une cause de vibration et même de déblocage intempestif .pour y faire on recommande la méthode suivante :

- serrer en excès contre chaque borne ponctuelle afin d'obtenir une forte empreinte ;
- desserrer d'une course manuelle, un demi-tour environ, sans libérer le contact ;
- resserrer normalement, d'où une pression spécifique nettement inférieure à R (soit =0.5R).

3°/Bornes réglables (fig. 1.8-4,5) :

Dans le système d'appui de la pièce en montage, ces accessoires éventuels à contact plan ou bien ponctuel entrent en jeu, en nombre illimité pour soutenir les pièces non rigides, généralement de grandes dimensions et viennent en supplément des bornes fixes (fig 1.8-3). Leur réglage :

- pour la série s'il s'agit de bornes planes (contre surface R), pour chaque pièce s'il s'agit de bornes sphériques (contre surface D).
- se fait à la demande, contre les déformations, en contrôlant si nécessaire les effets au moyen d'un comparateur-amplificateur.

Chaque borne est remontée jusqu'à ce que la pièce soit en position de rigidité c'est-à-dire de non-déformation.

Commencer par le réglage des bornes les plus éloignées des bornes fixes et de part et d'autre de la surface en appui et s'assurer que le blocage ne modifie pas le réglage.

Il existe des bornes à queue cylindrique montée sur ressort dont le blocage se fait à pression constante (celle du ressort) par vis latérale agissant sur un plat contrepenté de la queue, (fig 1.8-4).

D'autres bornes, du type vérin, sont à queue fileté ; le taraudage correspondant, au moyen de tarauds rectifiés, doit assurer le montage sans jeu de la vis pour éviter le dérèglement lors du blocage.

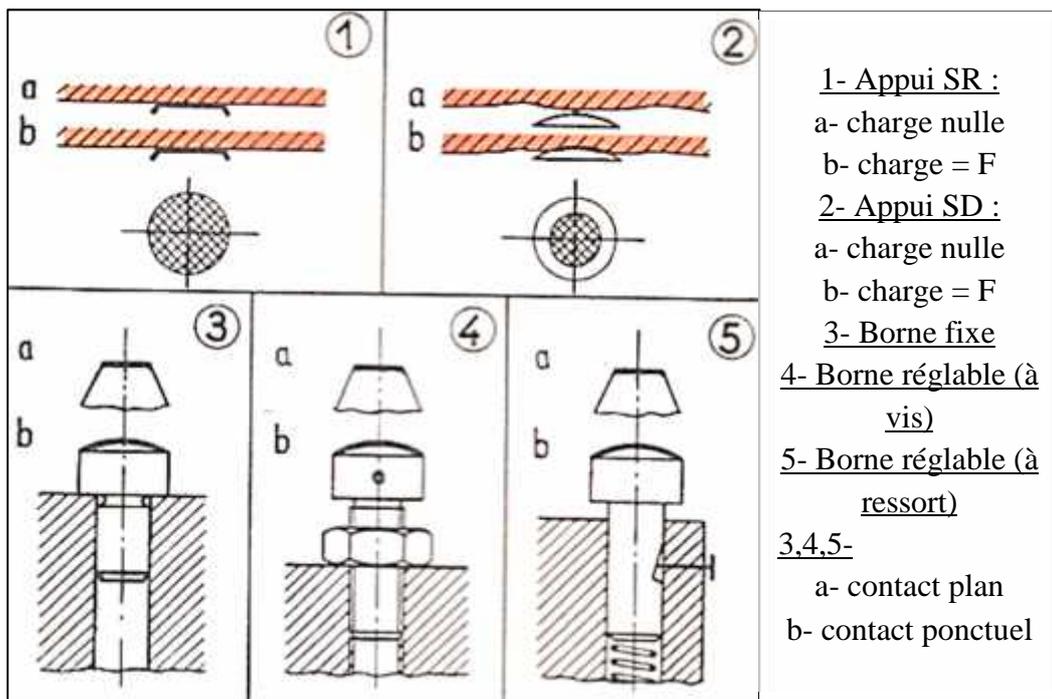


Fig.I.8 : Bornes [CHE 82]

4°/Applications :

Sur la planche ci-contre, se trouvent de nombreux exemples de mise en appui et butée.

(Fig. 1.9) un support de pièce est équipé avec bornes planes (fig 1.9-1) ou avec des bornes ponctuelles (fig. 1.9-2).

Remarque sur la figure 1.9-1 la substitution de bornes étroites aux appuis localisés circulaires pour simplifier la réalisation du montage.

Mêmes principes appliqués à une pièce cylindrique (la figure III, 3 convient seulement pour un positionnement diamétral suivant XX).

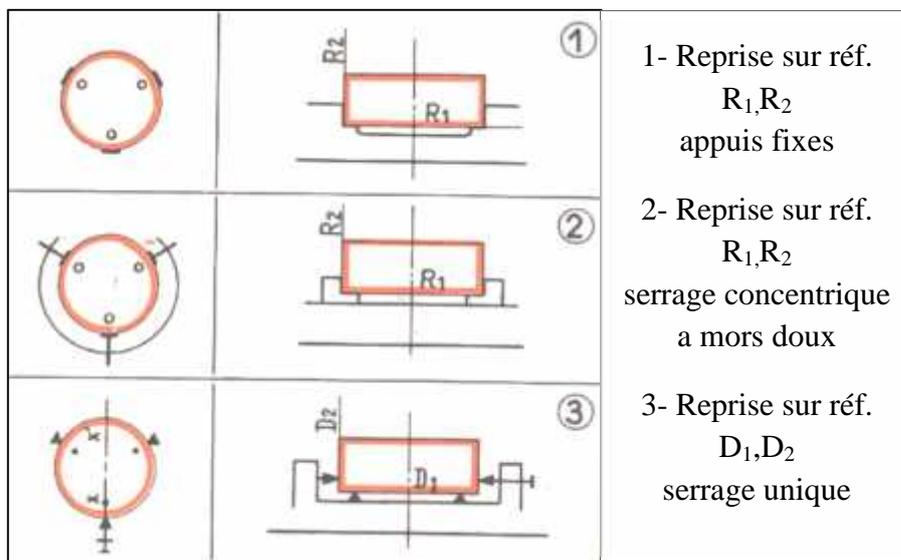


Fig.I.9 : Montages pour cylindres ($D > L$) [CHE 82]

les vés à arêtes remplacent les bornes à contact ponctuel pour recevoir un cylindre brut.

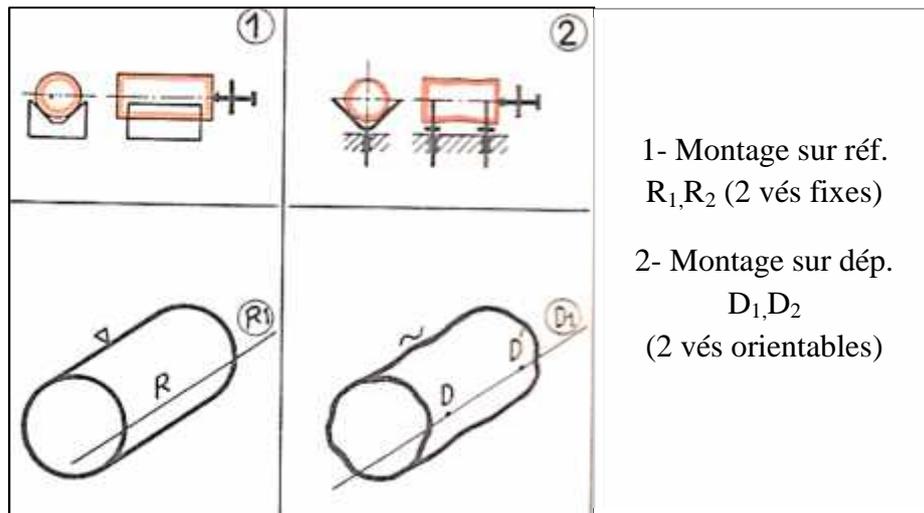


Fig.I.10 : Montages pour cylindres ($D < L$) [CHE 82]

la pièce déformable est renforcée par un croisillon et deux vérins latéraux. Le positionnement proprement dit est en « berceau » sur trois centrage permettent des reprises successives.

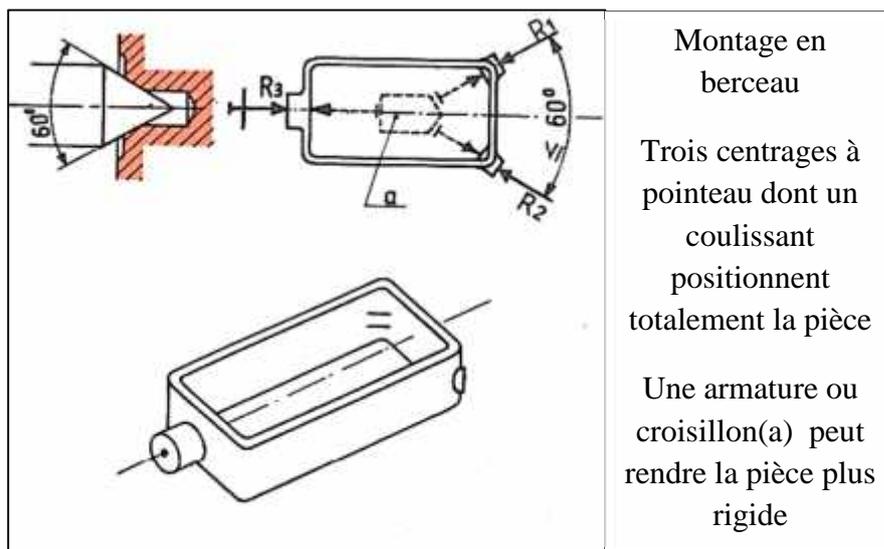


Fig.I.11 : Montage de pièce déformable [CHE 82]

système particulier pour pièce découpée avec orientation.

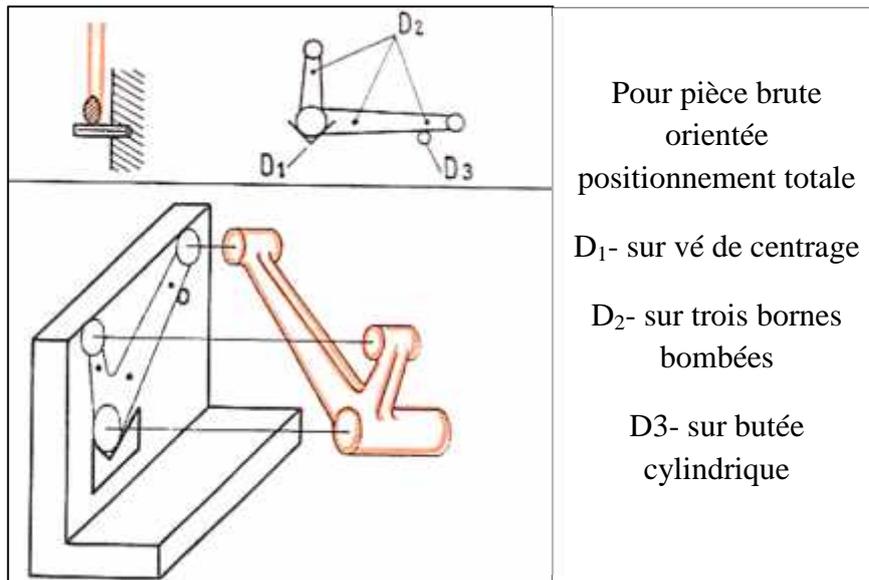


Fig.I.12 : Montage de pièce [CHE 82] découpée.

I.5.2 Maintient en position(Serrage)

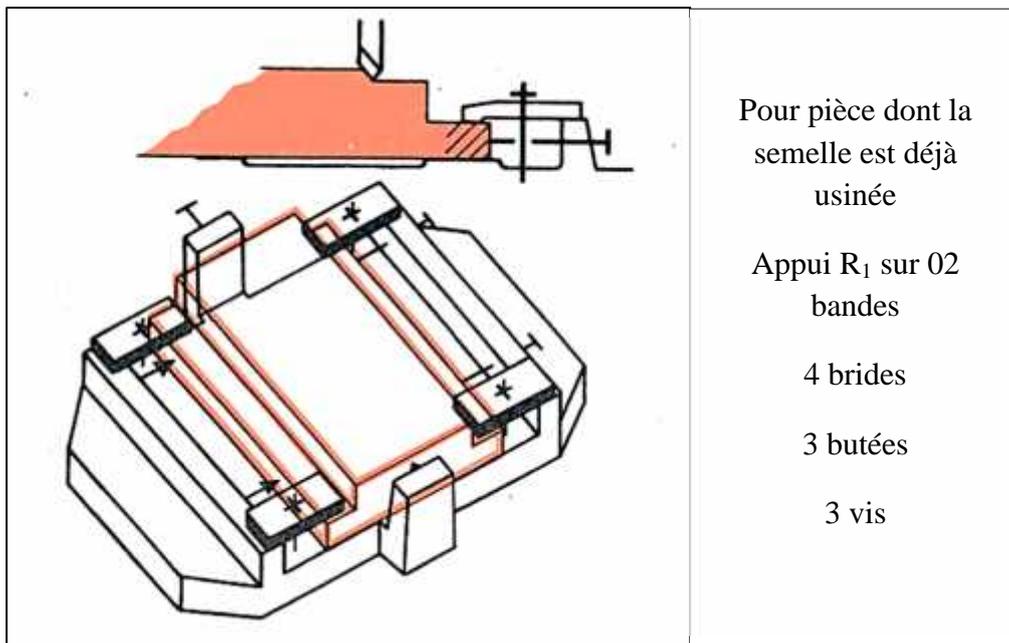
I.5.2.1 Principes du serrage

Dans un montage, le système de serrage doit maintenir la pièce contre appuis et butées, malgré les forces qui la sollicitent (pesanteur, forces d'inertie, efforts de coupe), ceci sans engendrer de déformations de la pièce ou du montage supérieures aux écarts tolérés (en générale 0.2 à 0.5 IT pièce) :

- les déformations de la pièce (flexion, torsion) donnent surtout des défauts de formes des surfaces taillées ;
- les déformations du montage donnent surtout des défauts de position relative entre éléments de la pièce.

Si les forces (pesanteur, coupe, serrage) considérées respectivement dirigent la pièce contre ses appuis et butées, aucun glissement de la pièce n'est à redouter. Les conditions idéales sont donc remplies si les efforts de serrage :

- sont dirigés vers les surfaces d'appui et de butée perpendiculaires à celles-ci (un serrage par appui) ;
- de même direction et même sens que l'effort de coupe ;
- s'opposent à la chute ou au basculement de la pièce ;
- s'exercent sur des parties non déformables.



Pour pièce dont la semelle est déjà usinée

Appui R_1 sur 02 bandes

4 brides

3 butées

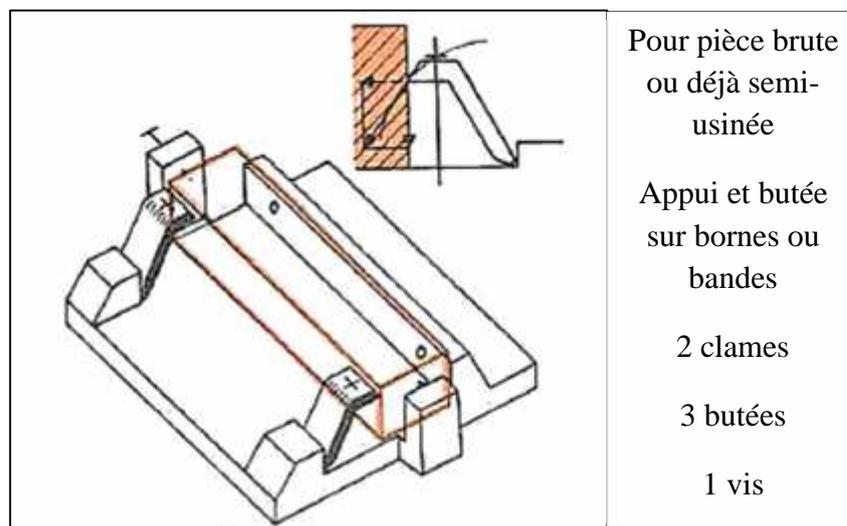
3 vis

Fig.I.13 : Serrage par-dessus [CHE 82]

Des exceptions sont permises lorsque (sans provoquer de déformations hors tolérance) on peut simplifier le montage spécial et son utilisation. Voici quelques exemples :

1°/Réduction du nombre des serrages :

Pour les pièces massives (non déformables), au lieu des serrages séparés vers points d'appui ou de butée, on peut adopter un serrage simplifié ou même unique dont l'effet est celui de leur résultante (fig. 1.14 et 1.15-1).



Pour pièce brute ou déjà semi-usinée

Appui et butée sur bornes ou bandes

2 clames

3 butées

1 vis

Fig.I.14 : Serrage sur Flancs [CHE 82]

Toutefois, il est plus sûr d'aboutir à la même simplification si possible au moyen d'une « bride tripode » (fig. 1.15-2).

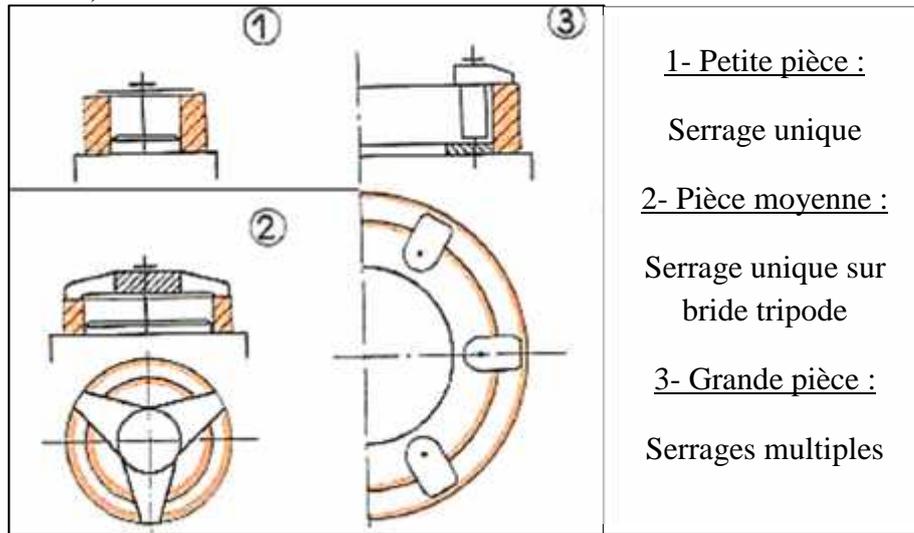


Fig.I.15 : Ablocage de Couronnes [CHE 82]

2°/Serrage sur partie non rigide :

Les pièces minces ou très ajournées posent un tel problème que l'on solutionne au moyen de raidisseurs auxiliaires montés sur la pièce et par limitation des serrages.

3°/Serrage par portée conique :

Largement utilisé pour abloquer les pièces de révolution semi-usinées :

- serrage direct sur portée conique (fig. 1.16-3) (R2 douteux) ;
- serrage indirect (avec bague conique expansible) sur portée cylindrique (fig. 1.16-4) (R1 et R2 assurés).

Sur les portées coniques l'arrêt en rotation par adhérence exige une conicité $< 10\%$, avec coefficient de frottement estimé 0.1 environ pour les surfaces lisses.

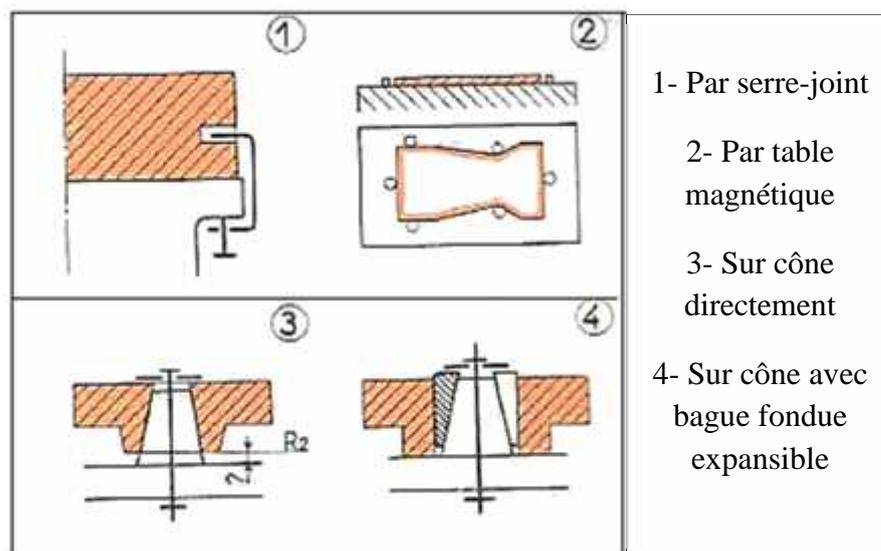


Fig.I.16 : Serrage par-dessous [CHE 82]

I.5.2.2 Type de serrage

Les serrages nécessaires pour immobiliser la pièce en montage sont trop souvent laissés à l'initiative des opérateurs, ce qui conduit généralement à des pressions excessives, surtout si l'on tient compte de l'incertitude des effets obtenus au moyen de la clef ordinaire.

Il est conseillé de calculer les serrages, lors de l'étude du montage, en appliquant un coefficient de sécurité raisonnable (coeff. 2 à 3) et d'interdire toute possibilité de dépassement, surtout sur les pièces fragiles ou déformables. Comme limiteur d'effort, employer les « clefs dynamométriques » ou bien les serrages indirects par interposition ou en détente (ressort à boudin, rondelle « Belleville ») :

- (fig. 1.17-b) en compression : l'effort de serrage est transmis par l'intermédiaire d'un ressort de force connue ;
- (fig. 1.17-c) en détente : l'action d'un ressort connu préalablement comprimé s'exerce sur la pièce avec une valeur constante.

Le serrage peut s'effectuer en plusieurs choix :

- par poussée directe (doigt de pression) ou par dispositif à levier (bride) ;
- mécaniquement (pneumatique à pression connue 50 à 60 N/cm²) ou manuellement (vis ou came) ;
- positivement ou avec ressorts intermédiaires tarés.

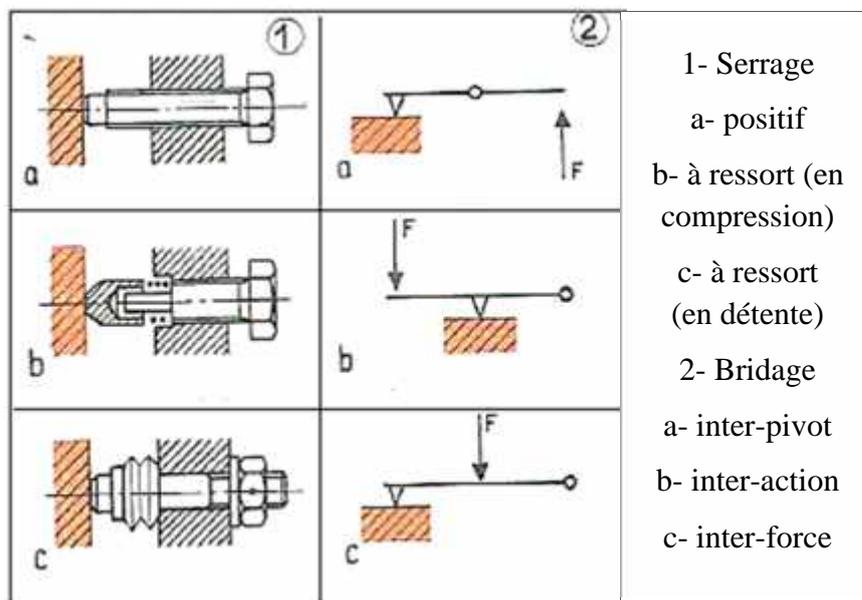


Fig.I.17 : Éléments de serrage [CHE 82]

1°/Serrage par filetage :

L'effort de serrage F est exprimé par la relation suivante :

$$F = Q \frac{2\pi}{P d f} n$$

F = effort de serrage,

Q = effort tangentiel sur la clef,

R = longueur utile de la clef,

N = rendement du système.

Cela pour un serrage direct par vis de pression, si le système fileté est incorporé à un levier de bridage, il faut tenir compte du rapport des bras de levier.

Recommandation :

Eviter le contact direct bout de vis/pièce dans le cas de serrage sur face usinée, le couple de frottement en fin de serrage sur face usinée, le couple de frottement en fin de serrage risquant d'endommager cette surface de pièce :

- les bouts de vis plats en acier doux grippent facilement sur la pièce ;
- les bouts de vis bombés en acier traité l'écrasent localement.

2°/Serrage par came:

Les cames de serrage sont en principe des coins tournants en forme de spirale logarithmique (angle constant $\approx 6^\circ$). Comme cette courbe n'est pas facile à usiner, on la remplace par une spirale d'Archimède ou par un arc de cercle excentré, ce qui donne des courbes à tangente variable. La période d'approche correspond à tangente environ 12° , alors que pour la période active de serrage, il ne faut pas dépasser 6° , afin d'assurer l'irréversibilité du système. La manœuvre est rapide, mais la course de serrage est faible, c'est pourquoi les cames de serrage sont utilisées surtout après ébauche, donc sur des pièces de dimensions déjà assez précises ($IT < 0.2$).

3°/Exemples de dispositifs :

De nombreux exemples classiques ou spéciaux sont présentés : planche9, planche A et planche B.

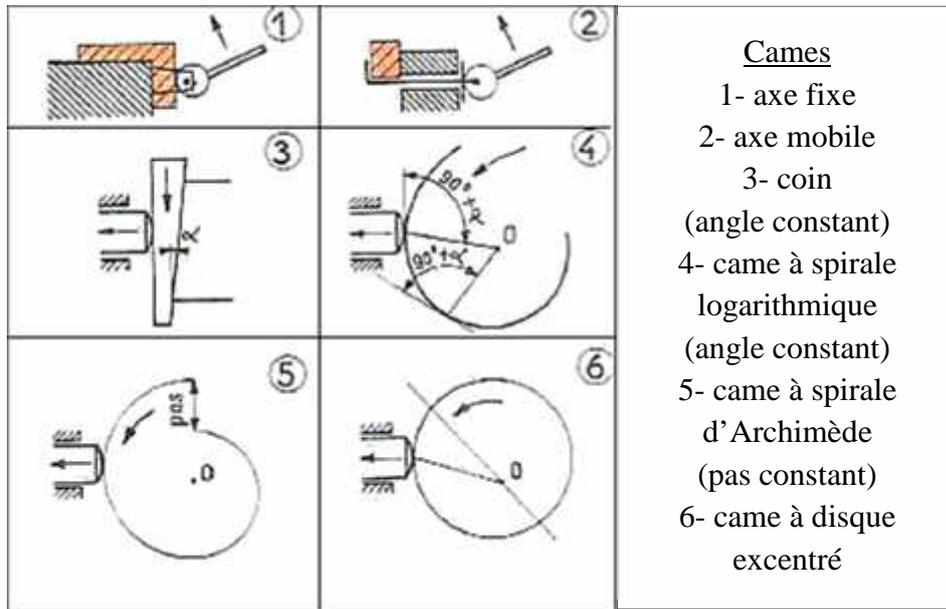


Fig.I.18 : Serrage par Cames [CHE 82]