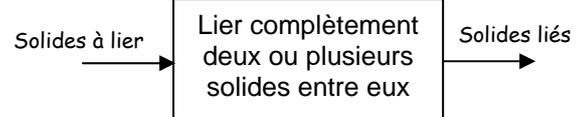


Liaison complète démontable

« Les sciences de l'ingénieur sont des moyens pour la réalisation d'objectifs à travers les processus de conception »
Jacques Perrin in *Conception entre science et art*

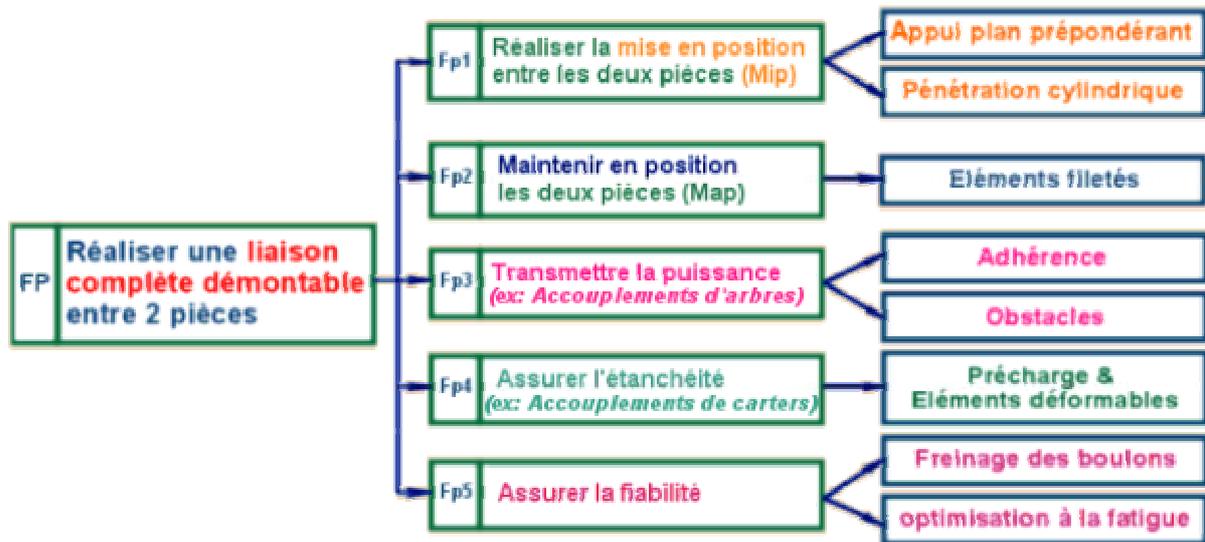
1 - Fonction principale et fonctions techniques



La **fonction principale** d'une liaison complète démontable est :

Lier deux ou plusieurs solides entre eux, afin d'annuler les 6 degrés de libertés relatifs, tout en laissant la possibilité de supprimer cette liaison.

Les **fonctions techniques** associées à cette fonction principale peuvent être développées en utilisant un diagramme FAST.



2 - Torseurs cinématique et des actions transmissibles

Le torseur cinématique d'une liaison complète (ou encastrement) est bien sur nul alors que le torseur d'effort transmissible est « complet ».

C'est ce torseur d'effort transmissible qui va nous permettre de dimensionner la liaison voire de choisir entre différentes solutions techniques.

$$V(S_2/S_1) = 0 \text{ et } T(S_1 \rightarrow S_2) = \begin{cases} \vec{R}(S_1 \rightarrow S_2) = X_{12}\vec{x} + Y_{12}\vec{y} + Z_{12}\vec{z} \\ \vec{M}(A, S_1 \rightarrow S_2) = L_{12}\vec{x} + M_{12}\vec{y} + N_{12}\vec{z} \end{cases}$$

3 - Principaux caractères fonctionnels de l'encastrement

Lors de la conception d'un projet industriel, si on est en présence d'une liaison complète à concevoir, il y a une quantité importante de paramètres à analyser.

Lors de nos conceptions rapides type concours nous resterons plus modestes, mais il ne faudra pas négliger certains paramètres que nous pourrions qualifier de fondamentaux.

- ♦ torseur d'effort transmissible : direction et nature des efforts prépondérants ;
- ♦ caractère démontable ou indémontable de la liaison ;
- ♦ nécessité d'une mise en position relative des 2 pièces précise ou non ;
- ♦ nécessité de la mise en place d'une étanchéité ou non.

¹ Machine à river de Fairbairn, 1838

D'autres paramètres très importants lors d'un projet réel sont souvent de moindre importance lors du concours.

- présence de vibrations ;
- raideur de l'assemblage ;
- nature des matériaux à assembler ;
- fréquence et facilité de montage/démontage ;
- type d'environnement ;
- esthétique.

4 - Principes et architectures de la liaison encastrement

4.1 – Deux principes classant les liaisons encastrement

La liaison encastrement par obstacle

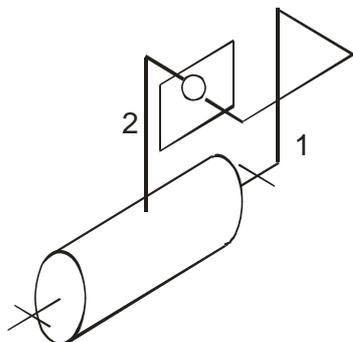
Tous les degrés de libertés relatifs sont annulés par des contacts entre les pièces.

La liaison encastrement par obstacle et adhérence

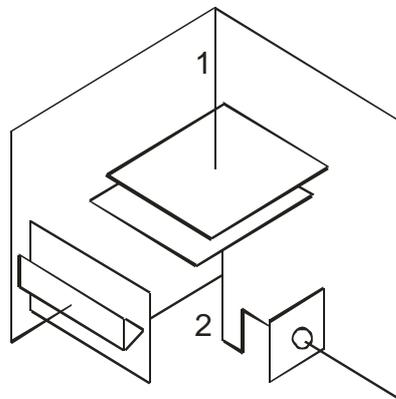
certaines degrés de libertés relatifs sont annulés par des contacts entre les pièces les autres le sont par adhérence.

C'est à dire par la combinaison d'une pression relative entre les 2 pièces et la présence d'un coefficient d'adhérence entre les 2 matériaux.

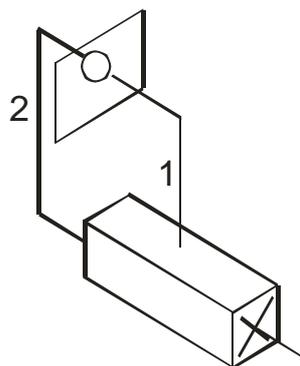
4.2 – Différentes architectures



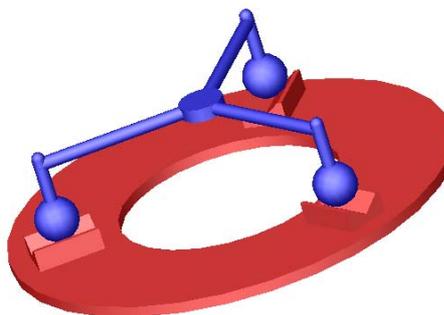
Liaisons pivot et ponctuelle en parallèle



Liaisons appui plan, linéaire rectiligne et ponctuelle en parallèle



Liaisons glissière et ponctuelle en parallèle



Liaisons « trois vés à 120° » de Boys

5 - Principales formes des surfaces fonctionnelles utilisées

Comme on peut l'entrevoir dans les différentes architectures, la liaison complète entre deux solides commence par une surface de contact commune. Deux cas principaux :

la surface de contact de base est un cylindre	la surface de contact de base est un plan	la surface de contact de base est un cône
On est en présence d'une liaison pivot glissant à laquelle il reste à annuler les deux degrés de liberté.	On est en présence d'une liaison appuis plan à laquelle il reste à annuler les trois degrés de liberté.	On est en présence d'une liaison pivot unilatérale à laquelle il reste à annuler un degré de liberté.

Remarque : Lors des épreuves orales, on peut vous demander d'analyser une liaison complète : Il est alors indispensable de décrire la liaison complète dans son ensemble, à commencer par la liaison de base (mise en position, MIP), puis d'indiquer les techniques utilisées pour annuler les autres degrés de libertés (maintien en position MAP).

6 - Liaison à surfaces cylindriques de révolution prépondérantes

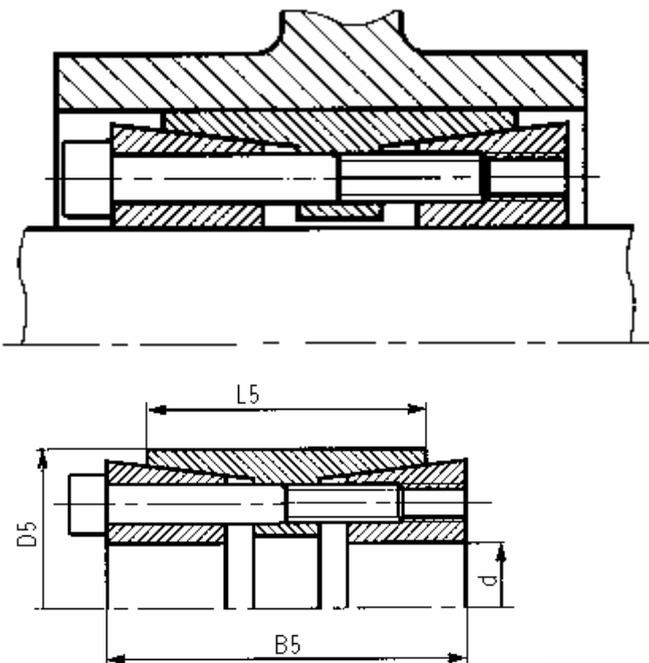
Pour la simplicité du propos, on pose que la pivot glissant de base est une liaison d'axe \vec{x} . Les degrés de liberté restant à annuler sont la translation et la rotation suivant \vec{x} . Les composantes à transmettre sont donc X et L . Les paramètres de mise en position seront nommés x et θ pour les deux degrés de liberté restant.

Pour que la liaison complète soit de bonne qualité, le guidage cylindrique doit l'être également. Il est donc souvent nécessaire de réaliser un ajustement de type H7h6 – positionnement – (éventuellement H7g6) entre l'arbre et le moyeu et donc de **l'indiquer sur l'avant projet de construction**.

Ce type de liaison complète se regroupe presque complètement avec la glissière à laquelle on enlève la translation.

6.1 – Annulation des degrés de liberté par adhérence

Élément d'assemblage biconique



d E8	D_5 g6	B_5 (mm)	L_5 (mm)	C_5 (Nm)	F_5 (kN)
45	75	54	44	3 260	145
50	80	64	56	4 150	165
60	90	64	56	6 200	207
70	110	78	70	11 500	329
80	120	78	70	14 500	362
90	130	78	70	17 800	390
100	145	100	90	26 300	527
120	165	100	90	40 400	670
140	190	116	104	64 700	920
160	210	116	104	84 500	1 050
180	235	146	134	23 250	1 370
200	260	146	134	46 000	1 460
220	285	146	134	81 000	1 640
240	305	146	134	18 000	1 820
260	325	146	134	50 000	1 920
280	365	177	165	60 000	2 550
300	375	177	165	28 000	2 850

Avantages : Pas d'usinage des pièces donc pas de concentration de contraintes, le démontage est très facile, les efforts transmissibles sont considérables, les grands diamètres sont possibles (500 voire 1000 mm).

Inconvénients : Le centrage de la liaison n'est pas toujours respecté par les différents mécanismes (ici si les vis ne sont serrées régulièrement il y a possibilité d'un certain défaut de centrage, le positionnement axial et angulaire ne sont pas assurés mais ils sont réglables).

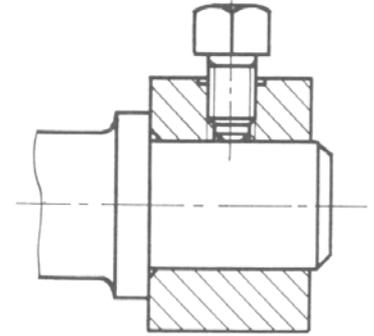
Vis de pression

Une simple vis de pression placée radialement dans l'alésage vient s'appuyer sur l'arbre, créant ainsi des efforts normaux qui engendrent à leur tour des efforts tangentiels qui transmettent le couple et l'effort axial.

Ce type de solution est assez rare car évidemment réservé aux liaisons dont les composantes X et L sont relativement faibles.

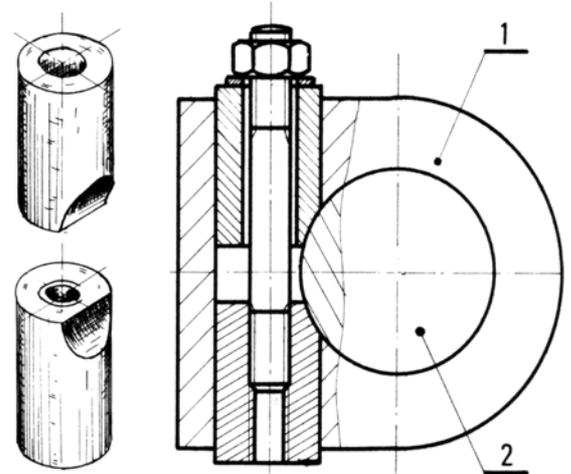
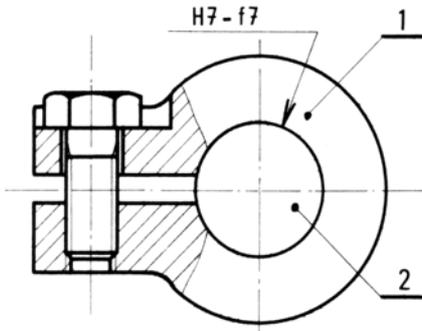
Une amélioration de la liaison de base est faite en usinant un méplat sur l'arbre recevant le bout de la vis.

Cette solution utilisée tel quel ne permet pas une mise position précise.



Pincement et tampons tangents

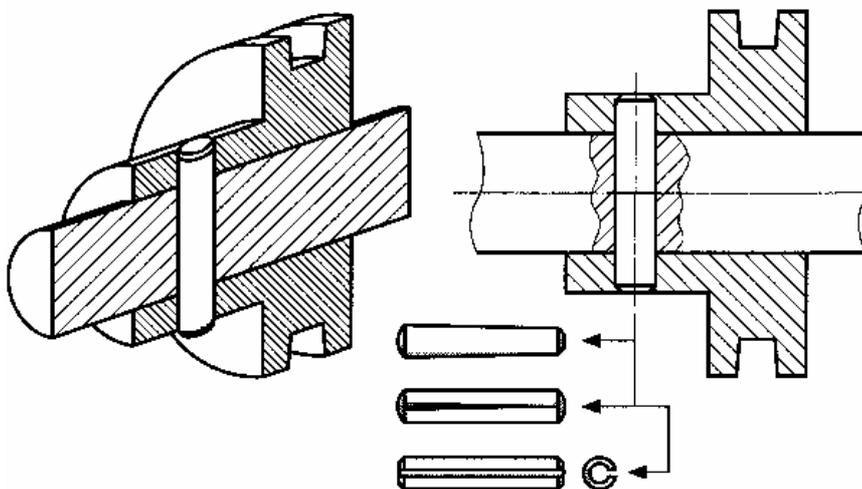
La liaison complète est réalisée par adhérence. Dans le premier cas, le moyeu pince un axe par l'intermédiaire d'un serrage (vis, boulon ou goujon). Dans le second cas, on utilise deux solides intermédiaires dont la forme est montrée sur la figure ci-contre.



6.2 – Annulation des degrés de liberté par obstacle

Goupille

Cette solution est relativement simple, une « tige » vient arrêter la translation et la rotation par un positionnement radial sur la liaison pivot glissant. Cette solution permet de transmettre un couple et un effort axial moyens.



Pour une première approche, on peut évaluer la résistance au cisaillement de la goupille.

Le modèle suivant, plus précis, est le calcul de la pression de matage.

- Données pour le calcul :
- Diamètre arbre : D_A
- Longueur goupille: L
- Diamètre extérieur goupille: D
- Section de la goupille S
- Couple transmis C (ou force F).

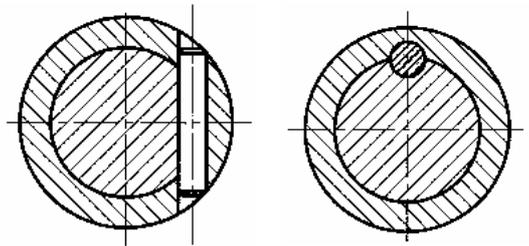
Calcul d'une goupille

Cas du cisaillement

Cas du matage

Remarque :

Certains mécanismes peuvent utiliser ce type de liaison comme limiteur de couple. Le déclenchement du limiteur se traduisant bien sûr par une destruction de la goupille. On peut avoir quelques variantes sur le positionnement de la goupille: Méthode appelée « entre cuir et chair ».



6.3 – Annulation de la rotation

6.3.1 – Elimination de la rotation par obstacle.

Clavette parallèle

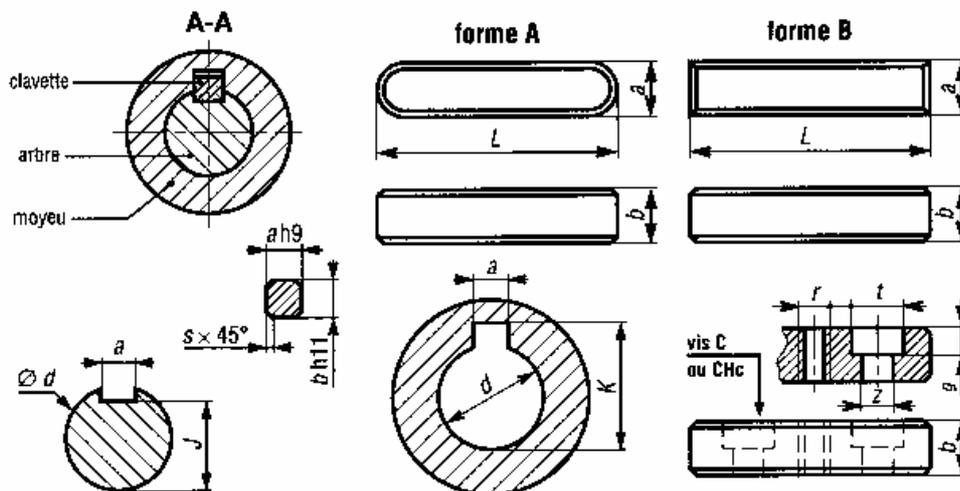
Simple et relativement économiques, elles sont régulièrement utilisées. Le couple transmissible est plus élevé qu'avec les goupilles, mais reste limité.

Elles peuvent être utilisées comme organe de sécurité, seule pièce qui casse en cas de surcharge.

Inconvénient, les rainures affaiblissent les arbres et engendrent des concentrations de contraintes.

Attention, c'est le diamètre de l'arbre qui détermine la section $a \times b$ de la clavette ; c'est un calcul de résistance qui détermine la longueur de la clavette.

Exemple de désignation : clavette parallèle forme B, 14 x 9 x 50.



Clavettes parallèles : principales dimensions normalisées														
		série normale					série mince			cas d'une fixation par vis				
d	a	b	s	J	K	L	b^*	J^*	K^*	vis	t	z	g	r
6 à 8 inclus	2	2	0,08	$d-1,2$	$d+1$	6 à 20								
8 à 10	3	3		$d-1,8$	$d+1,4$	6 à 36								
10 à 12	4	4	0,16	$d-2,5$	$d+1,8$	8 à 45								
12 à 17	5	5	0,16	$d-3$	$d+2,3$	10 à 56	3	$d-1,8$	$d+1,4$					
17 à 22	6	6		$d-3,5$	$d+2,8$	14 à 70	4	$d-2,5$	$d+1,8$	M2,5-6	5	2,9	3	2,5
22 à 30	8	7	0,25	$d-4$	$d+3,3$	18 à 90	5	$d-3$	$d+2,3$	M3-8	6,5	3,4	3,5	3
30 à 38	10	8	0,25	$d-5$	$d+3,3$	22 à 110	6	$d-3,5$	$d+2,8$	M4-10	8	4,5	4,5	4
38 à 44	12	8		$d-5$	$d+3,3$	28 à 140	6	$d-3,5$	$d+2,8$	M5-10	10	5,5	5,5	5
44 à 50	14	9		$d-5,5$	$d+3,5$	36 à 160	6	$d-3,5$	$d+2,8$	M6-10	12	6,6	6,5	6
50 à 58	16	10		$d-6$	$d+4,3$	45 à 180	7	$d-4$	$d+3,5$	M6-10	12	6,6	6,5	6
58 à 65	18	11	0,4	$d-7$	$d+4,4$	50 à 200	7	$d-4$	$d+3,5$	M8-12	16	9	8,5	8
65 à 75	20	12	0,4	$d-7,5$	$d+4,9$	56 à 220	8	$d-5$	$d+3,3$	M8-12	16	9	8,5	8
75 à 85	22	14		$d-9$	$d+5,4$	63 à 250	9	$d-5,5$	$d+3,8$	M10-12	20	11	10,5	10
85 à 95	25	14	0,6	$d-9$	$d+5,4$	70 à 280	9	$d-5,5$	$d+3,8$	M10-12	20	11	10,5	10
95 à 110	28	16		$d-10$	$d+6,4$	80 à 320	10	$d-6$	$d+4,5$	M10-16	20	11	10,5	10

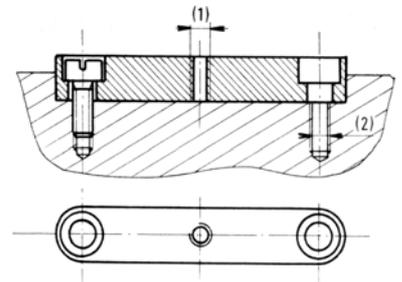
Calcul d'une clavette

Cas du cisaillement

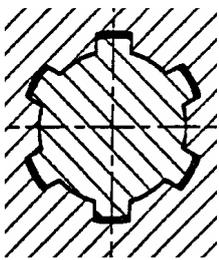
Cas du matage

Le cas du cisaillement n'est valide que pour l'utilisation rarissime d'une clavette en élément de sécurité (Limiteur de couple). Pour une liaison classique, on respectera la limite de matage environ 20 MPa pour un acier de base. La clavette assure la mise en position de θ .

Afin d'augmenter la rigidité de la liaison en rotation, on peut fixer les clavettes parallèles à l'aide de vis. Ce montage est aussi utilisé pour les liaisons glissières.



Cannelures



Les cannelures peuvent être considérées simplement comme un ensemble de clavettes montées sur l'arbre. L'avantage n'est pas seulement la multiplication du nombre de clavettes mais aussi le fait que le cœur de l'arbre n'a pas été usiné.

Elles permettent donc de passer des couples très importants.

Le critère de dimensionnement est bien entendu la pression de matage. Celle-ci peut aller jusqu'à plusieurs dizaines de MPa à condition de choisir des matériaux de qualités, traités et que la translation ne soit pas utilisée. (pas une glissière)

6.3.2 – Elimination de la rotation par adhérence

Vis d'assemblage

La translation est arrêtée d'un côté par un épaulement, elle va être arrêtée de l'autre par les têtes de vis.

L'effort normal créé par ces vis entraîne un couple résistant empêchant la rotation.

On donne la préférence à la rupture de la vis en traction plutôt qu'au cisaillement des filets: Pour respecter cette contrainte il doit y avoir un nombre minimum de filets en prise: plus de 5.

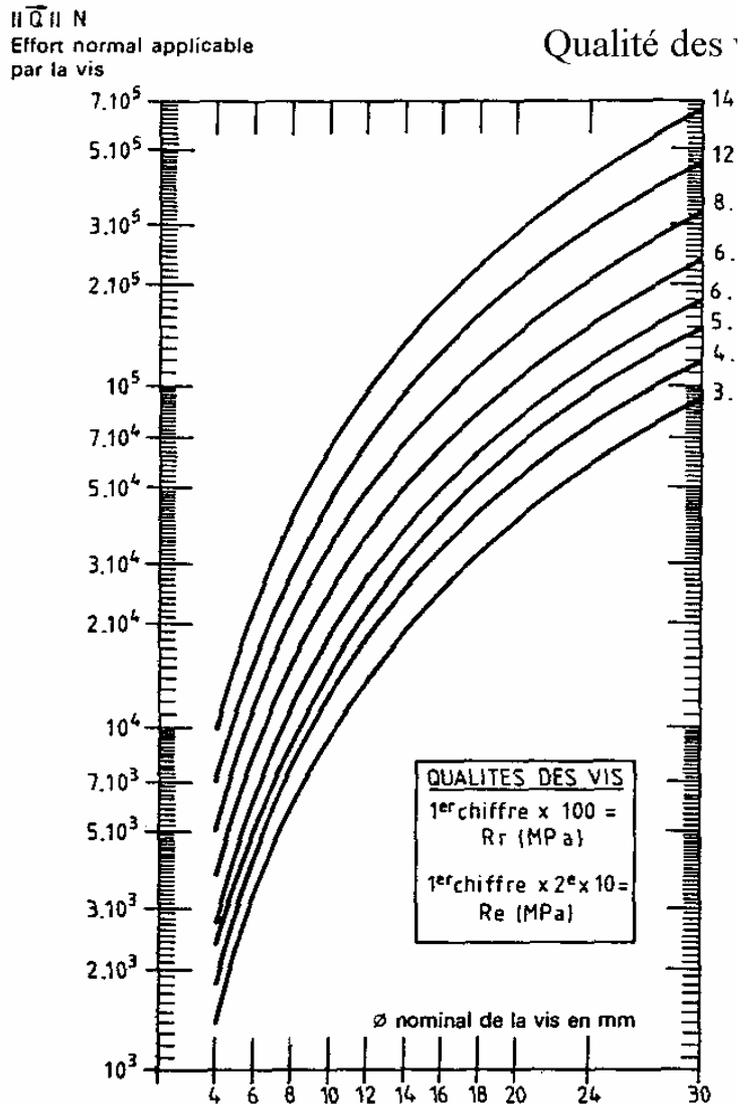
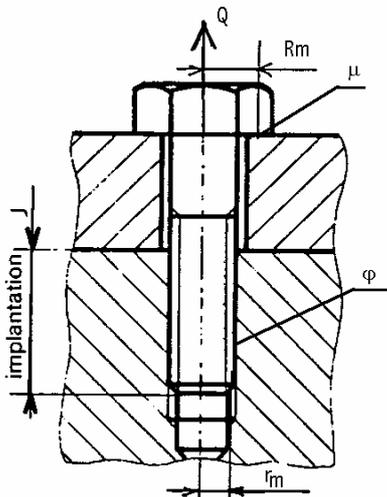
Calcul des conditions de serrage

L'effort normal maximum peut-être calculé avec le couple transmissible de la liaison complète.

Il nous savoir si un type de vis (diamètre et classe de qualité) peut supporter cet effort et si oui quel couple de serrage doit-on appliquer à la clé dynamométrique pour obtenir cet effort.

L'abaque ci-contre me donne l'effort maximum admissible par une vis.

Le couple de serrage sera évaluer par la relation:



Éléments frettés ou emmanchement à force.

Le principe monter un arbre de diamètre supérieur au cylindre dans lequel il est placé.

Si la différence prévue entre les 2 diamètres est acceptable (H7p6 voire r6) Le montage se réalise à la presse , on parle d'emmanchement à force.

Si la différence prévue entre les 2 diamètres est supérieure (H7s6) Le montage se réalise par chauffage du contenant ou refroidissement du contenu ou bien une combinaison des 2 techniques, on parle de frettage.

L'annulation des 2 degrés de liberté se fait donc par adhérence bien qu'il soit courant d'utiliser un épaulement sur l'arbre qui arrête la translation d'un coté et qui permet une mise en position axiale.

La détermination des conditions pour réaliser ce type de liaison se fait par calcul de type élasticité (lois reliant déformations et contrainte dans un solide quelconque, c'est en fait de la RDM de plus élaborée)

La pression du contact alliée au coefficient d'adhérence entre les deux matériaux créent des effort tangentiels pouvant transmettre couple et effort axial.

6.4 – Annulation de la translation

Pour la réalisation de la liaison complète, on doit souvent utiliser deux arrêts en translation, les arrêts étant unilatéraux.

6.4.1 – Elimination de la translation par obstacle

Epaulement

C'est l'arrêt le plus évident. Un changement de diamètre de l'arbre bloque la translation du moyeu. (ou inversement)

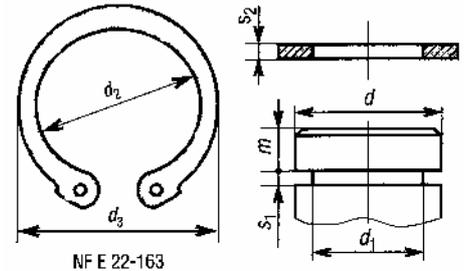
Il supporte des efforts axiaux très importants et assure un bon positionnement axial.

Anneaux élastiques

C'est une pièce rapportée sur l'axe (ou dans l'alésage) qui se monte dans une rainure. C'est également une liaison simple et peu onéreuse.

Les efforts axiaux encaissés sont relativement important et la mise en place d'une rondelle intermédiaire améliore encore ces performances.

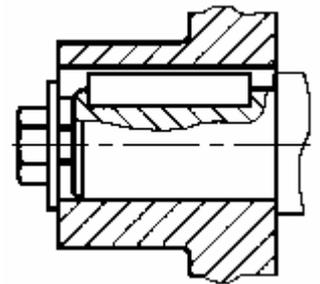
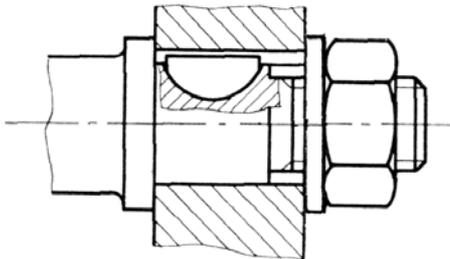
Le positionnement axial n'est pas assuré de manière précise car un jeu en indispensable pour le montage.



Vis en bout + rondelle

Montage encaissant des efforts relativement importants.

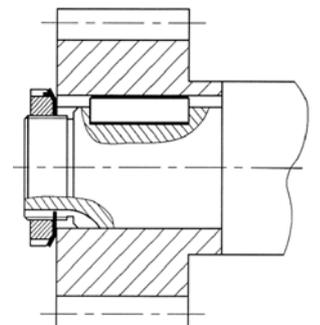
Utiliser avec un épaulement, il permet une mise en position axiale précise (c'est le rôle du plan) et sans jeu (rôle de la vis)



Ecrou en appuis

Différents type d'écrous montés sur l'arbre peuvent servir d'arrêts en translation.

L'écrou à encoches, généralement réservé à l'arrêt des bagues de roulement peut être utilisé quand le besoin s'en fait sentir: Pour éliminer le risque de dévissage, il faut utiliser un frein d'écrou.



6.4.2 – Elimination de la translation par adhérence

Vis de pression.

Pour mémoire.

Pincement

Le moyeu est coupé dans le sens de la longueur, on peut donc facilement modifier son diamètre intérieur en forçant sur la rainure. Une vis de serrage tend à rapprocher les deux faces de la coupures et pince ainsi l'arbre dans le logement.

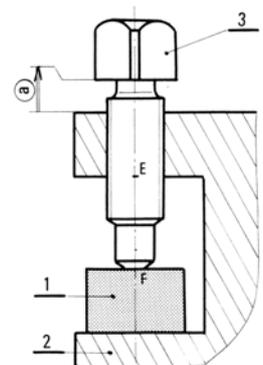
7 – Liaison à surfaces planes prépondérantes

Bien que les liaisons complètes à base d'appuis plans représentent une part importante du nombre des liaisons complètes, les solutions classiques sont moins nombreuses que pour les liaisons encastrés à cylindre prépondérant.

7.1 – Annulation des degrés de liberté par adhérence

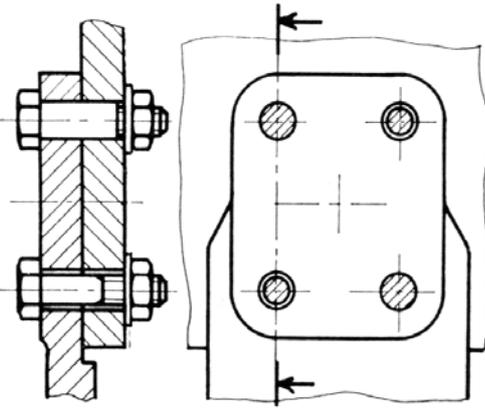
Utilisation de vis de pression

La vis à téton applique un effort axial. L'effort tangentiel induit en F évite le glissement du solide 1 par rapport au support 2.



7.2 – Annulation des degrés de liberté par obstacle

Pieds de centrage et autres appuis



Dans le chapitre précédent, pour assurer une mise en position précise on a ajouté des pieds de centrage, on sortait de l'annulation des degrés de liberté par adhérence.

On peut imaginer toutes sortes d'obstacles venant empêcher les mouvements: Réglettes rapportées, usinages de décrochements sur le plan de base.

8 – Liaison à surfaces coniques prépondérantes

Après usinage des surfaces coniques, il n'y a aucun réglage axial possible. L'usinage d'un

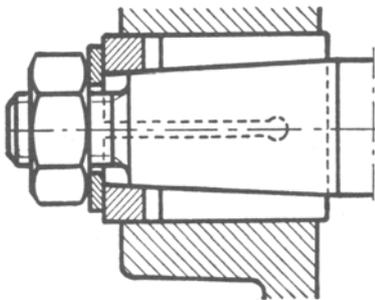
cône est assez difficile et plus coûteux que celui d'un cylindre. Cependant, la liaison est très rigide et elle assure **un très bon centrage** des pièces.

Si la conicité $c = \frac{D-d}{L}$ est faible, il est possible d'obtenir une adhérence maintenue par l'élasticité des pièces qui s'oppose au démontage ; exemple : la goupille conique de conicité $c = \frac{1}{50}$.

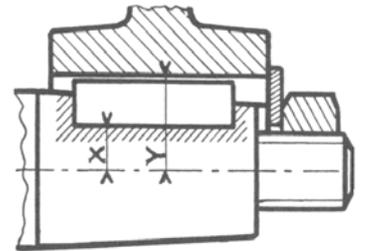
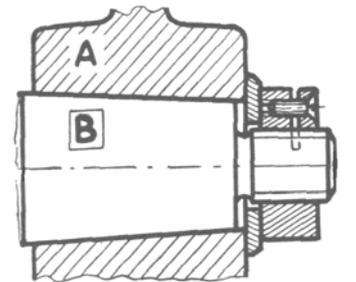
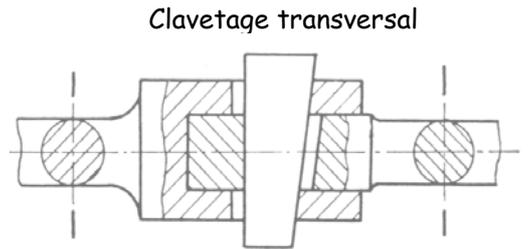
8.1 – Annulation des degrés de liberté par adhérence

L'arrêt en rotation est obtenu par l'adhérence des surfaces coniques.

Il est possible d'utiliser également une douille expansible. Cette technique permet d'avoir une liaison à position réglable ainsi qu'un bon centrage.



8.2 – Annulation des degrés de liberté par obstacle



9 – Liaison indémontable

Les méthodes de liaisons complètes indémontables n'ont pas été citées à l'exception du frettage.

On peut rappeler : La soudure, le collage, le rivetage.



Annexe

La liaison complète démontable

Présentation structurée des familles de solutions

Deux parties dans la réalisation d'une liaison complète démontable :
la mise et le maintien en position des solides à lier.

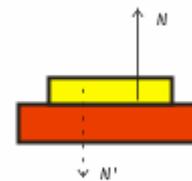
Mise en position

♦ liaison à appui plan prépondérant ;

maintien en position

- pour supporter un effort normal au plan
 - vis d'assemblage,
 - boulon, goujon,
 - vis de pression,
 - vis de blocage,
 - bridage,
 - came ou excentrique.

- pour supporter un effort parallèle au plan
 - vis d'assemblage,
 - boulon, goujon,
 - vis de pression,
 - pieds de centrage,
 - serre-joints (arc-boutement),
 - lardons.

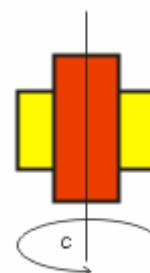
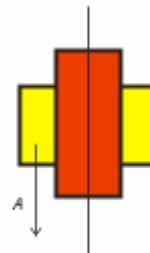


♦ liaison à surfaces cylindriques de révolution prépondérantes ;

maintien en position

- pour supporter un effort axial faible
 - goupillage,
 - vis de pression,
 - vis arrêtoir,
- pour supporter un effort axial moyen
 - bague d'arrêt,
 - anneau élastique,
 - tampons tangents, pincement.
- pour supporter un effort axial élevé
 - clavetage transversal,
 - bout fileté et rondelle,
 - épaulement sur l'arbre,

- pour supporter un couple faible
 - ergot,
 - vis à bout pointu,
 - goupillage.
- pour supporter un couple moyen
 - clavette vélo,
 - pincement,
 - tampons tangents.
- pour supporter un couple élevé
 - clavetage longitudinal,
 - arbre cannelé,

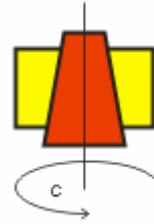
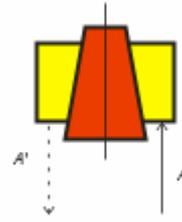


- profils polygonaux.

♦ **liaison à surfaces coniques prépondérantes ;**

maintien en position

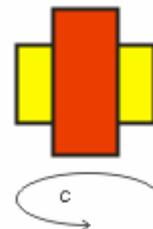
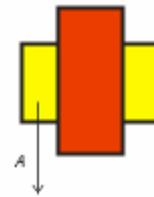
- pour supporter un effort axial A
 - bout fileté et écrou,
 - vis et rondelle,
 - clavetage transversal.
- pour supporter un effort axial A'
 - forme conique.
- pour supporter un couple faible
 - coincement.
- pour supporter un couple moyen
 - bout fileté et écrou,
 - vis et rondelle.
- pour supporter un couple élevé
 - bout fileté et écrou,
 - vis et rondelle,
 - clavetage transversal.



♦ **liaison à surfaces prismatiques prépondérantes.**

maintien en position

- pour supporter un effort axial faible
 - goupillage,
 - vis à bout pointu,
 - vis de blocage.
- pour supporter un effort axial moyen
 - bout fileté et écrou,
 - vis et rondelle.
- pour supporter un effort axial élevé
 - épaulement.
- pour supporter un couple
 - la forme suffit.



Remarque : classement possible par maintien en position par obstacle et/ou par adhérence.