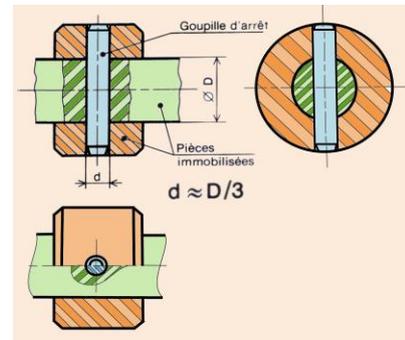
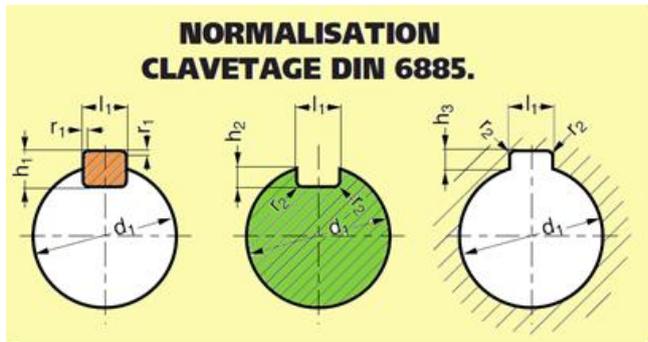


Etude et conception des ensembles mécaniques

Dimensionnement des obstacles (clavettes et goupilles)



Problématique

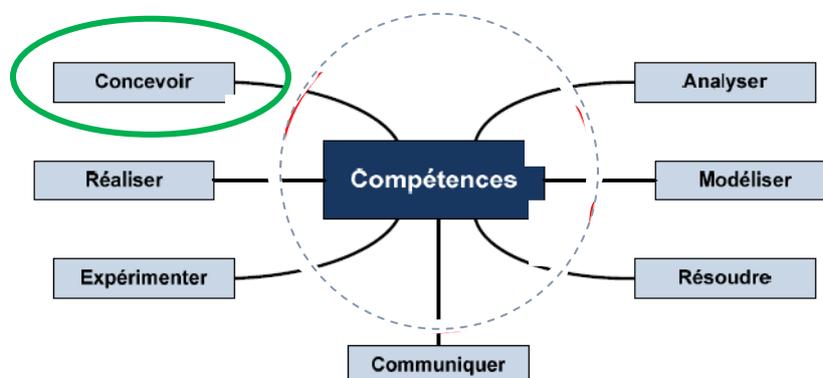
PROBLÉMATIQUE :

- Décrire ou choisir les solutions technologiques réalisant un encastrement.
- Représenter une solution complète avec les conditions de fonctionnement.

Savoir

SAVOIRS :

- Définir et caractériser une fonction d'assemblage.
- Principes d'immobilisation par obstacle(s) ou par adhérence.
- Familles de solutions, critères de choix, solutions techniques par plan prépondérant, cylindre prépondérant, cône prépondérant.
- Conditions d'utilisations et calculs relatifs à la transmission d'un couple ou d'un glisseur.





1. Les obstacles dans les liaisons arbre / moyeu

Les **systèmes arbre / moyeu** permettent de **lier en rotation** un arbre avec un moyeu (ex : poulie, roue dentée...) et surtout participent à la **transmission de puissance**. Les 3 principaux obstacles couramment utilisés sont : **les goupilles, les clavettes et les cannelures**.

Solutions	EXEMPLES	Critères de choix
<p>Goupille :</p> <p>Une cheville métallique traverse les deux pièces assemblées.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Simplicité de la solution - Affaiblissement de la résistance de l'arbre - Coût peu élevé - Couple transmissible peu élevé
<p>Clavette :</p> <p>La clavette 34 permet de supprimer la rotation de 30 par rapport à 35.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Bonne transmission de couple - Eléments standards - Couple transmissible modéré
<p>Cannelures :</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Couple transmissible élevé - Coût élevé

Afin de **valider les solutions** technologiques choisies en **encombrement et en résistance**, il est nécessaire de **dimensionner** ces obstacles selon les **modèles de calculs** présentés ci après.

2. Les critères de choix des obstacles

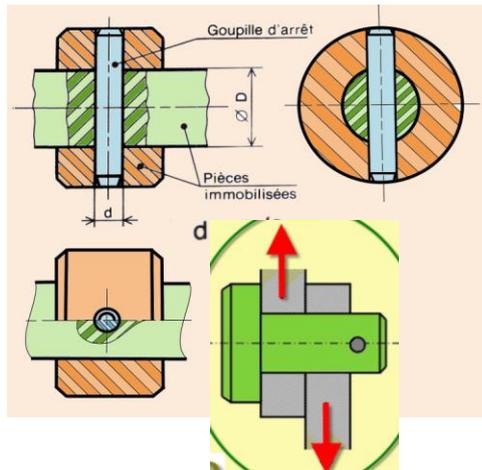
On choisira une solution plutôt qu'une autre en fonction (cf tableau ci-dessus):

- du **montage / démontage** de la liaison (fréquence souhaitée, outillage à disposition...),
- des **coûts de fabrication**,
- de la **résistance en fonctionnement** désirée.

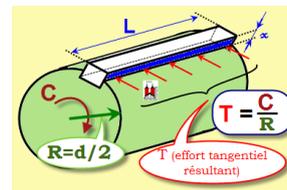
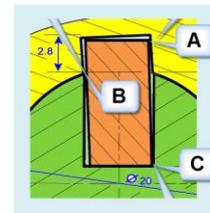
3. Les sollicitations encaissées par les obstacles

Nous verrons en résistance des matériaux (RDM) que les sollicitations principales encaissées par les pièces d'un mécanisme peuvent être : la **TRACTION**, la **FLEXION**, la **TORSION** et le **CISAILLEMENT**.

Exemple pour les obstacles :



Cisaillement d'une goupille



Matage d'une clavette

4. Notion de résistance mécanique et de coefficient de sécurité

Pour que l'assemblage arbre / moyeu résiste, il faut prendre en compte que les conditions nominales d'utilisation sont jamais celles servant à la base des validations de dimensionnement. Pour alléger les modèles de calculs, nous faisons des **hypothèses simplificatrices**.

Afin de ne pas avoir de surprise en utilisation, on prend en compte **un coefficient de sécurité (s)** qui dépendra : du type de charge, de la nature de la transmission de puissance, du mode d'élaboration de la pièce, de la température....

Exemples : en construction classique ($1 < s < 2$), en matériel routier ($2 < s < 3$), système de levage ($3 < s < 5$), aéronautique ($s > 10$)....

4.1. Résistance prise en compte dans le cas d'une sollicitation normale de TRACTION-FLEXION

La résistance du matériau est pondérée d'un coefficient de sécurité et on l'appelle :

$$R_{pe} \text{ (résistance pratique élastique) : } R_{pe} = \frac{R_e}{s}$$

4.2. Résistance prise en compte dans le cas d’une sollicitation tangentielle de CISAILEMENT et TORSION

En cisaillement ou torsion, on ne tient pas compte de R_e (limite élastique), mais de **limite élastique au glissement R_g** qui est défini ainsi :

- Pour un matériau **ductile** : $R_g = 0.5.R_e$
- Pour un matériau **fragile** : $R_g = R_e$

La résistance du matériau est minorée et on l’appelle **Rpg (résistance pratique au glissement)** : $R_{pg} = \frac{R_g}{s}$

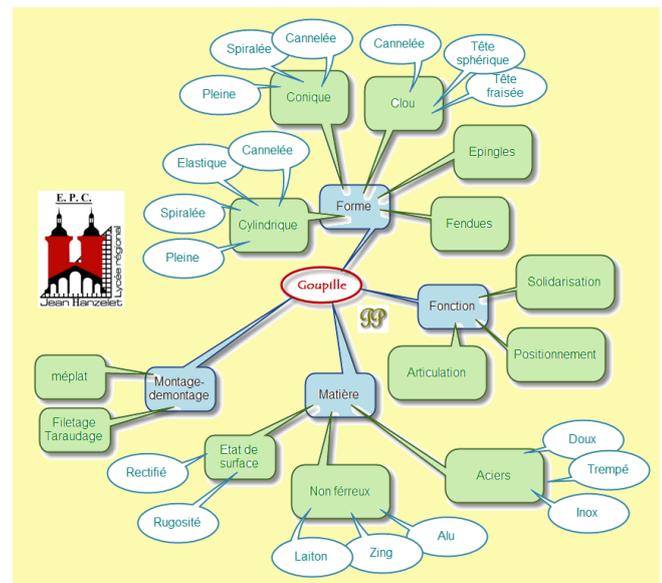
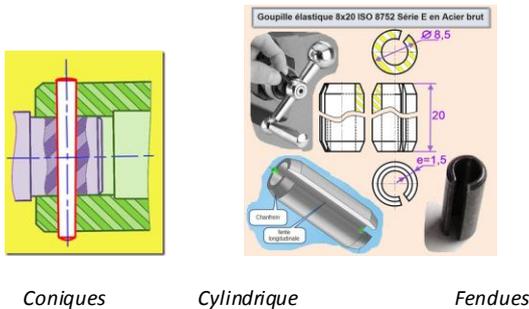
5. Dimensionnement d’une GOUPILLE

On considère que la goupille est un élément **sollicité au CISAILEMENT**. Ceci est vérifié lorsqu’elle est montée sans jeu. Plusieurs sections peuvent être sollicitées au cisaillement.

5.1. Les différents types de goupilles

Il existe un grand nombre de goupilles suivant l’application recherchée. Elles varient en formes, fonction, conditions de montage...Il faut **percer les 2 pièces** à assembler pour venir ensuite loger la goupille.

Les plus classiques :



5.2. Dimensionnement

L’objectif du dimensionnement est de **déterminer le diamètre mini de la goupille** en fonction des **sollicitations encaissées** et de ses **caractéristiques** (type, matériau...).

Données :

La liaison pièce / goupille transmet soit un **couple C** ou un **effort axial F**.

Le matériau de la goupille a une résistance R_e et on a vu que sa **résistance au glissement** (cisaillement) :

$R_g = 0.5 * R_e$ (matériaux ductiles).

Une goupille est cisailée en 1 ou plusieurs **sections : n**

Un **coefficient de sécurité** est souvent appliqué : s



 Conception des ensembles mécaniques : dimensionnement des obstacles

Calcul de l'effort tangentiel appliqué à la goupille :

Effort T dans chaque section :

$n.T = C/(d/2)$ avec d : diamètre de l'arbre
soit :

$$T = C/n.(d/2)$$

Contrainte tangentielle :

L'effort tangentiel provoque une contrainte tangentielle moyenne :

$$\tau = T/S \quad \text{avec } S : \text{section cisailée de la goupille}$$

Les conditions d'utilisation de la goupille permettent de définir la **résistance pratique au cisaillement** :

$$R_{pg} = R_g/s$$

Condition de résistance au cisaillement :

La contrainte tangentielle de cisaillement doit donc être inférieure à R_{pg} :

$$\tau < R_{pg}$$

On en déduit : $T/S < R_{pg}$

D'où, pour une goupille cylindrique, son diamètre d :

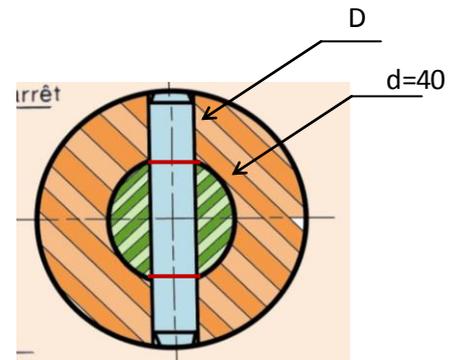
$$D > \sqrt{\frac{4.T}{\pi \cdot R_{pg}}}$$

Conclusion : On choisit ensuite parmi les dimensions normalisées, une goupille dont le diamètre d est $>$ à celui qui a été calculé.

Exemple d'application :

Un pignon est monté sur un arbre de diamètre $D=40\text{mm}$. L'entraînement en rotation est réalisée par une goupille cylindrique de diamètre d .

L'arbre est sollicité par un couple $C = 30\text{N.m}$



La goupille est en matériau ductile dont $R_e = 240\text{ Mpa}$. Il s'agit d'un assemblage classique avec un coefficient de sécurité $s = 2$.

Calculez d mini et choisissez la goupille adaptée :

$n = 2$ sections cisailées

$T = C/n.(d/2)$, soit $T = 30000/2.20$, $T = 750\text{ N}$

$R_g = R_e / 2 = 120\text{ Mpa}$, donc $R_{pg} = R_g/s = 60\text{ Mpa}$

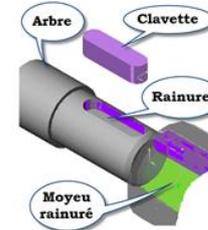
On en déduit : $D > \sqrt{\frac{4.750}{\pi \cdot 60}}$

Soit $D > 3.98\text{mm}$

On prendra une **goupille cylindrique 4x40**

6. Dimensionnement d'une CLAVETTE

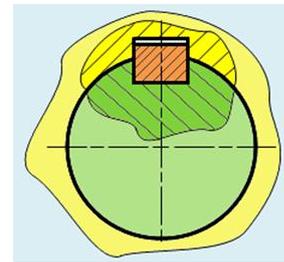
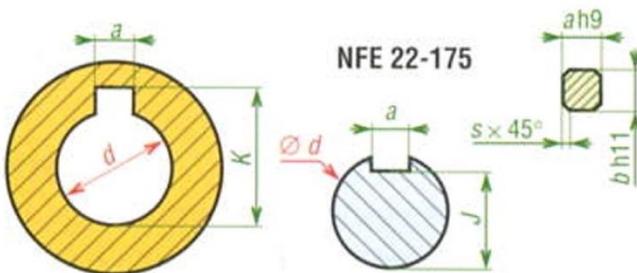
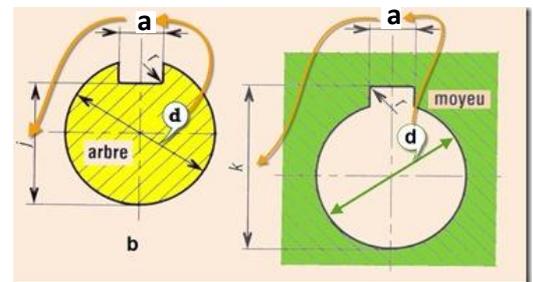
Une clavette est un **élément standard normalisé** utilisé pour une transmission de puissance en rotation ou dans le cas d'une liaison glissière (guidage). Il existe différents types de clavettes. Dans tous les cas, il faut réaliser une **rainure par fraisage** (bout ou disque) **dans l'arbre** et par **brochage dans l'alésage**, pour venir la loger.



6.1. Principe général

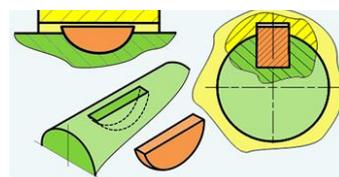
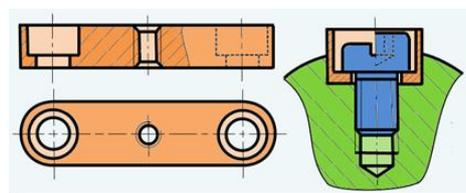
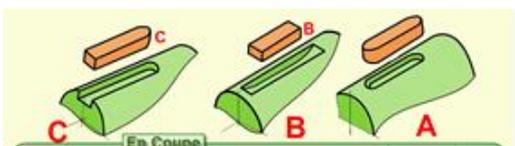
Les dimensions d'une clavette sont normalisées. Voici les principales cotes à retenir :

- $d = \text{diamètre arbre} = \text{diamètre moyeu}$
- $a = \text{largeur clavette}, b = \text{hauteur clavette}$
- j et $k = \text{cotes profondeur rainure}$



6.2. les différents types de clavettes

Les clavettes les plus utilisées sont les **parallèles de type A (arrondies)** et les **disques**. Mais on trouve aussi des clavettes de type B ou renforcées par des vis.





6.3. Dimensionnement

L'objectif du dimensionnement est de **déterminer la longueur mini de la clavette** en fonction des **sollicitations encaissées** et de ses **caractéristiques** (type, matériau...).

Deux critères peuvent être vérifiés :

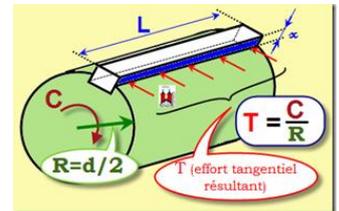
- **Résistance au cisaillement**
- **Résistance au matage.**

La sollicitation au cisaillement n'étant pas déterminante, seul le critère au matage doit être vérifié.

6.3.1. Notion de matage

L'écrasement latéral de la clavette sous la pression = **MATAGE = déformation.**

Le critère de résistance au matage assure que la pression au droit des surfaces en contact reste **inférieure à la pression maximale admissible par les matériaux.**

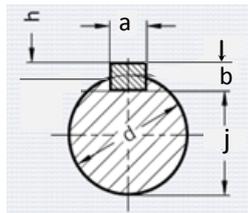


Pression de matage p telle que : **$p < padm$**

Les principales valeurs de Padm selon l'utilisation :

Vous aurez au concours les tableaux ci-dessous. On trouve, en fonction du diamètre de l'arbre, la section de la clavette (a*b), puis la valeur de la cote j (donnant profondeur rainure) et enfin la hauteur de la clavette sortant de l'arbre h. Voir exemple ci-dessous.

Section nominale		/		s		Section nominale		/		s		Pressions admissibles (Pa)				
a	x	b (1)	de	à	min.	max.	a	x	b (1)	de	à	min.	max.	Montage	Conditions de fonctionnement	Pression admissible (MPa)
2	2	6	20	0,16	0,25	12	8	28	140	0,4	0,6			Glissant en charge	à coups, vibrations	0,5 < Pa < 2
3	3	6	36	0,16	0,25	14	9	36	160	0,4	0,6				cas général	2 < Pa < 6
4	4	8	45	0,16	0,25	16	10	45	180	0,4	0,6				très doux	6 < Pa < 10
5	5	10	56	0,25	0,4	18	11	50	200	0,4	0,6			Glissant sans charge	à coups, vibrations	6 < Pa < 10
6	6	14	70	0,25	0,4	20	12	56	220	0,6	0,8				cas général	10 < Pa < 30
8	7	18	90	0,25	0,4	22	14	63	250	0,6	0,8				très doux	30 < Pa < 60
10	8	22	110	0,4	0,6									Fixe	à coup, vibrations	10 < Pa < 20
															cas général	20 < Pa < 40
															très doux	40 < Pa < 90



Donné au concours

7.4.3. Clavetages par clavettes parallèles NF E 27-175
 - Désignation : - clavette libre de 12 x 8 x 40, NF E 27-175
 (1) A titre indicatif pour les cas les plus courants.
 La section de clavette correspondante est la plus forte section admissible pour l'arbre considéré : l'emploi d'une clavette de section plus faible reste admis si la résistance de cette clavette est suffisante pour l'effort à transmettre.
 (2) Le congé de rayon r peut être remplacé par un chanfrein de même valeur.

Arbre (1)	clavette	logement de clavette				Arbre (1)	clavette	logement de clavette			
d	Section nominale	a	j	k	r (2)	d	Section nominale	a	j	k	r (2)
	nom.	nom.	tol.	nom.	max. min.		nom.	nom.	tol.	nom.	max. min.
de 6	2 x 2	2	d - 1,2	0	+100	au-delà de 12	5 x 5	5	d - 3	0	+100
jusqu'à 8											
au-delà de 8	3 x 3	3	d - 1,8	0	+100	au-delà de 17	6 x 6	6	d - 3,5	0	+100
jusqu'à 10											
au-delà de 10	4 x 4	4	d - 2,5	0	+100	au-delà de 22	8 x 7	8	d - 4	0	+200
jusqu'à 12											

Ex : si **d=10mm**, section = **a*b = 4*4**, **j=d-2.5** donc **h=b-(d-j)=4-2.5=1.5mm**



6.3.2. Dimensionnement d'une clavette au matage

Données :

La clavette est normalisée. A partir du diamètre de l'arbre on trouve dans tableau a, b, j et donc on en déduit h. Seule la longueur **L est à déterminer**.

La liaison transmet un couple C.
 L'arbre a un diamètre d.
 Le moyeu et la clavette sont caractérisés par Re.
 Les conditions de fonctionnement imposent une p_{maxadm} .

Calculs :

L'effort moyeu/clavette (résultant du couple à transmettre) soumet la clavette à une **pression de contact uniforme** sur le 1/2 flanc en contact.

Effort exercé par le moyeu :

$$F = C / (d/2)$$

Pression de contact : $p = F / S$, avec $S = L \cdot h$

et h : hauteur 1/2 flanc, $h = b - (d - j)$

donc $p = F / (L \cdot h)$

La condition de résistance au matage :

$$p < p_{adm}$$

Soit : $F / (L \cdot h) < p_{adm}$

Donc : $L > \frac{F}{h \cdot p_{adm}}$

La longueur réelle de la clavette :

Suivant la forme de la clavette, sa longueur réelle devra être :

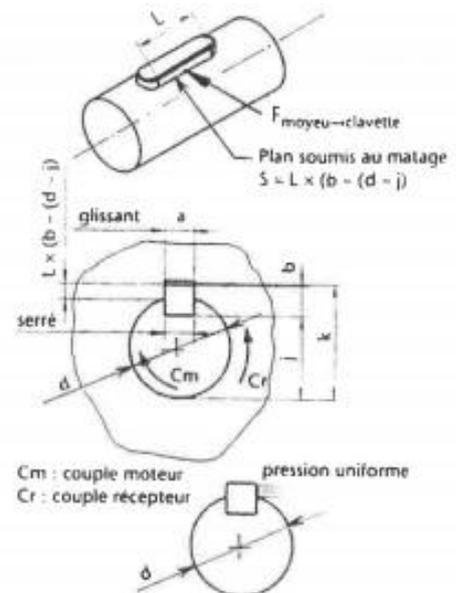
- Forme A : $L_{réelle} = L + a$
- Forme B : $L_{réelle} = L$

Enfin il faut vérifier : $L/d < 1.5$ (limitation longueur / torsion)

Exemple d'application :

Une liaison arbre/moyeu transmet un couple $C = 60N.m$, l'arbre a un diamètre $d = 40mm$ et on monte une clavette de forme A dont les dimensions sont : $a = 12, b = 8, (d - j) = 5$

Conditions de fonctionnement : fixe avec $p_{adm} = 45Mpa$



Calculez la longueur mini L de la clavette :

$F = 60000 / (40/2)$, donc $F = 3000N$

$L > 3000 / (8 - 5 \cdot 45)$, donc $L > 22.2mm$

Conclusion :

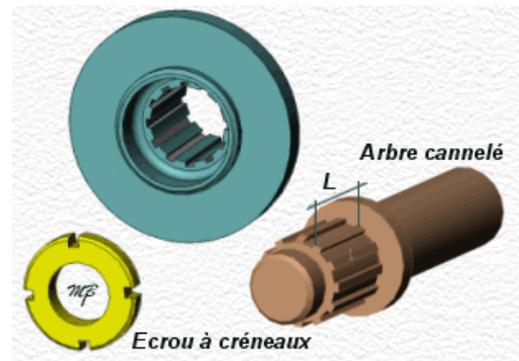
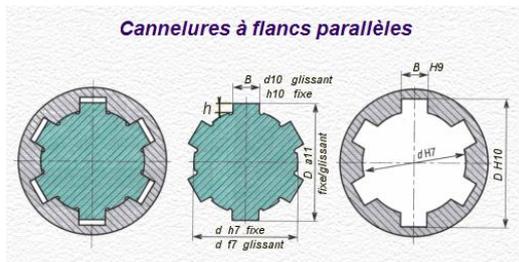
$L_{utile} = 23mm$, pour une **forme A**, $L = 23 + 12$
 Donc **L = 35mm**

Enfin, $L/d = 35/40 < 1.5$ donc OK.

7. Les CANNELURES à flancs parallèles

Les cannelures permettent de transmettre des **couples importants**.
Elles sont **taillées par brochage**.

Se sont les plus utilisées car d'un coût de fabrication pas trop élevé.



ATTENTION : le dimensionnement des cannelures n'est pas au programme mais on pourra vous demander de les dessiner dans un assemblage.