

Résumé Semaine 10

Tolérancement dimensionnel III

Dr. S. Soubielle

S. Soubielle

1

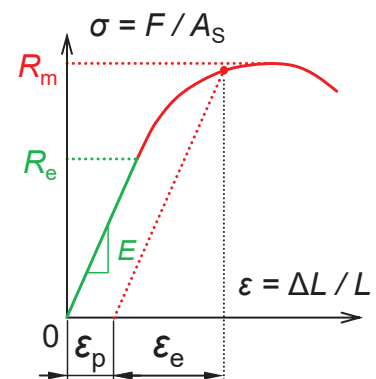
Résumé semaine 10

ME-101 / ME-106 – Construction Mécanique I

Comportement mécanique des solides

• Loi de déformation des matériaux

- Caractérisée par essai de traction
- Matériaux usuels en constr. méca.
→ comportement **élasto-plastique**
- Domaine élastique → $\sigma = E \cdot \varepsilon$



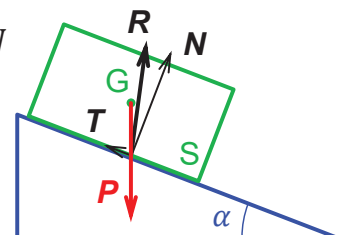
• Contact frottant entre solides

– Défini par les lois de Coulomb

- Si pas de mvt → $T_{\max} = \tan(\delta_0) \cdot N = \mu_0 \cdot N$
- Si glissement → $T = \tan(\delta) \cdot N = \mu \cdot N$

– Caractérise le frottement sec

- Valable si pas de phénomènes visqueux
- Largement utilisé en construction méca. pour prédire les forces



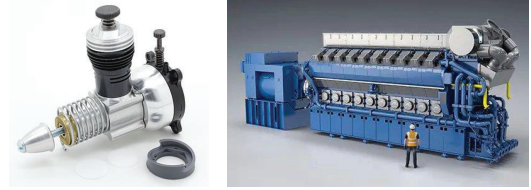
S. Soubielle

2

Fonctions d'assemblage et tolérances

- **Fonctions d'assemblage**

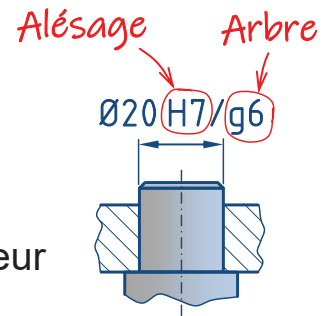
- $J_{\min}$ et $J_{\max}$ doivent être adaptés aux dimensions nominales pour obtenir le caractère souhaité de l'ajustement



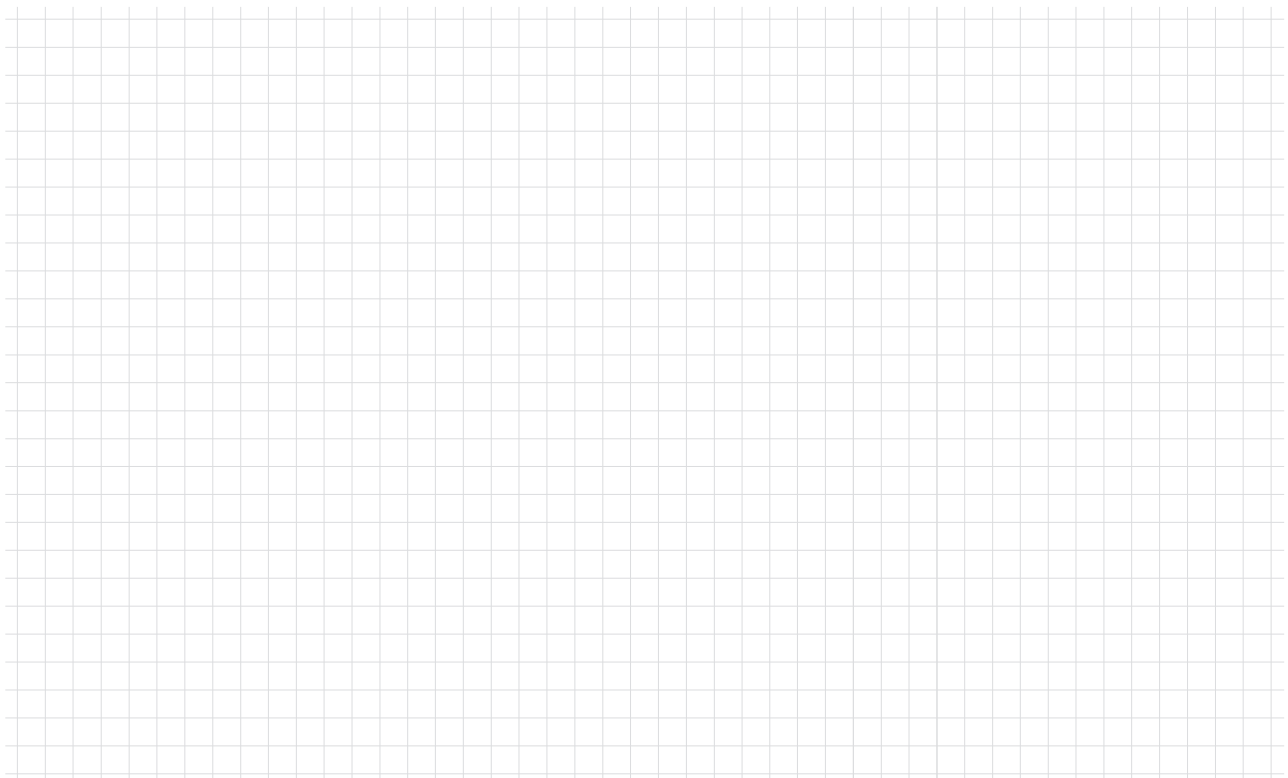
- Impact sur les écarts limites supérieur et inférieur

- **Système ISO de tolérances**

- Écriture codifiée des int. de tolérance
- Ajustement ISO → même comportement quelle que soit la dim. nominale de l'interface
- Valeurs numériques des écarts limites supérieur et inférieur → données par deux tableaux
- Ajustements ISO usuels : à alésage normal (et à arbre normal)



Quiz TurningPoint (me101)



Systèmes mécaniques II

Sous-ensembles mobiles,
mécanismes,

Liaisons et schémas cinématiques

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

... Caractériser ce qu'est un mécanisme

- ... Constitué de plusieurs sous-ensembles de pièces
- ... Mobiles les uns par rapport aux autres
- ... Liés entre eux par des interfaces de contact
- ... Permettant d'empêcher certaines composantes de mouvement

... Présenter le concept de liaison mécanique

- ... Résultant de la combinaison des interfaces de contact
- ... Concept de degré de liberté et de degré de liaison
- ... Présentation des 11 liaisons cinématiques normalisées
- ... Présentation du schéma cinématique

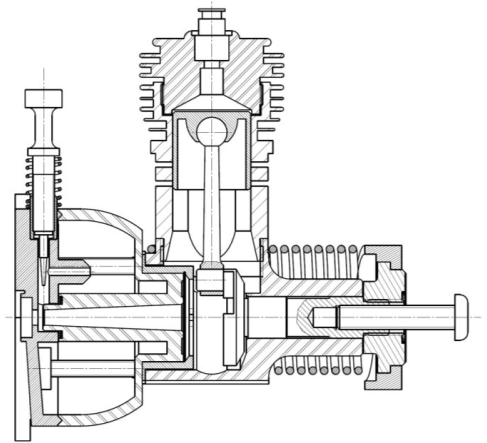
Sous-ensembles de pièces et mécanisme

• Sous-ensemble mobile (SEM)

- Ensemble de pièces en assemblage statique les unes par rapport aux autres
- Peut être mobile ou non par rapport au référentiel
- P.ex. : SEM bloc moteur

• Si plusieurs SEM

- Mouvements (rotations et/ou translations) rendus possibles entre les SEM
- Certaines composantes de mvt sont empêchées / bloquées
 - P.ex. : SEM **arbre de sortie** vs. SEM **bloc moteur**



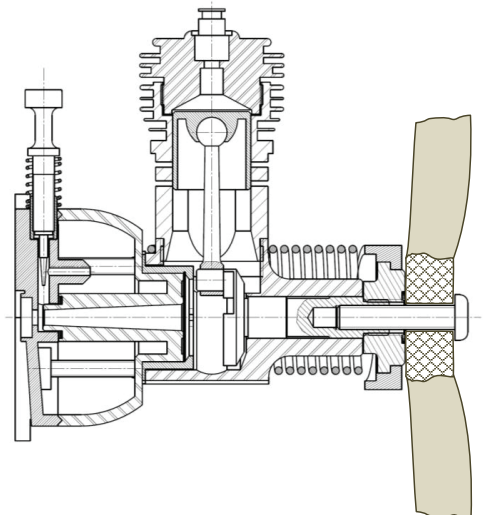
Blocage de mouvement (1/2)

• Par serrage

- Forces de frottement statique
- Blocage total = « liaison statique » entre les pièces / SEM

• Par obstacle

- Présence d'un obstacle physique
- Blocage partiel ou total : certaines composantes de mouvement peuvent être rendues encore possible



• Ex. de la liaison arbre de sortie / hélice (blocage total)

- **Blocage axial par obstacle** → embase à gauche / vis à droite
- **Blocage en rotation par serrage** de la vis
 - Force normale au contact → transmission du couple

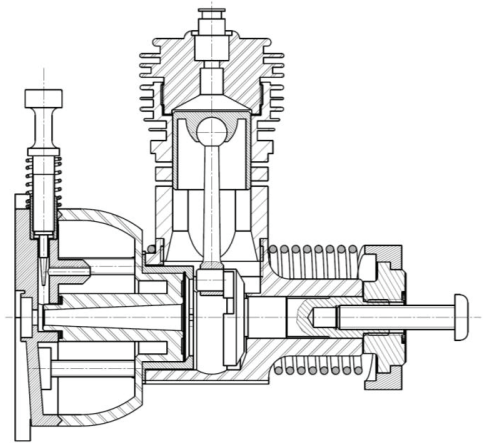
Blocage de mouvement (2/2)

- **Interfaces de contact usuelles**

- Contact plan / plan
- Contact cylindre / cylindre

- **Combinaison de plusieurs interfaces de contact**

- On ne garde que les composantes de mouvement souhaitées
- La solution obtenue est appelée « liaison mécanique »



- **Exemple du micro-moteur**

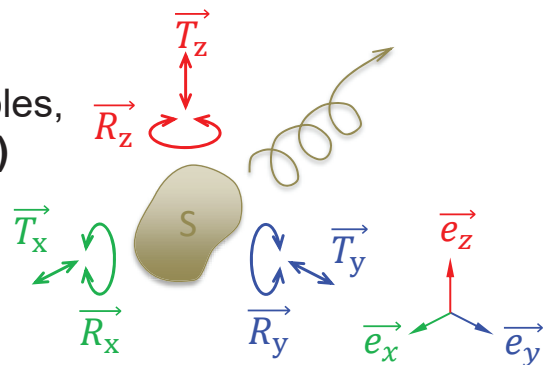
- **SEM arbre vs. SEM bloc moteur** → 1 cyl. / cyl. + 2 plan / plan
→ 1 rotation possible (axiale)
- **Piston vs. SEM bloc moteur** → 1 cyl./cyl. → 1 rot. + 1 trans.

Liaison mécanique & cinématique (1/3)

- **Solide libre dans l'espace**

6 composantes de mouvement possibles, appelées « **degrés de liberté** » (DDL)

- 3 translations → T_x, T_y, T_z
- 3 rotations → R_x, R_y, R_z



- **Liaison mécanique**

- Chaque interface de contact empêche un ou plusieurs DDL
- Chaque DDL empêché est appelé « **degré de liaison** »

- **Les 11 liaisons cinématiques**

- 11 combinaisons de DDL possibles
- Chaque liaison cinématique possède un symbole normalisé

Liaison mécanique & cinématique (2/3)

• Les 11 liaisons mécaniques (1/2)

Désignation	Représentation schématisée	Image animée	Degrés de liberté	Degrés de liaison
Pivot (d'axe $\vec{e}_x$)			R_x	$T_x = T_y = T_z = 0$ $R_y = R_z = 0$
Glissière (de direction $\vec{e}_x$)			T_x	$T_y = T_z = 0$ $R_x = R_y = R_z = 0$
Pivot glissant (d'axe $\vec{e}_x$)			T_x R_x	$T_y = T_z = 0$ $R_y = R_z = 0$
Hélicoïdale (d'axe $\vec{e}_x$ et de pas P)			R_x $(=2\pi/P.T_x)$	$T_x = P/2\pi.R_x$ $T_y = T_z = 0$ $R_y = R_z = 0$
Appui plan (de normale $\vec{e}_z$)			T_x, T_y R_z	$T_z = 0$ $R_x = R_y = 0$

S. Soubielle

7

Liaison mécanique & cinématique (3/3)

• Les 11 liaisons mécaniques (2/2)

Désignation	Représentation schématisée	Image animée	Degrés de liberté	Degrés de liaison
Appui ponctuel (de normale $\vec{e}_z$)			T_x, T_y R_x, R_y, R_z	$T_z = 0$
Linéaire rectiligne (d'axe $\vec{e}_x$ et de normale $\vec{e}_z$)			T_x, T_y R_x, R_z	$T_z = 0$ $R_y = 0$
Linéaire annulaire (de direction $\vec{e}_x$)			T_x R_x, R_y, R_z	$T_y = 0$ $T_z = 0$
Rotule			R_x, R_y, R_z	$T_x = 0$ $T_y = 0$ $T_z = 0$
Rotule à doigt (rotation selon $\vec{e}_y$ bloquée)			R_x, R_z	$T_x = T_y = T_z = 0$ $R_y = 0$

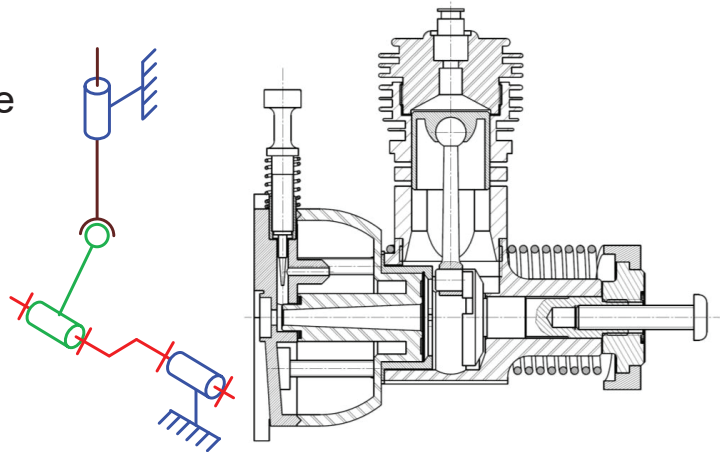
S. Soubielle

8

Schéma cinématique (1/2)

• Principe

- Représentation simplifiée du mécanisme
- 1 couleur par SEM
- Symboles normalisés pour les liaisons mécaniques entre SEM



• Intérêt & utilisation

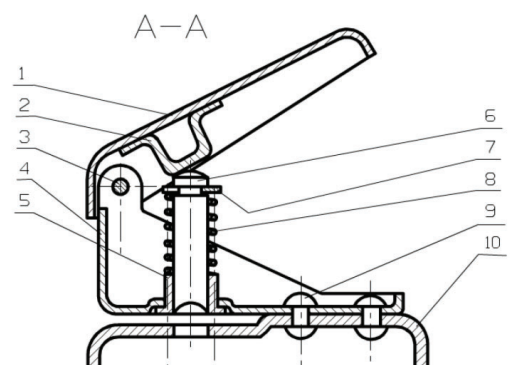
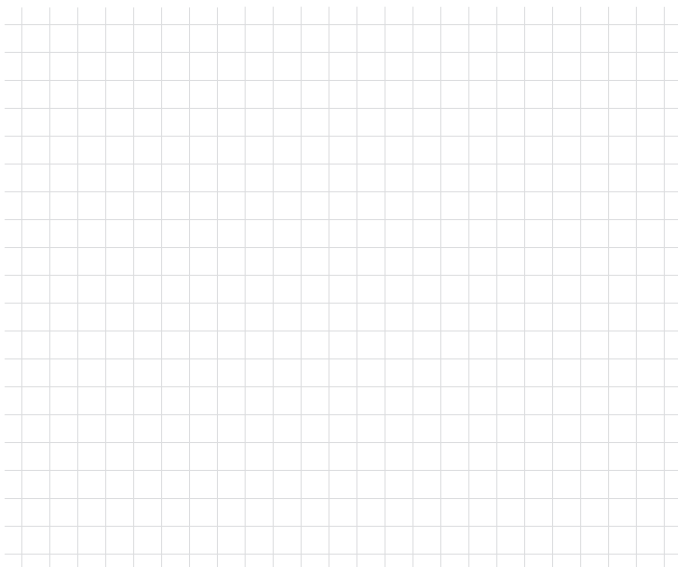
- **Visualisation simplifiée des SEM et des mvts possibles**
 - Outil de compréhension d'un mécanisme existant
 - Outil de conceptualisation lors d'une conception mécanique
- **Paramétrisation des variables cinématiques**
 - Outil d'analyse / de contrôle des mouvements

Schéma cinématique (2/2)



Exercice d'application – perforatrice de bureau

1. Identifier les SEM, puis les liaisons cinématiques entre les SEM
2. Tracer le schéma cinématique



Références normatives principales

ISO 3952 Schémas cinématiques — Symboles graphiques

Notes personnelles



Assemblages boulonnés I

Principe, filetage métrique,
procédés de fabrication du filetage

Dr. S. Soubielle



Dans ce cours, nous allons...

... Décrire la fonction d'un assemblage boulonné

- ... Sollicitations mécaniques dans les pièces mises en jeu
- ... Fonctions et caractéristiques du filetage

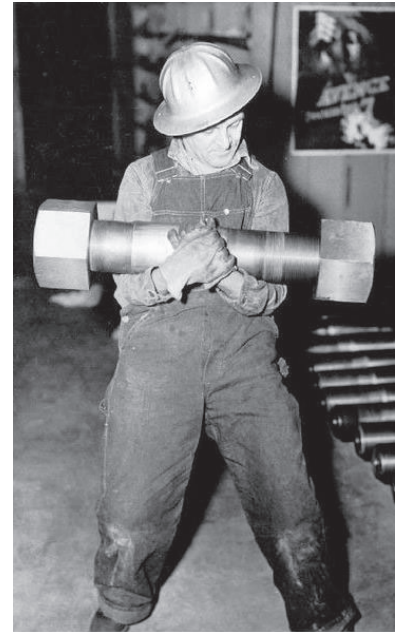
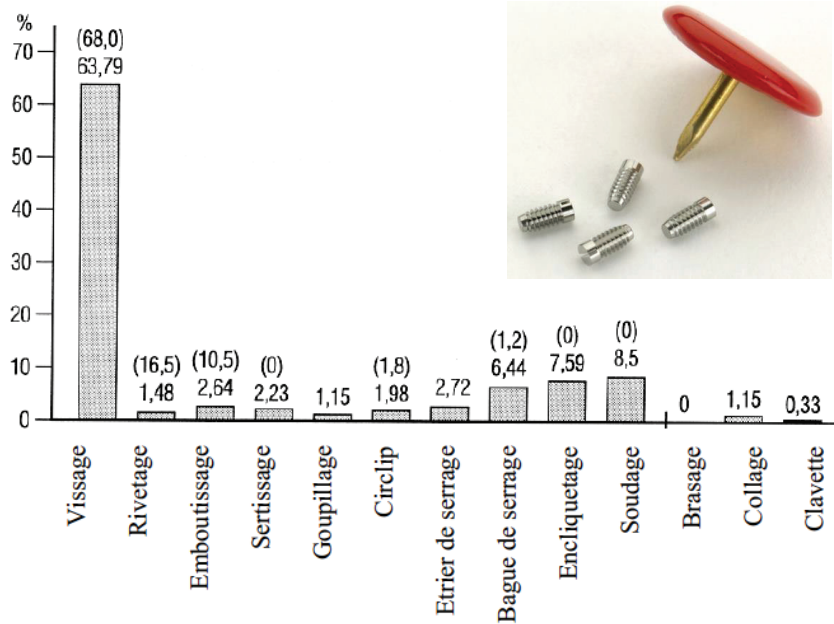
... Définir les filetages normalisés métriques

- ... À pas normal et à pas fin
- ... Caractéristiques géométriques et cas d'emploi

... Décrire les procédés de fabrication du filetage

- ... Pour un filetage extérieur et intérieur
- ... Et en déduire les limitations géométriques

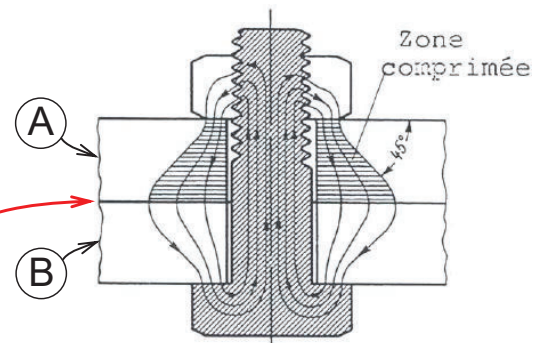
Pourquoi les assemblages boulonnés ?



Fonction = maintien en position

1. Précontrainte de serrage

- Vis sollicitées en traction
- Pièces en sandwich sollicitées en compression
- Création d'une force d'appui N au contact entre A et B



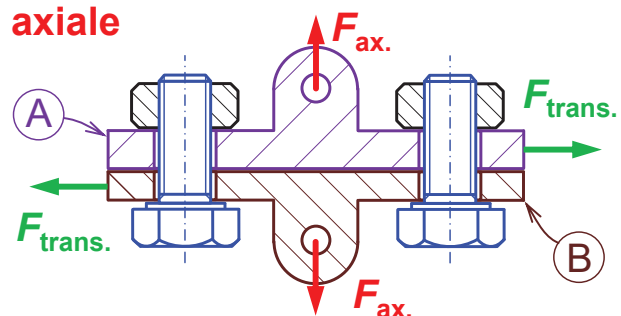
2. Application d'une charge extérieure F_{ext}

- Maintien par obstacle si F_{ext} axiale

(Condition : $F_{ax.} \cdot t_q \cdot N > 0$)

- Maintien par frottement statique si F_{ext} transverse

(Condition : $F_{trans.} < \mu_0 \cdot N$)



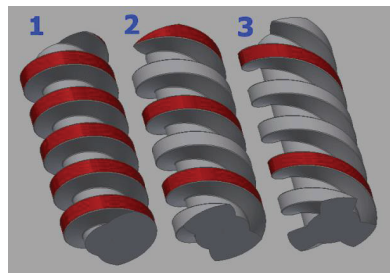
Fonctions et caractéristiques du filetage

• Fonctions du filetage

- **Mettre en contact les pièces à assembler**
Rotation → translation (filetage hélicoïdal)
- **Assurer et maintenir la précontrainte de serrage dans l'AB**
Frottements statiques → précontrainte conservée après serrage

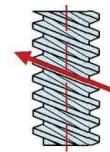
• Caractéristiques du filetage

- Forme du filet
- Nombre de filets
- Pas = distance entre deux filets successifs
- Sens du filetage

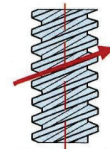


© Guide des Sciences et Technologies Industrielle, J.-L. Fanchon ↑

Filet « à gauche »



Filet « à droite »



Filetage normalisé métrique (1/2)

• Caractéristiques générales

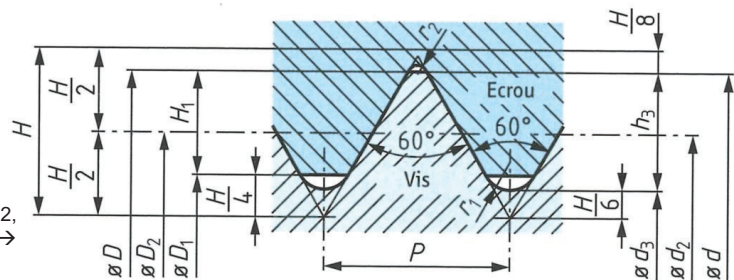
- Dimensions en unités SI (mm)
- 1 seul filet → Pas = avance par tour
- Sens d'hélice à droite, par défaut



• Géométrie du filet

- d : diamètre nominal (= diam. ext. vis)
- P : pas

© Extrait de Normes 2022, p. 70, fig. 70/1 →



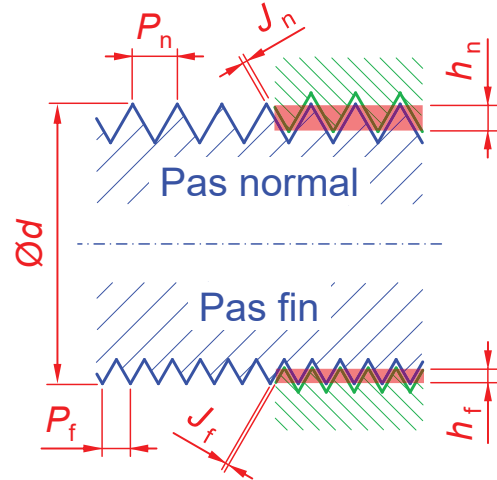
• Divers

- Taille de pas → dépend du diamètre nominal d
- Existe en deux séries : pas normal et pas fin

Filetage normalisé métrique (2/2)

• Séries à pas normal et à pas fin

- **P dépend du diamètre d**
 $\rightarrow P_f < P_n$ (pour un même d)
- **Hauteur d'interface**
 $\rightarrow h_f < h_n$
- **Jeu de fonctionnement**
 $\rightarrow J_f < J_n$
 $\rightarrow$ Tolérances de fabrication
+ fines si filetage à pas fin
- **Cas d'emploi**
 - Pas normal à utiliser par défaut, car + résistant & – cher à fabriquer
 - Pas fin $\rightarrow$ Vissage dans tube à paroi mince
 - $\rightarrow$ Vis de réglage



Filetage métrique à pas normal

- **Notation = M « d »**
Par ex. : M4, M12, M30
- **Tailles (ISO 262) $\rightarrow$**
- **Section résistante A_S**
 - Section par laquelle transite la force de traction dans la vis
 - À utiliser pour calculer la contrainte de traction

$$\sigma = \frac{F}{A_S}$$

Diamètre nominal	Pas	Section résistante de la vis	Avant-trou de taraudage
$d = D$	P	A_S ¹⁾ mm ²	D_B ²⁾
M1	0,25	0,460	0,75
M1,2	0,25	0,732	0,95
M1,6	0,35	1,27	1,25
M2	0,4	2,07	1,6
M2,5	0,45	3,39	2,05
M3	0,5	5,03	2,5
M4	0,7	8,78	3,3
M5	0,8	14,2	4,2
M6	1	20,1	5
M8	1,25	36,6	6,75
M10	1,5	58,0	8,5
M12	1,75	84,3	10,25
M16	2	157	14
M20	2,5	245	17,5
M24	3	353	21
M27	3	459	24
M30	3,5	561	26,5
M33	3,5	694	29,5
M36	4	817	32
M42	4,5	1121	37,5
M48	5	1473	43
M56	5,5	2030	50,5
M64	6	2675	58

Filetage métrique à pas fin

• Notation = M « d » × « P »

- M5×0,5, M8×1, M42×3
- Suffixe « -LH »
si pas à gauche

• Tailles (ISO 262) →

• Section résistante A_s

- Section par laquelle transite la force de traction dans la vis
- À utiliser pour calculer la contrainte de traction

$$\sigma = \frac{F}{A_s}$$

Diamètre nominal $d = D$	Pas P	Section résistante de la vis $A_s^{1)} \text{ mm}^2$	Avant-trou de taraudage $D_B^{2)}$
M4	0,5	9,79	3,5
M5	0,5	16,1	4,5
M6	0,75	22,0	5,25
M8	1	39,2	7
M10	1,25	61,2	8,75
M12	1,5	88,1	10,5
M16	1,5	167	14,5
M20	1,5	272	18,5
M24	2	384	22
M30	2	621	28
M36	3	865	33
M42	3	1206	39
M48	3	1604	45
M56	4	2144	52
M64	4	2851	60
M72	4	3658	68
M80	4	4566	76
M90	4	5840	86
M100	4	7280	96

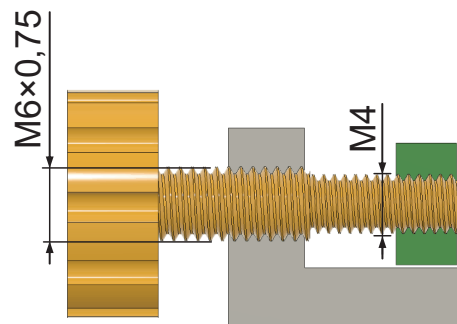
© Extrait de Normes 2022, p. 71, Tableau 71/1, partiel

Exercice d'application



Soit la vis différentielle ci-contre, équipée d'un premier filetage en taille M6×0,75 et d'un deuxième en taille M4.

Calculer le déplacement de l'écrou (pièce verte) pour chaque tour de vis.

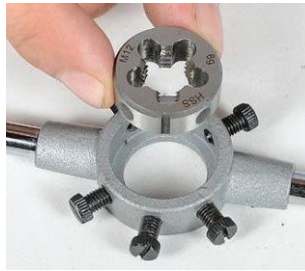


Fabrication et design du filetage (1/3)

• Filetage extérieur (1/2)

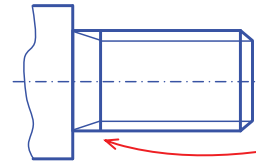
– Modes d'obtention

- Filière + porte-filière (opération manuelle)
- Burin de filetage (tournage)

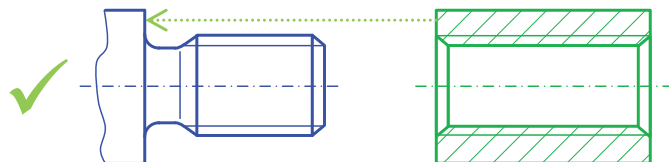


– Limitation géométrique

- Impossible de fileter jusqu'à l'épaulement
- Solution
= usinage d'une gorge en fond de filetage

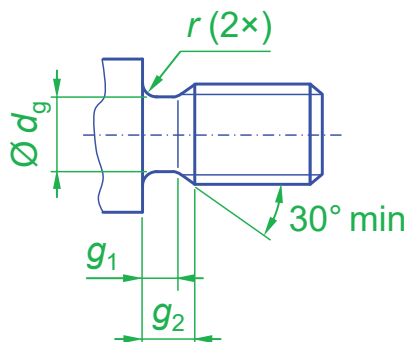


Zone à filets
partiellement
formés



Fabrication et design du filetage (2/3)

• Dimensions de la gorge pour filetage extérieur



© Extrait de Normes 2022, p. 71,
Tableau 79/1, partiel →

Filetage diamètre nominal (filetage à pas normal)	Gorge pour filetage					
	d_g	g_1		g_2		$r \approx$
		min.		max.		
d	h13 5)	normal	court	normal	court	
M1	$d - 0,4$	0,55	0,25	0,9	0,6	0,12
M1,2	$d - 0,4$	0,55	0,25	0,9	0,6	0,12
M1,6	$d - 0,6$	0,7	0,4	1,2	0,9	0,16
M2	$d - 0,7$	0,8	0,5	1,4	1	0,2
M2,5	$d - 0,7$	1	0,5	1,6	1,1	0,2
M3	$d - 0,8$	1,1	0,5	1,75	1,25	0,2
M4	$d - 1,1$	1,5	0,8	2,45	1,75	0,4
M5	$d - 1,3$	1,7	0,9	2,8	2	0,4
M6	$d - 1,6$	2,1	1,1	3,5	2,5	0,6
M8	$d - 2$	2,7	1,5	4,4	3,2	0,6
M10	$d - 2,3$	3,2	1,8	5,2	3,8	0,8
M12	$d - 2,6$	3,9	2,1	6,1	4,3	1
M16	$d - 3$	4,5	2,5	7	5	1
M20	$d - 3,6$	5,6	3,2	8,7	6,3	1,2
M24	$d - 4,4$	6,7	3,7	10,5	7,5	1,6
M27	$d - 4,4$	6,7	3,7	10,5	7,5	1,6

Fabrication et design du filetage (3/3)

• Filetage intérieur / taraudage

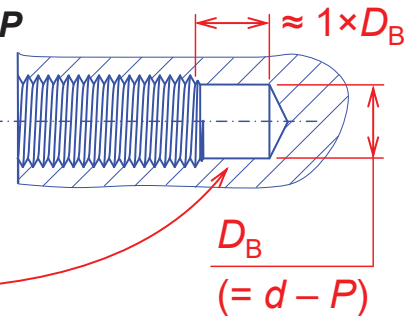
– Modes d'obtention

- Taraud + « tourne-à-gauche » (opération manuelle)
- Fraise à tarauder (tournage ou fraisage)



– Gamme de fabrication

1. Perçage d'avant-trou à D_B tel que $D_B = d - P$
2. Taraudage



– Limitation géométrique

- Prof. taraudage < prof. avant-trou
- Projet BA2 → Prof. taraudage = prof. avant-trou - D_B

Références normatives principales

ISO 68-1	Filetages ISO pour usages généraux — Profil de base — Partie 1: Filetages métriques
ISO 261	Filetages métriques ISO pour usages généraux — Vue d'ensemble
ISO/DIS 262	Filetages métriques ISO pour usages généraux — Sélection de dimensions pour la boulonnerie
ISO 898-1	Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié — Partie 1: Vis, goujons et tiges filetées de classes de qualité spécifiées — Filetages à pas gros et filetages à pas fin
ISO 80000-3	Grandeurs et unités - Partie 3: Espace et temps

Notes personnelles

A large grid of graph paper for personal notes, consisting of 20 columns and 30 rows of small squares.