

# Résumé Semaine 5

## Tolérancement dimensionnel I, Systèmes mécaniques, Tolérancement dimensionnel II

Dr. S. Soubielle

## Tolérancement dimensionnel I

- **Pièce réelle**

- Défauts dimensionnels (linéaires ou angulaires)
- Plage d'incertitude sur la cote réelle exacte (vs. cote nominale)

- **Intervalle de tolérances**

- Spécifie les écarts limites admissibles  $ES$  et  $EI$
- L'usineur adapte le procédé pour satisfaire la précision exigée



- **Tolérances générales selon ISO 2768-« ? »**

- Niveau de précision « standard », peu exigeant
- Permet d'omettre les valeurs explicites sur le plan

# Systèmes mécaniques I

## • Documentation d'assemblage

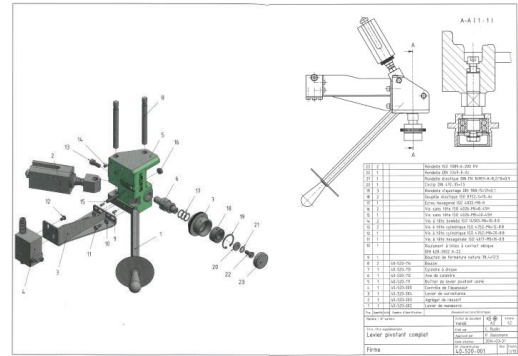
- Plan d'ensemble + nomenclature
- (Procédure d'assemblage)

## • Fonctions de services

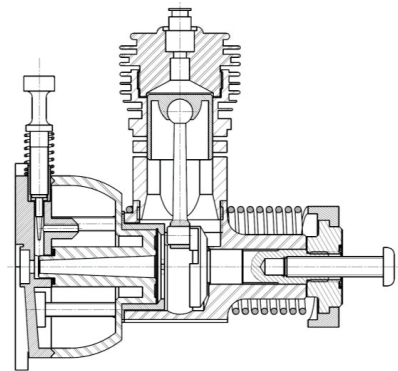
- Fonction(s) principale(s) et fonction(s) contrainte(s)
- Exprimées au niveau du système mécanique

## • Fonctions techniques

- Exprimées au niveau du sous-ensemble fonctionnel (ou de la pièce)
- Aboutissent à l'établissement des conditions de fonctionnement



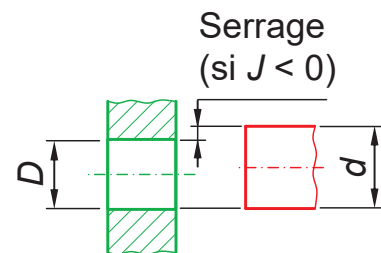
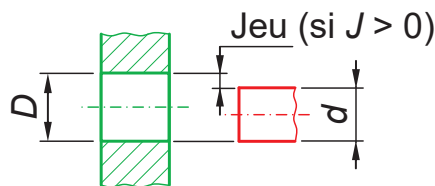
Extrait de Normes 2022, pp. 558-559



# Tolérancement dimensionnel II

## • Définition du jeu d'assemblage

- Pièces réelles  
→  $J = D - d$



- Plans de fabrication (  $D_{EI}^{ES}$  et  $d_{ei}^{es}$  )

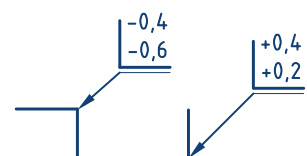
$$\text{Calcul de } J_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = (D + EI) - (d + es)$$

$$J_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = (D + ES) - (d + ei)$$

→ Ajustement avec jeu, incertain, ou serré

## • Chanfrein et congé par défaut

- À ne pas modéliser sur le 3D
- À toujours spécifier sur le plan de fabrication



# Notes personnelles

---

A large grid of graph paper, consisting of 20 columns and 40 rows of small squares, intended for taking notes.

## Notes personnelles

# Tolérancement dimensionnel III

Fonctions d'assemblage,  
Comportement des matériaux solides,  
Système ISO de tolérances,  
Chaînes de cotes

Dr. S. Soubielle



## Dans ce cours, nous allons...

... **Nous intéresser au caractère de l'ajustement...**

... Et aux paramètres qui l'influencent

... **Caractériser le comportement des matériaux solides**

... Comportement en déformation des matériaux solides

... Forces en jeu lors du contact frottant entre deux solides

... **Définir ce qu'est le système ISO de tolérances**

... Concept de classe de tolérances

... Ajustements ISO usuels à utiliser dans vos constructions

... **Définir la notion de chaîne de cotes**

... Généralisation du concept d'ajustement

... Méthodologie de résolution

# Conception de l'assemblage (1/2)

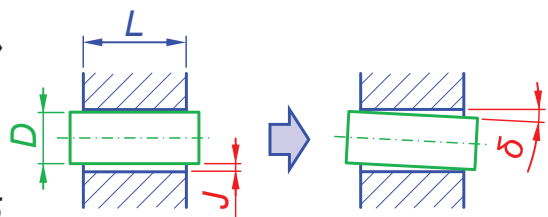
- **Objectif du concepteur = fonction d'assemblage**  
 = **Garantir le comportement à l'assemblage des deux pièces**
  - « Grand jeu »
  - « Guidage précis »
  - « Déplacement encore mobile par l'emploi de lubrifiant »
  - « Assemblage sans besoin de force importante »
  - « Assemblé sous pression »
  - ...
- **Outil dont il dispose = tolérancement dimensionnel**  
 ( $ES ; EI$ ) pour l'alésage et ( $es ; ei$ ) pour l'arbre  $\rightarrow J_{\min}$  et  $J_{\max}$

# Conception de l'assemblage (2/2)

- **Caractère de l'ajustement : paramètres d'influence**

- **Cas des ajustements « avec jeu »**

- $J > 0$  plus ou moins grand
- « Niveau de précision » du guidage en lien avec débattement angulaire  $\delta$



- **Cas des ajustements « incertains » et « avec serrage »**

- Il y a « serrage » du moment que  $J < 0$
- « Niveau de serrage » en lien avec le niveau d'effort requis pour assembler les pièces
  - $\rightarrow$  On doit déformer les pièces
  - $\rightarrow$  Il faut vaincre les frottements

# Comportement mécanique des matériaux

## • Caractérisé par l'essai de traction

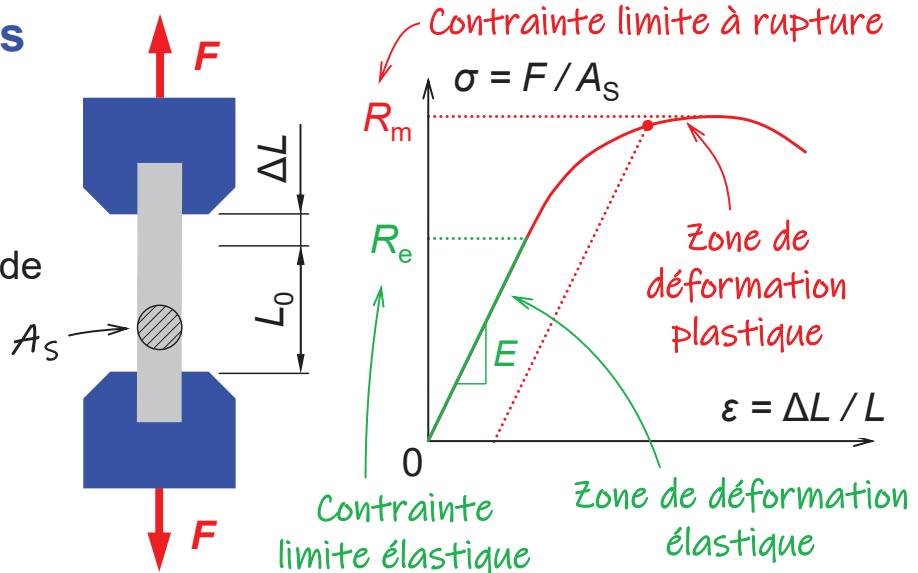
- Relie l'allongement du matériau à la force résistante qu'il exerce
- Utilisation d'une machine de traction et d'une éprouvette d'essai

## • Utilisation des matériaux en mécanique

- Uniquement dans la zone de déformation élastique

- Loi de Hooke

$$\sigma = E \times \varepsilon$$



# Contact frottant et lois de Coulomb (1/2)

## • Expérience du solide S sur un plan incliné

- Contact statique (i.e, pas de mvt relatif) jusqu'à un angle limite  $\delta_0$
- Mise en mouvement (glissement) si inclinaison  $> \delta_0$
- Variation de masse du solide S  $\rightarrow$  pas d'effet sur la valeur de  $\delta_0$
- Si mouvement initial  $\rightarrow$  angle limite  $\delta (< \delta_0)$
- Application d'un lubrifiant au contact  $\rightarrow \delta_0$  et  $\delta$  plus petits

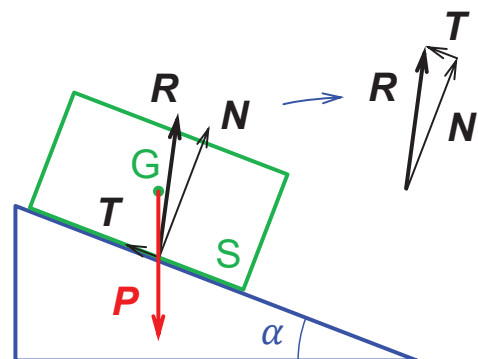
## • Modélisation du contact

- Si pas de mouvement relatif

- Équilibre statique
- PFS  $\rightarrow T = \tan(\alpha) \cdot N$

- Si mvt relatif (et vitesse  $\nearrow$ )

- L'équilibre statique est rompu
- PFD  $\rightarrow T < \tan(\alpha) \cdot N$



# Contact frottant et lois de Coulomb (2/2)

## • Lois de Coulomb

- **Sans mouvement relatif**  $\rightarrow T_{\max} = \tan(\delta_0) \cdot N = \mu_0 \cdot N$   
 Avec  $\delta_0$  : Angle d'« adhérence » (ou de « frottement statique »)  
 $\mu_0$  : Coef. d'« adhérence » (ou de « frottement statique »)
- **Avec mouvement relatif**  $\rightarrow T = \tan(\delta) \cdot N = \mu \cdot N$   
 Avec  $\delta$  : Angle de « glissement » (ou de « frott. dynamique »)  
 $\mu$  : Coef. de « glissement » (ou de « frott. dynamique »)

## • Commentaires à propos des lois de Coulomb

- **Pas de pris en compte de la vitesse relative entre les pièces**
  - Modélisation du frottement sec uniquement
  - Modèle pas adapté si matériaux visqueux et/ou vitesses élevées
- **Valeurs de  $\delta_0 / \mu_0$  et  $\delta / \mu$** 
  - Dépendent des conditions du contact (matériaux, rugosités, etc.)

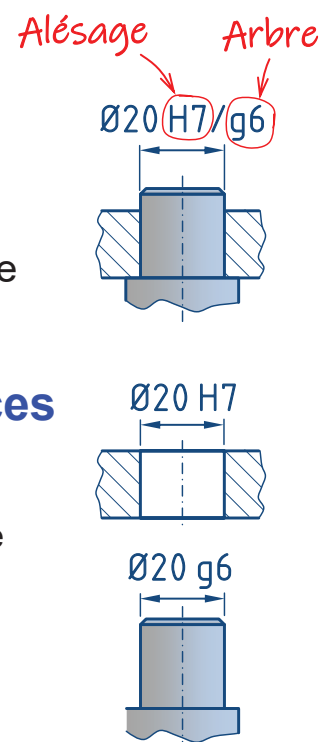
# Système ISO de tolérances (1/6)

## • Principe et finalité

- Écriture codifiée des intervalles de tolérances
- $ES$  et  $EI$  dépendent de la dimension nominale
- Ajustement en tolérances ISO  $\rightarrow$  même caractère quelle que soit la dimension nominale
- Valable uniquement pour les cotes linéaires

## • Codification des intervalles de tolérances

- **1 (ou 2) lettre(s)**  
 $\rightarrow$  Position de l'int. de tolérances vs. dim. nominale  
 $\rightarrow$  Majuscule si dim. int. / minuscule si dim. ext.
- **1 (ou 2) chiffres**  
 $\rightarrow$  Largeur de l'intervalle de tolérances



## Système ISO de tolérances (2/6)

- **Système d'ajustement ISO à alésage normal (« H »)**
  - Le plus utilisé
  - Toujours à privilégier, quand c'est possible
- **Ajustements usuels à alésage normal**

Ajustement	H8 Arbre	H7	Caractère de l'ajustement	Exemples d'utilisation
Jeu	d9		Grand jeu	Arbre à paliers multiples, palier lisse pour large gamme de température, logement de levier
	e8		Jeu imperceptible	
	h9		Facilement déplaçable	Accouplement glissant, douille d'entretoise
	f7		Petit jeu	Coulisseau, glissière
		g6	Jeu non perceptible	Palier lisse de précision
	h7	h6	Déplacement encore possible par l'emploi de lubrifiants	Bague d'arrêt, centrage
Incertain		js6	Encore mobile sous légère pression	Centrage précis
		k6	Assemblé sans besoin de force importante	Volant, accouplement, poulie
		n6	Assemblé sous pression	Transmission de faibles couples
Serrage		p6	Assemblé au moyen de presses ou fretté	Transmission de couples modérés à forts
		r6		
		s6		

## Système ISO de tolérances (3/6)

- **Système d'ajustement ISO à arbre normal (« h »)**
  - Utilisé lorsque la tolérance sur l'arbre est imposée (h)
  - P. ex. barre étirée (h9), rectifiée (h9, h8 ou h6)
- **Ajustements usuels à arbre normal**

Ajustement	h9 Alésage	h6	Caractère de l'ajustement	Exemples d'utilisation
Jeu	D10		Très grand jeu	Clavetage libre moyeu
	F8		Jeu perceptible	Palier lisse
		G7	Jeu non perceptible	Glissière de précision
	H9		Encore juste mobile à la main	Clavetage libre arbre
		H7		Accouplement glissant
Incertain	JS9		Encore mobile sous légère pression	Clavetage léger dans moyeu
		JS7		Pièces souvent démontées et remontées
		K7	Assemblé sans besoin de force importante	Volant, accouplement, poulie
	N9			Clavetage léger arbre
		N7	Assemblé sous pression	Goupille cylindrique
	P9		Ajustage éventuellement nécessaire	Clavetage serré (arbre et moyeu)
Serrage		P7	Assemblé au moyen de presses ou fretté	Transmission de faibles couples
		S7	Emmanchement par frettage	Transmission de couples modérés à forts



# Système ISO de tolérances (6/6)



## Intervallles de tolérances ISO

Trouver  $ES$  et  $EI$  (exprimer les valeurs en  $\mu\text{m}$ )

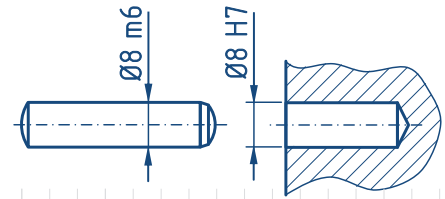
$30\ H7$	$\rightarrow ES =$	$30\ H11$	$\rightarrow ES =$	$125\ H7$	$\rightarrow ES =$
	$\rightarrow EI =$		$\rightarrow EI =$		$\rightarrow EI =$
$30\ h7$	$\rightarrow ES =$	$30\ g6$	$\rightarrow ES =$	$125\ k6$	$\rightarrow ES =$
	$\rightarrow EI =$		$\rightarrow EI =$		$\rightarrow EI =$



## Ajustement ISO

Calculer le jeu min. et le jeu max.

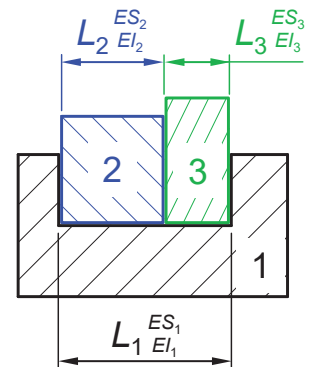
En déduire le caractère de l'ajustement



# Chaîne de cotes (1/3)

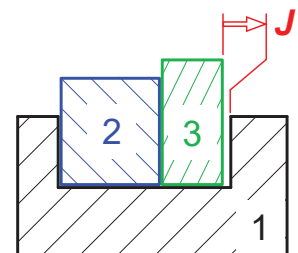
## • Définition

- Généralisation du concept d'ajustement pour un empilement de plus de 2 pièces
- Objectif = calcul du jeu min. et du jeu max.
- Calcul uniaxial (linéaire)



## • Méthodologie

1. Représenter l'empilement de pièces de manière à faire apparaître un jeu localisé à un seul endroit
2. On matérialise le jeu par un vecteur  $J$



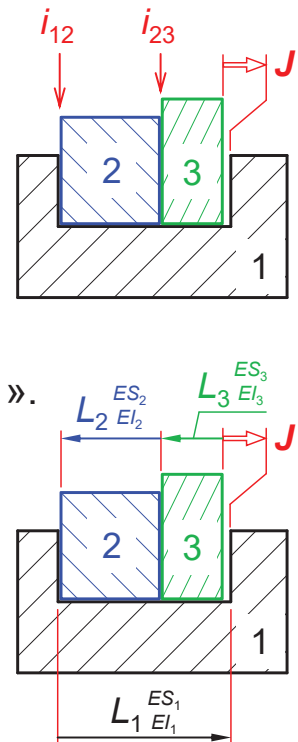
## Chaîne de cotes (2/3)

### • Méthodologie (suite)

3. Identifier les interfaces de contact restantes entre les pièces de l'empilement
4. Tracer le chemin permettant, depuis la base de  $J$  et en partant dans la direction opposée à  $J$ , de rejoindre la pointe de  $J$  en traversant les interfaces de contact entre les pièces et sans jamais passer par du « vide ».
5. Les cotes intervenant au point précédent se transforment en vecteurs, et :

$$J = - \sum_i \overrightarrow{L_{iEI_i}^{ES_i}} + \sum_k \overrightarrow{L_{kEI_k}^{ES_k}}$$

Avec      indice «  $i$  » si direction opposée à  $J$   
               indice «  $k$  » si même direction que  $J$



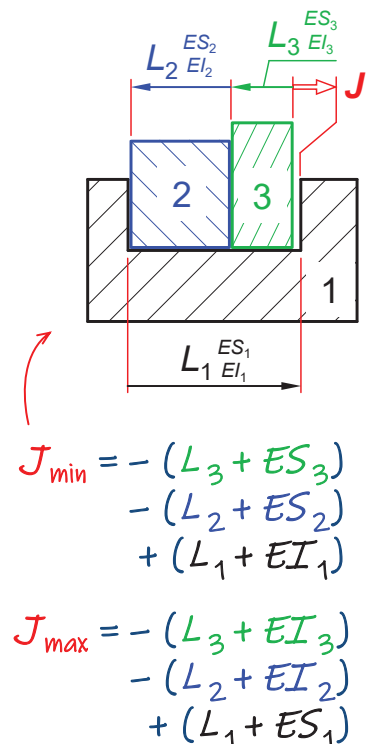
## Chaîne de cotes (3/3)

### • Méthodologie (fin)

6. Calcul du jeu min. et du jeu max. :

$$\begin{aligned} J_{\min} &= - \sum_i \left( L_{iEI_i}^{ES_i} \right)_{\max} + \sum_j \left( L_{jEI_j}^{ES_j} \right)_{\min} \\ &= - \sum_i (L_i + ES_i) + \sum_k (L_k + EI_k) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{\max} &= - \sum_i \left( L_{iEI_i}^{ES_i} \right)_{\min} + \sum_k \left( L_{kEI_k}^{ES_k} \right)_{\max} \\ &= - \sum_i (L_i + EI_i) + \sum_k (L_k + ES_k) \end{aligned}$$



# 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

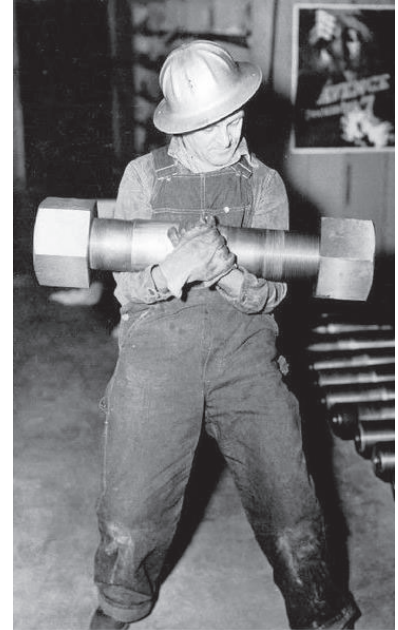
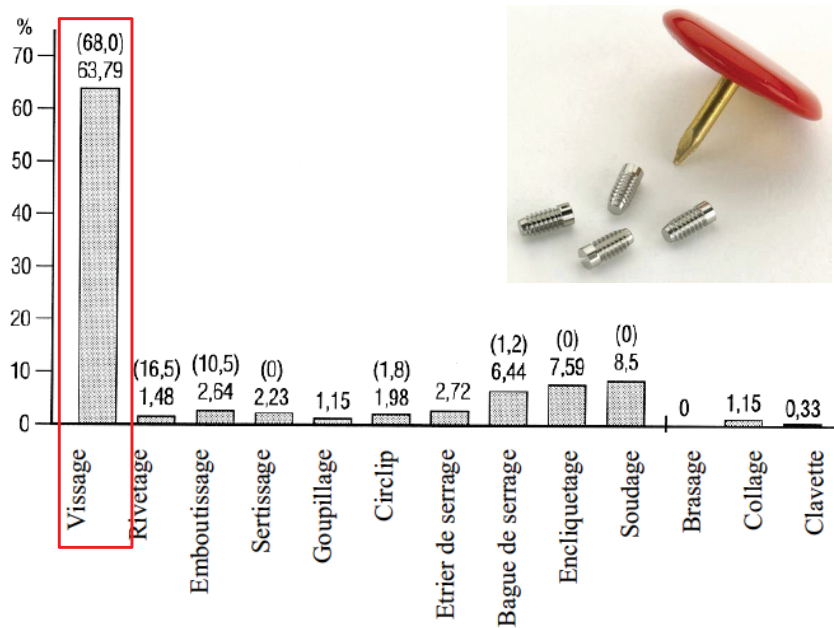
### ... Définir les filetages normalisés métriques

- ... Caractéristiques géométriques
- ... Détail des dimensions de filetage

### ... Décrire les procédés de fabrication du filetage

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

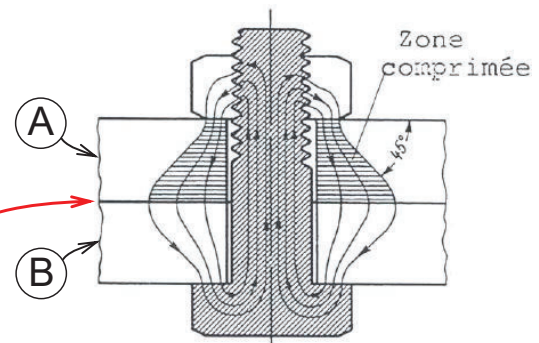
# Pourquoi les assemblages boulonnés ?



## 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



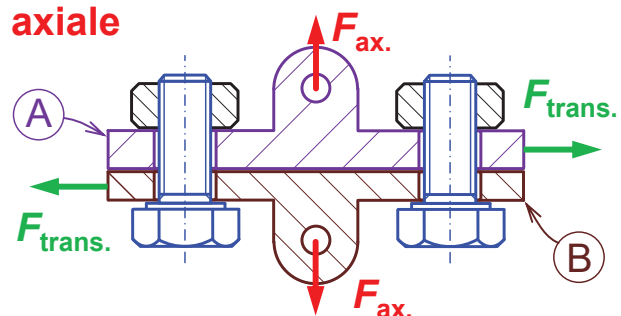
### 2. Application d'une charge extérieure $F_{ext}$

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



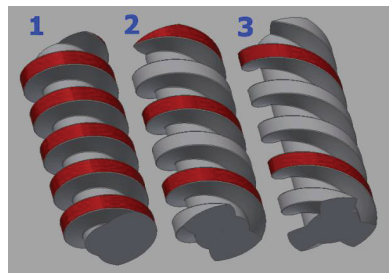
# Fonctions et caractéristiques du filetage

## • 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

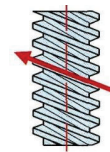
## • Caractéristiques du filetage

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

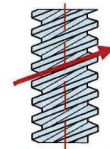


© Guide des Sciences et Technologies Industrielle, J.-L. Fanchon ↑

Filet « à gauche »



Filet « à droite »



# Filetage normalisé métrique

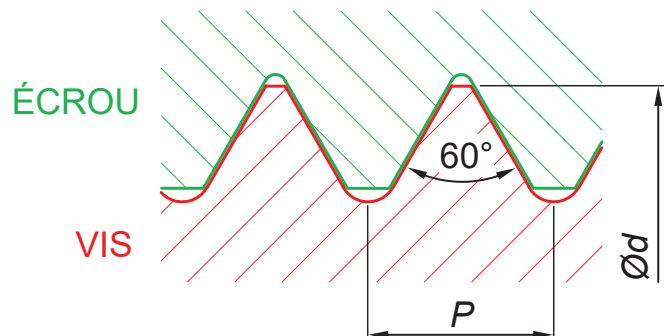
## • Caractéristiques générales

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



## • Géométrie du filet

- Profil triangulaire
- $P$  = pas
- $d$  = diamètre nominal (= diam. ext. vis)



## • Divers

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

# Tailles de filetage (pas normal)

- **Notation = M « d »**

Par ex. : M1,2 ; M5 ...

- **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 [mm] $d$	Pas [mm] $P$	Section résistante [mm <sup>2</sup> ] $A_s$	Diamètre d'avant-trou [mm] $D_B$
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

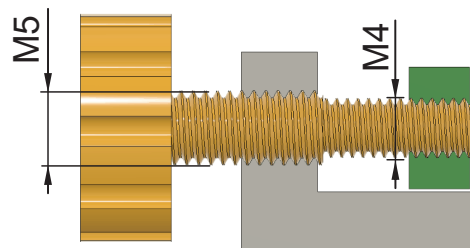
## Exercice d'application



Soit la vis différentielle ci-contre, équipée d'un premier filetage en taille M5 et d'un deuxième en taille M4.

La rotation de l'écrou (en vert) est empêchée mais pas sa translation.

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

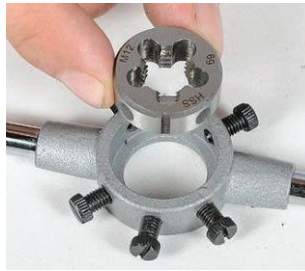


# Fabrication et design du filetage (1/3)

## • Filetage extérieur (1/2)

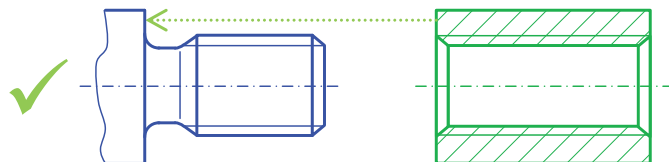
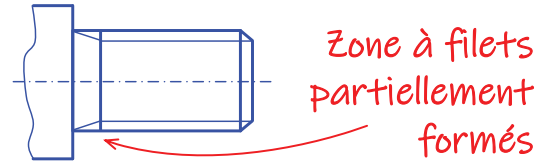
### – Modes d'obtention

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



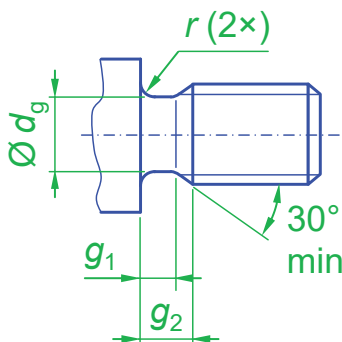
### – Limitation géométrique

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



# Fabrication et design du filetage (2/3)

## • Dimensions de la gorge pour filetage extérieur



Diamètre nominal [mm]  <i>d</i>	Gorge pour filetage [mm]					
	<i>d</i> <sub>g</sub>  h13	<i>g</i> <sub>1</sub> min.		<i>g</i> <sub>2</sub> max.		<i>r</i> ≈
		normal	court	normal	court	
M1	<i>d</i> − 0,4	0,55	0,25	0,9	0,6	0,12
M1,2	<i>d</i> − 0,4	0,55	0,25	0,9	0,6	0,12
M1,6	<i>d</i> − 0,6	0,7	0,4	1,2	0,9	0,16
M2	<i>d</i> − 0,7	0,8	0,5	1,4	1	0,2
M2,5	<i>d</i> − 0,7	1	0,5	1,6	1,1	0,2
M3	<i>d</i> − 0,8	1,1	0,5	1,75	1,25	0,2
M4	<i>d</i> − 1,1	1,5	0,8	2,45	1,75	0,4
M5	<i>d</i> − 1,3	1,7	0,9	2,8	2	0,4
M6	<i>d</i> − 1,6	2,1	1,1	3,5	2,5	0,6
M8	<i>d</i> − 2	2,7	1,5	4,4	3,2	0,6
M10	<i>d</i> − 2,3	3,2	1,8	5,2	3,8	0,8

## Fabrication et design du filetage (3/3)

- **Filetage intérieur / taraudage**

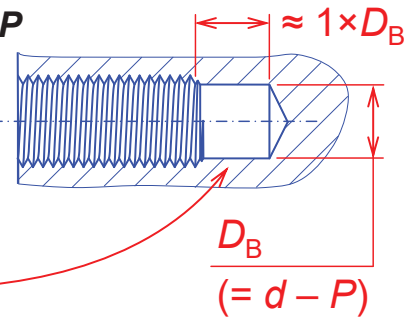
## – Modes d'obtention

- 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 au diamètre  $d$



- **Limitation géométrique**

- Prof. taraudage < prof. avant-trou
- Projet (S. 8-14)  $\rightarrow$  Prof. taraudage = prof. avant-trou -  $D_B$

## Notes personnelles