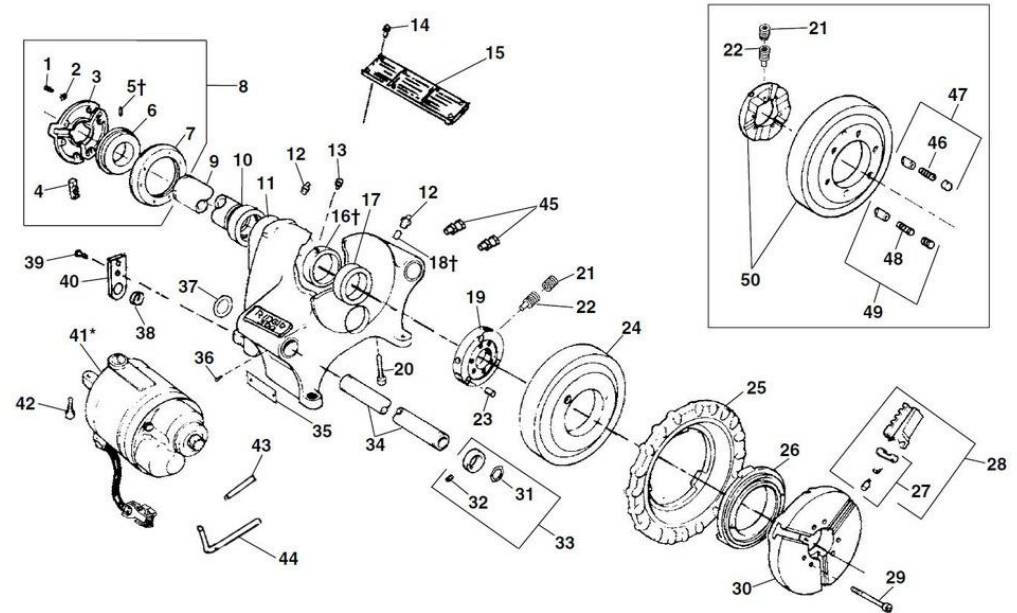


GMC-2025 Ingénierie & Conception 2

Révision éléments de machine et assemblage

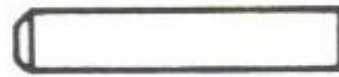
Professeur :

Alain Curodeau ing. PhD

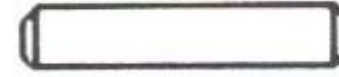


RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE

1. Concevoir des pièces ayant préférablement une symétrie pour accélérer l'assemblage

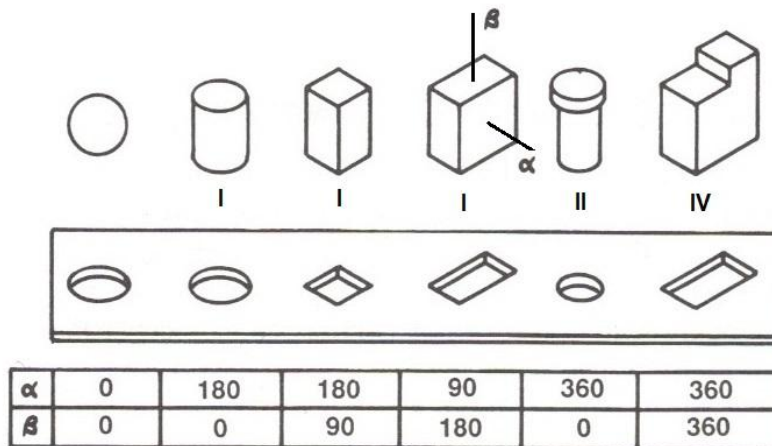


asymétrique



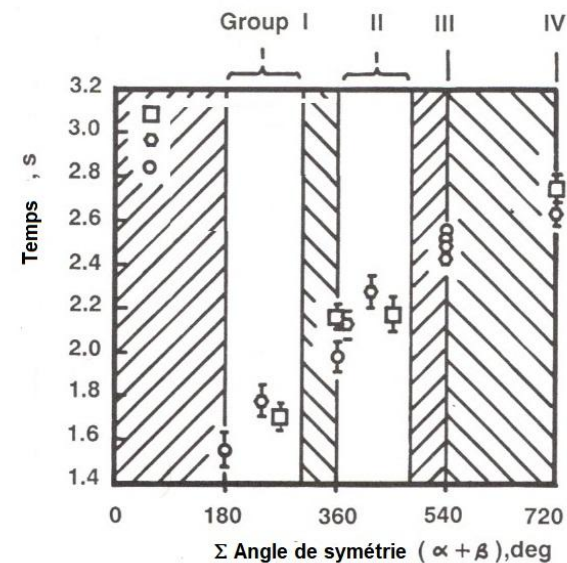
symétrique

○ Temps d'assemblage relatif versus topologie



Symétrie rotationnelle Alpha et Beta de différentes topologies

réf.: Product Design for Manufacture and Assembly p.78

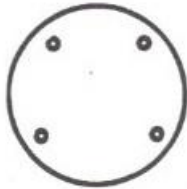


Alpha : L'angle qu'une pièce doit être tournée autour de l'axe perpendiculaire à l'axe d'insertion, afin de répéter son orientation,

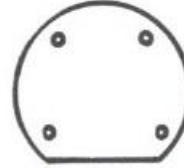
Beta : L'angle qu'une pièce doit être tournée suivant l'axe d'insertion afin de répéter son orientation.

RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

2. Lorsqu'il n'est pas possible d'obtenir une symétrie, accentuer l'évidence de l'asymétrie de la pièce



asymétrie peu apparente



asymétrie accentuée

3. Inclure des détails de formes empêchant le coincement de pièces qui sont empilées lorsque entreposées,



coincement possible

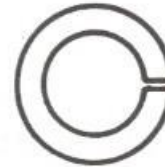


coincement évité

4. Éviter des formes qui inciteront l'entremêlement des pièces lorsqu'entreposées en vrac



entremêlement

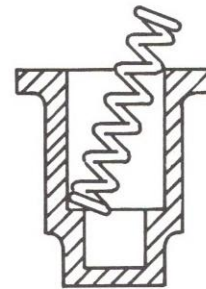
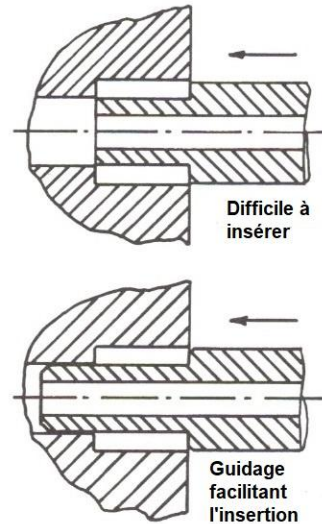


pas d'entremêlement possible

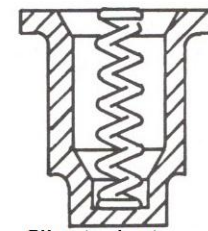
RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

5. Concevoir les pièces pour minimiser la résistance à l'insertion.

○ Guide d'insertion

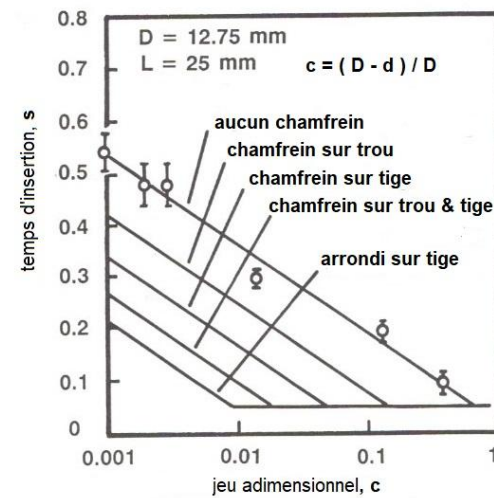
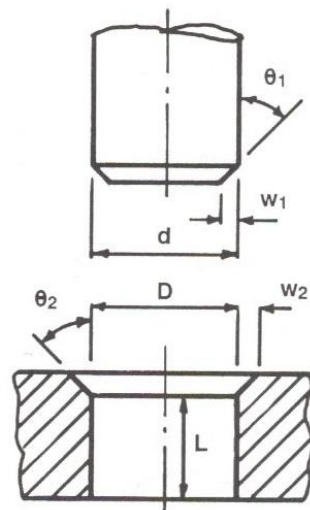


Pièce qui coince



Pièce tombant en place naturellement

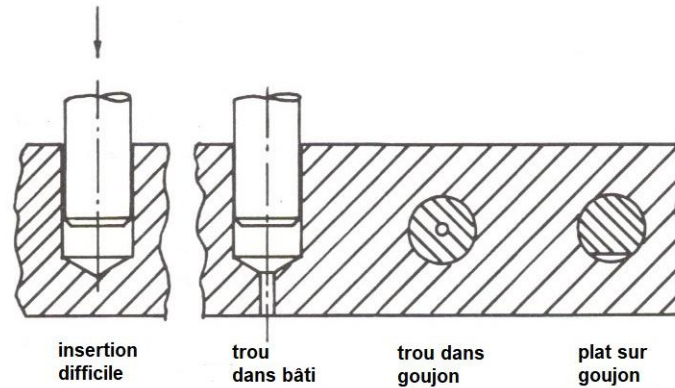
○ Chamfrein & arrondi



RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

Concevoir les pièces pour minimiser la résistance à l'insertion.

- Air emprisonné



- Jeu entraînant le coincement ou effet tiroir

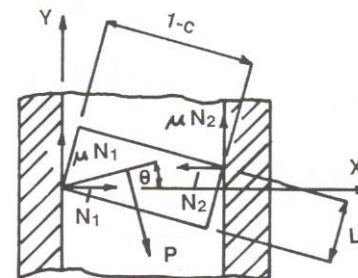
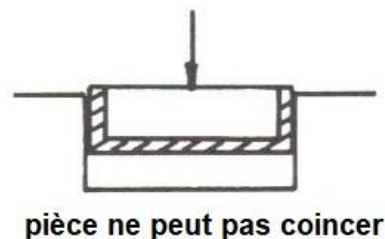
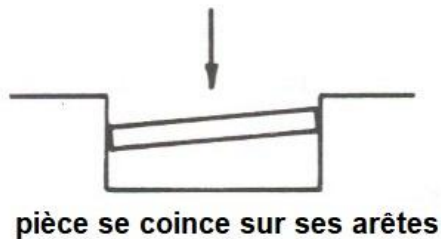


Diagramme du corps libre pour modéliser le coincement : $P \cos(\theta) > \mu (N_1 + N_2)$

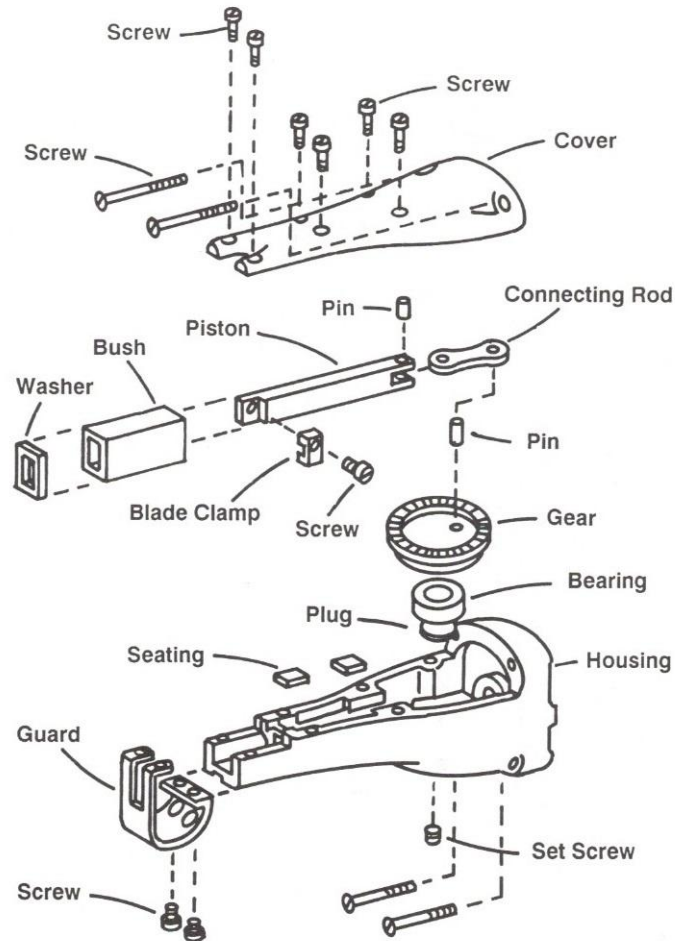
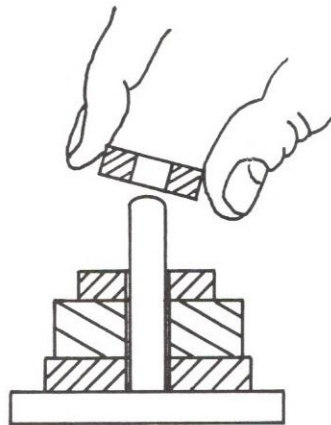
Par exemple, si les pièces respectent les proportions suivantes : $L^2 > \mu^2 + 2c - c^2$, l'anneau intérieur d'épaisseur L (proportion p/r diamètre adimensionnel = 1) ne pourra jamais coincer dans l'alésage (c = jeu adimensionnel)

RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

6. Utiliser le plus de pièces standards possible et uniformiser leur utilisation dans tout l'assemblage.

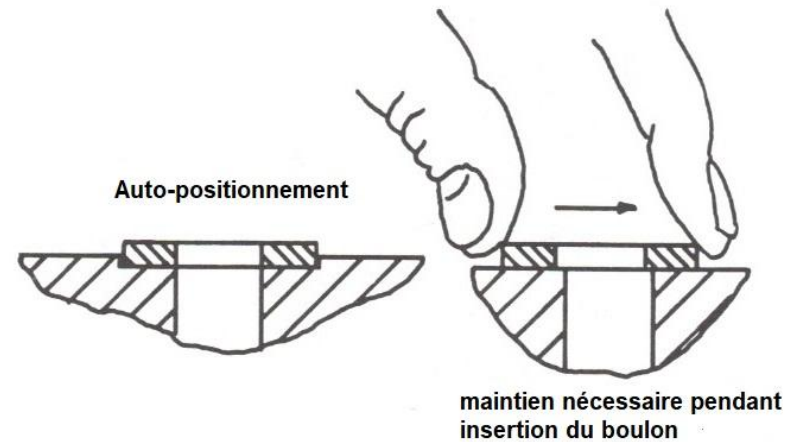
- Ex : Vis M6 à six pans creux généralisé dans tous l'assemblage

7. Assemblage par empilage suivant un axe de référence préférentiel

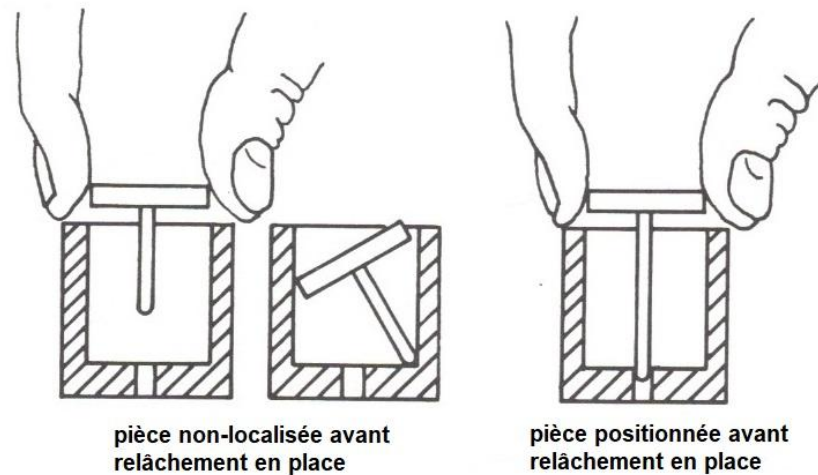


RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

8. Éviter, si possible, la nécessité de devoir tenir une pièce en place pendant qu'une autre pièce ou sous-ensemble doit être installé,

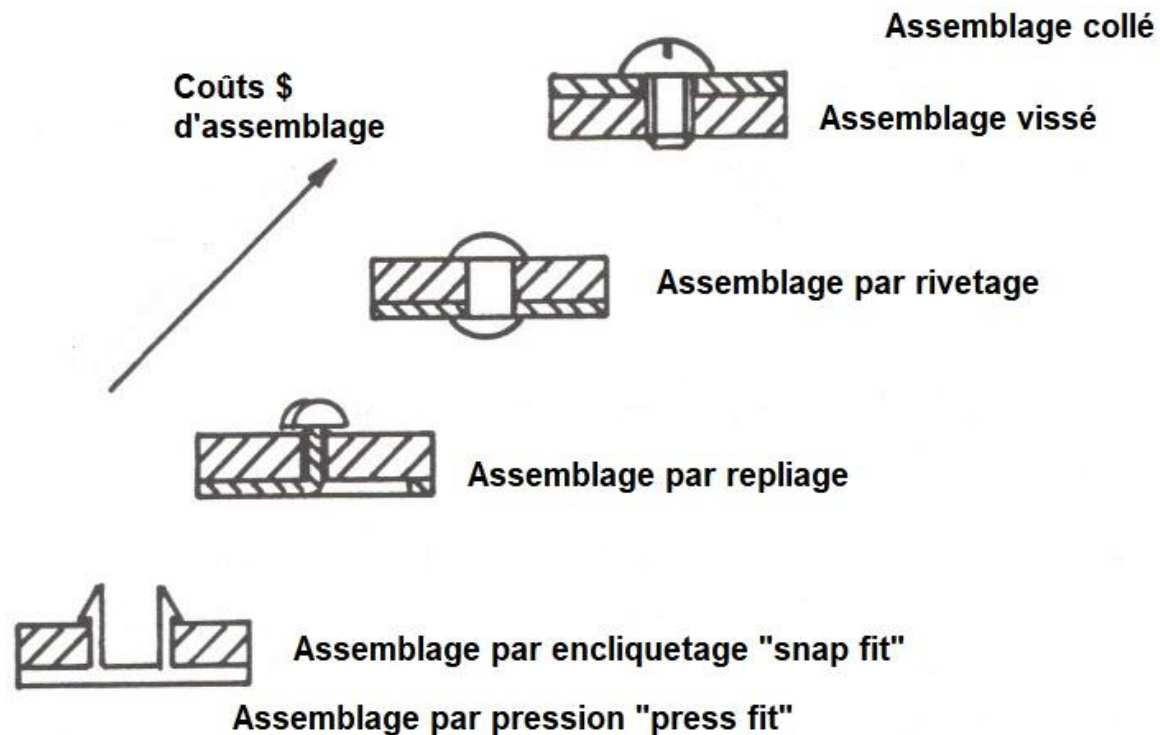


9. Concevoir la pièce de façon à ce qu'elle puisse être localisée avant d'être relâchée en position finale,



RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

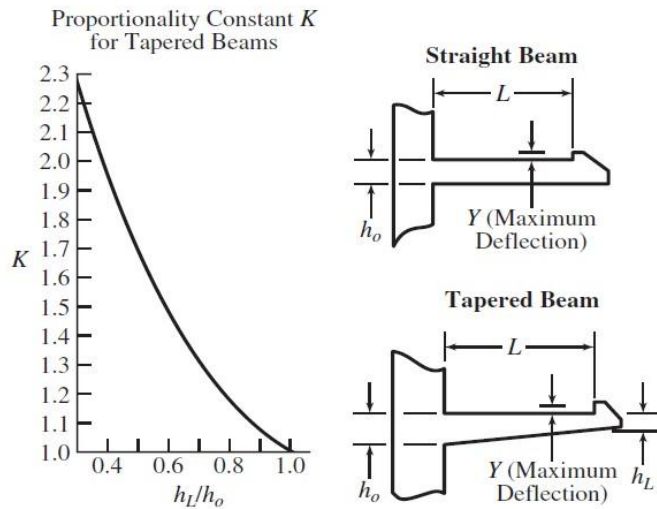
10. Pour les éléments de fixation non ou semi-permanent, le coût d'assemblage croît suivant la séquence suivante :



Note : Pour qu'un produit soit facilement réparable, on doit donner la préférence à l'assemblage par encliquetage, « snap fit », assemblage par pression « press fit » et aux vis.

RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

- **Calculs pour encliquetage « snap fit »** : MH Machinery Handbook 31st ed, p. 573 et 597



Pour un crochet droit : $\epsilon = \frac{3Yh_o}{2L^2}$

Pour un crochet profilé : $\epsilon = \frac{3Yh_o}{2L^2K}$

Contrainte max. pour durabilité : $\sigma = E_{\min} \epsilon < 20\% S_{e_min}$ [MPa]

Calculer $\epsilon < 20\% \epsilon_{rupture}$ lorsque $\epsilon_{rupture}$ est disponible

Table 2b. Typical Mechanical Properties of Common Plastics (Metric)

Material	Yield Stress, MPa			Elastic Modulus, GPa			Heat Deflection Temperature, °C			Izod Impact Strength, J/cm		
	Minimum	Median	Maximum	Minimum	Median	Maximum	Minimum	Median	Maximum	Minimum	Median	Maximum
ABS	20	43.4	73.5	0.778	2.3	6.1	65	88.9	118	0.1	2.2	6.4
PC	40	62.7	154	1.8	2.39	6	77.8	127	187	0.45	8.92	20
PEEK	65	97.4	115	2.2	3.92	6.48	140	158	260	0.21	0.58	1.7
PET	2.1	38.8	90	0.9	3.15	5.2	60	70.3	115	0.139	0.6	0.83
PP	8.96	25	35.2	0.75	1.35	3.5	37.8	57	115	0.267	2.15	7.2
PP, GF	25	60	90	1.03	4.2	6.55	60	131	190	0.14	0.96	4.5
PE, HD	7.6	21.3	43	0.45	0.927	1.5	37.6	47.5	86.1	0.19	0.77	20
PE, LD	7.7	10.8	64.8	0.11	0.232	0.449	38	67.4	101	2.4	4.5	20
PMMA	25	64	85	0.95	2.9	3.79	51.7	89.4	106	0.12	0.3	1.47
PSU	48	88.1	185	1.72	5.64	19.3	79.4	178	260	0.267	0.76	4.2
PVC	1.47	16.4	59	0.0016	2.16	3.24	46.7	70.8	87.2	0.21	6.2	20
TS Phenolic	41	53.2	57.9	4.1	7	8.64	160	176	226	0.21	0.27	0.32
TS Epoxy	0.69	22.8	85.1	0.1	2.48	6	65	146	343	0.19	0.36	0.69
TS Epoxy, GF	83	114	150	3	14.4	19	165	226	280	0.16	0.29	0.37
TS Polyester	10	51.8	123	1	4.03	10.6	200	252	260	1.23	4	9.08
TS Polyimide	73	128	160	1.1	3.93	10.8	180	375	400	0.21	0.35	0.43

Statistical summary of available grades submitted by material suppliers (data courtesy of MatWeb.com).

RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

- Conception de base pour visserie dans le plastique : MH Machinery Handbook 31st ed, p. 601

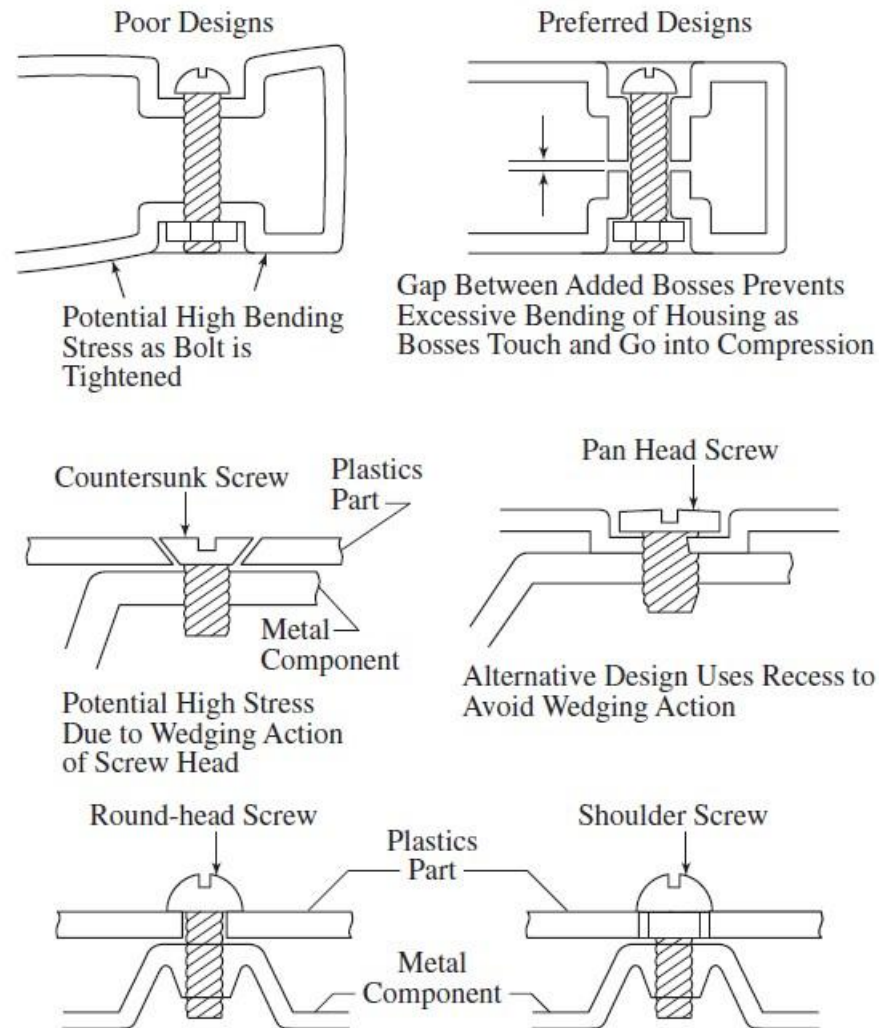
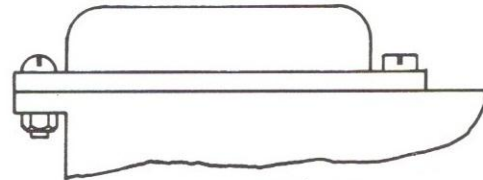


Fig. 26. Examples of Bad and Good Designs in Assembling Plastics with Metal Fasteners

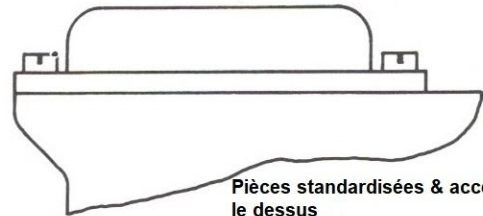
RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

PDMA Product Design for Manufacture & Assembly, p. 67 & 106

11. Éviter ou minimiser la nécessité de repositionner l'assemblage



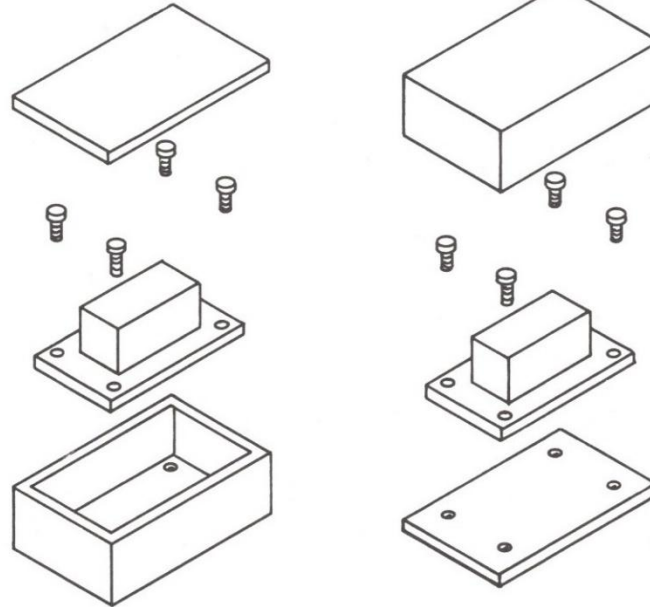
Pièces variées & accès par le dessous



Pièces standardisées & accès par le dessus

12. Assurer l'accès aux opérations secondaires d'assemblage

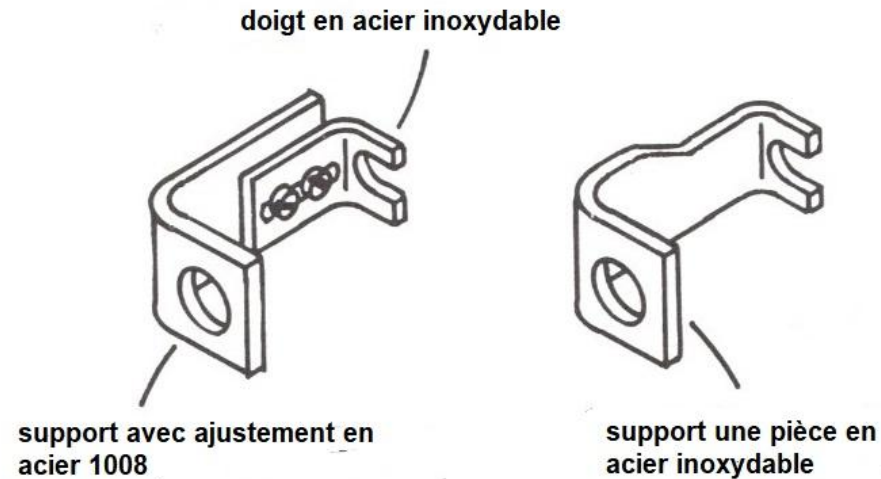
espace restreint pour manipuler les vis



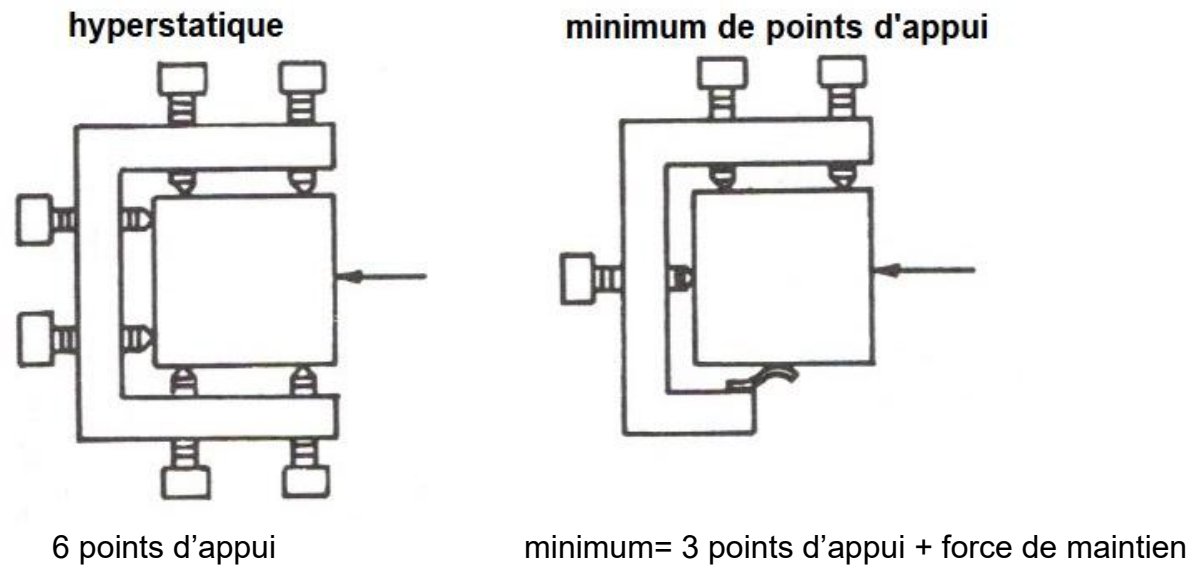
RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

PDMA Product Design for Manufacture & Assembly, p. 107

13. Éviter les ajustements



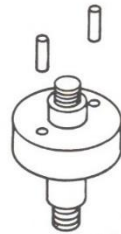
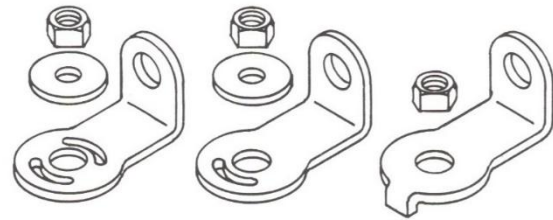
14. Éviter l'hyperstatisme



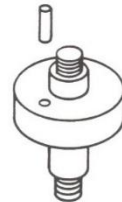
RÈGLES DE CONCEPTION POUR ASSEMBLAGE (suite)

PDMA Product Design for Manufacture & Assembly, p. 108 & 176

15. Simplifier et minimiser le nombre de pièces



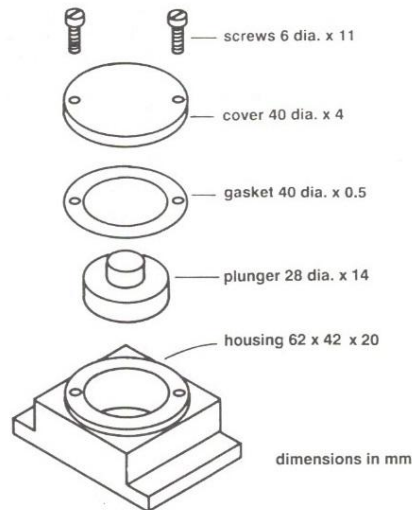
sur-contraint
(6 pièces)



minimum de points
d'appui (5 pièces)

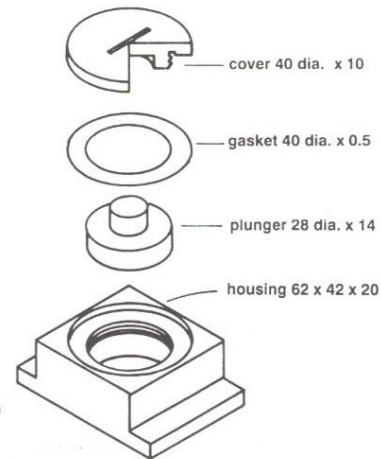


minimum de points d'appui
minimum de pièces (3 pièces)



6 pièces + opérations
additionnelles

=>



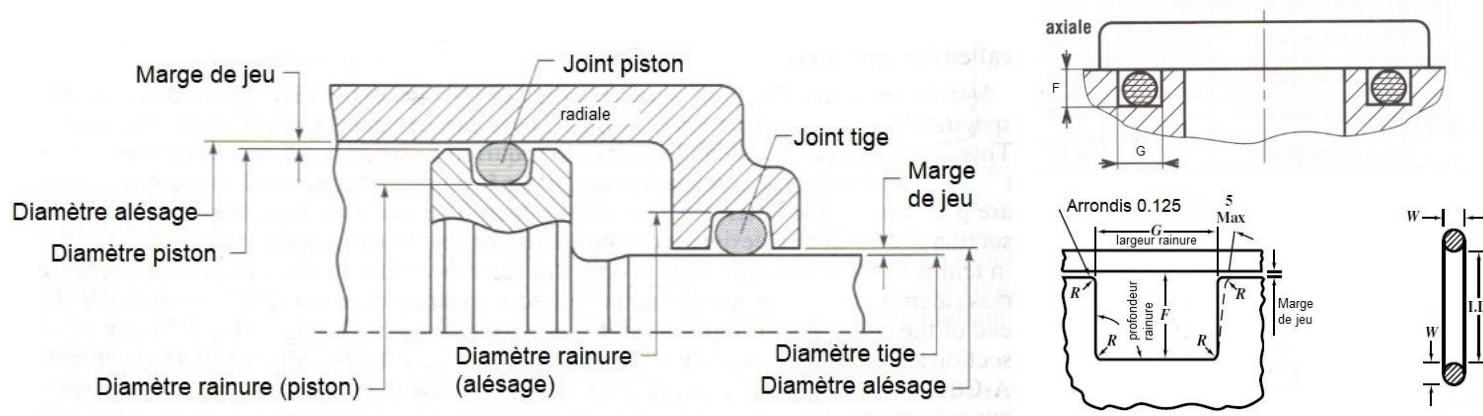
4 pièces

Règles de montage des roulements à billes

(Guide des sciences et technologies industrielles, p.275)

solutions ↓	Combinaisons usuelles des épaulements (cas général)				exemples : BGP + BGP BGP + DCO RB + RB, COO + COO		remarques
	bague intérieure tournante/charge		bague extérieure tournante/charge		exemples : BGP + CY DCO + CY COO + CY		
	Cas de 2 roulements à bagues non séparables		Cas où l'un des 2 roulements est à bagues séparables				
①		●	●				souvent utilisé, n'exige pas un jeu axial de fonctionnement, montage facile avec des roulements différents
②			●	●			idem ci-dessus mais moins utilisé
③		●	●				avec la charge axiale dans un seul sens, les résultats sont meilleurs
④			●	●			assez utilisés, exigent un léger jeu J pour éviter les oppositions mutuelles et compenser les dilatations à utiliser avec des liaisons courtes
⑤		●	●		●		liaisons rigides pouvant supporter charges élevées, chocs et vibrations
⑥			●	●			variante économique des cas 3 et 4 pour liaisons peu chargées (généralement sans charge axiale)
⑦		●	●				

Paramètres de calcul pour dimensionnement joint torique/rainure : MH p.2686



ID = Diamètre intérieur du joint torique

G= Largeur de la rainure

PISTON = Diamètre externe du piston

ROD= Diamètre externe de la tige

BG= Diamètre fond de rainure alésage (tige)

Sq%= Pourcentage compression joint torique

GVol= Volume de la rainure

Fill%= Pourcentage de remplissage de la rainure

μ Ratio de poisson (caoutchouc=0,5)

E= Excentricité de la rainure = 0

W= Diamètre de la section du joint torique

F= Profondeur de la rainure incluant la marge de jeu

PG= Diamètre du fond de la rainure (piston)

BORE= Diamètre interne du cylindre (alésage pour piston)

Stretch%= Pourcentage d'étirement du joint torique en place

ACramp%= %Diamètre externe comprimant le joint torique

OVol= Volume du joint torique

WR= Diamètre de la section étirée du joint torique

AR%= %Réduction approx. du diamètre étiré d'un joint torique

.: Données de départ

Paramètres d'opération recommandés

Topologie joint torique: rond,



, Quatre lobes



Matériel du joint : Buna-N , Duromètre 70A, ASTM D200

Étirement recommandé :

(Stretch%) : 5% max

(MH, p.2685)

Facteur de remplissage de la rainure :

(Fill%) : 85% (4 lobes) & 60-65%(rond)

(MH, p.2681)

Montage axial, joint torique rond: ISO -1XXA W=2,62 mm:

Plage de compression% acceptable :

(Squeeze, **Sq%**) : **19-30%**

(MH, p.2682)

Minimum : **0.125 mm de compression**

Montage axial, joint torique 4 lobes: ISO -1XXA W=2,62 mm:

Plage de compression% acceptable :

(Squeeze, **Sq%**) : **8- 22%**

Minimum : **0.125 mm de compression**

Montage radial, joint torique rond : ISO -1XXA W=2,62 mm:

Plage de compression% (statique)

(Squeeze, **Sq%**) : **13-30%**

(MH, p.2685)

Plage de compression% (dynamique, pneumatique)

(Squeeze, **Sq%**) : **8 -22%**

(MH, p.2685)

Plage de compression% (dynamique, hydraulique)

(Squeeze, **Sq%**) : **12-24%**

(MH, p.2685)

Montage radial, joint torique 4 lobes : ISO -1XXA W=2,62 mm:

Plage de compression% (statique)

(Squeeze, **Sq%**) : **6- 20%**

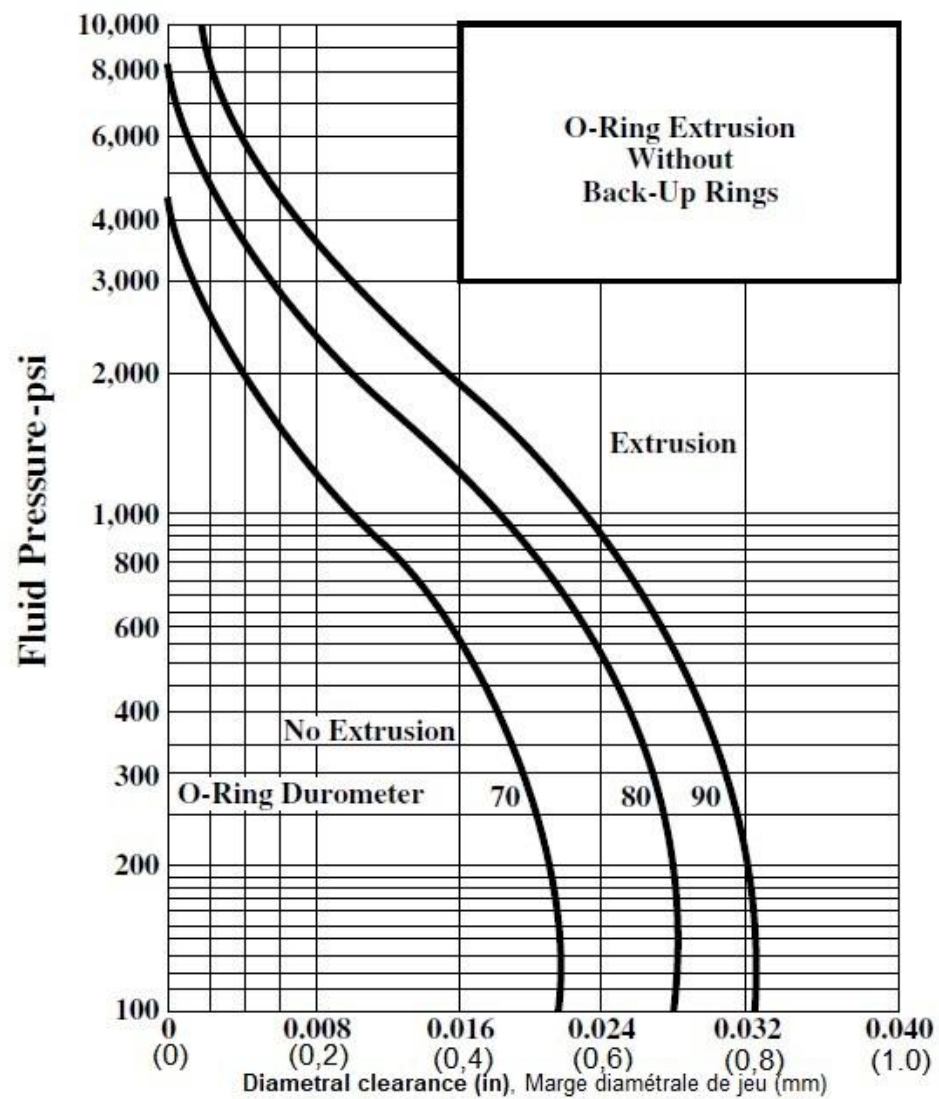
Plage de compression% (dynamique, pneumatique)

(Squeeze, **Sq%**) : **5- 22%**

Plage de compression% (dynamique, hydraulique)

(Squeeze, **Sq%**) : **5- 25%**

Marge diamétrale de jeu MH p.2679



Exemple : Calculs étirement, compression et taux de remplissage de la rainure :

MH p.2686

Cas joint d'étanchéité arrangement piston (translation dynamique, hydraulique)

Étirement: $\text{Stretch}\% = ((PG-ID) / ID) \times 100\% \leq 5\%$ ⑤

Profondeur de la rainure: $F = ((BORE - PG) / 2)$ ④

Volume de la rainure : $GVol = (\pi/4) \times (BORE^2 - PG^2) \times G$ ⑥

Cas joint d'étanchéité arrangement tige (translation dynamique, hydraulique)

Étirement: $\text{Stretch}\% = ((ROD-ID) / ID) \times 100\% \leq 5\%$

Profondeur de la rainure: $F = ((BG - ROD) / 2)$

Volume de la rainure : $GVol = (\pi/4) \times (BG^2 - ROD^2) \times G$

Cas commun (Joint torique rond)

Réduction de la section en étirement : $AR\% = \text{Stretch}\% \times \mu$ ①

Section étiré du joint torique : $WR = W - ((AR\%/100) \times W)$ ②

Pourcentage de compression : $SQ\% = ((WR - F) / W) \times 100\% < [12\%-24\%]$ ③

Volume du joint torique: $OVol = (\pi^2/4) \times (ID + W) \times W^2$ ⑥

Pourcentage de remplissage de la rainure : $\text{Fill}\% = (OVol / GVol) \times 100\% = 65\%$ ⑦

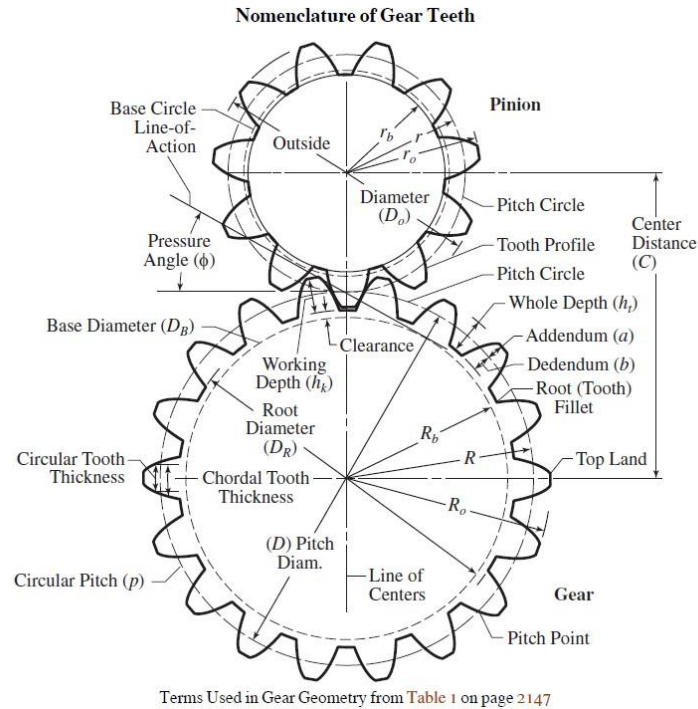
TYPES DE VALVE

RÈGLES DE CONCEPTION : FABRICATION ADDITIVE SLS

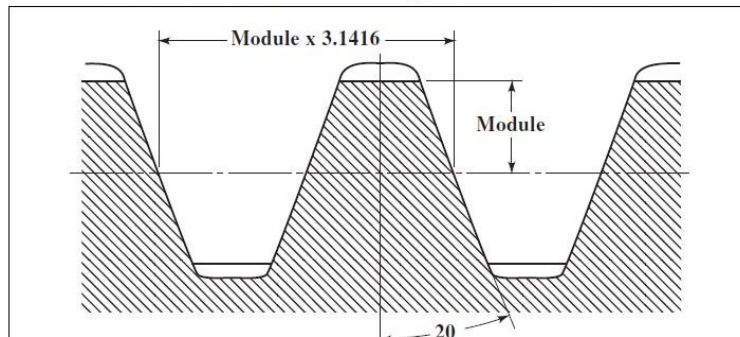
VOIR :

FUSE-1-SLS RÈGLE DE CONCEPTION SUR PORTAIL

ENGRENAGES (révision) MH p.2208 & 2296



German Standard Tooth Form for Spur and Bevel Gears DIN 867



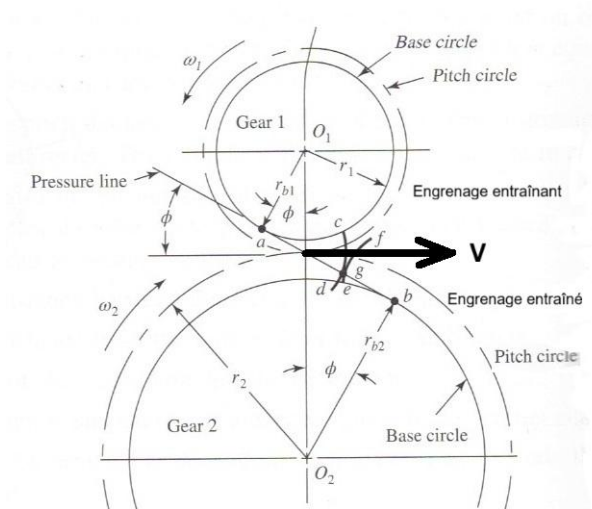
M = Module de l'engrenage Ex. Module du pignon du moteur fourni est 1.5M ou 1.5 mm

N = Nombre de dents de l'engrenage

D = M x N = Diamètre primitif (Pitch diameter) de l'engrenage ou ligne de contact entre deux engrenages

C = D_{pignon}/2 + D_{engrenage}/2 = Distance centre-centre pignon/engrenage

Calcul couple-vitesse dans les transmissions à engrenage



Réf.3 Shigley, p.686 Figure 13-7

$$V = r_1 \cdot \omega_1 = r_2 \cdot \omega_2$$

$$e = \text{rapport de transmission} = \frac{\omega_{\text{menée}}}{\omega_{\text{menant}}} = \frac{\omega_{\text{out}}}{\omega_{\text{in}}} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{2r_1}{2r_2} = \frac{D_1}{D_2} = \frac{M \cdot N_1}{M \cdot N_2} = \frac{N_{1_menant}}{N_{2_menée}} = \frac{T_1}{T_2}$$

où

V : Vitesse périphérique commune des engrenages au niveau du diamètre primitif [m/s]

ω_1 & ω_2 : Vitesses angulaires de rotation des engrenages menant & mené [rad/s] ou [RPM],

r_1 & r_2 : Rayons primitifs des engrenages menant & mené [mm],

D_1 & D_2 : Diamètres primitifs des engrenages menant & mené [mm],

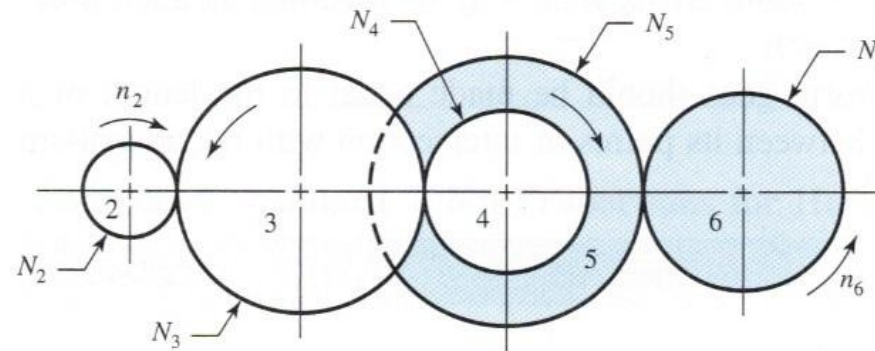
M : Module des dents d'engrenage [mm],

N_1 & N_2 : Nombre de dents des engrenages menant et mené [#],

T_1 & T_2 : Couples exercés par les engrenages menant et mené [N m].

Train d'engrenage

- Pour un train simple de deux engrenages on peut envisager, de façon générale, un rapport de transmission maximum de $e=1 : 10$.
- Pour obtenir un rapport de transmission e plus important, on peut agencer les engrenages en série.



Réf.3 : Shigley p. 704, Figure 13-23

$$e = \text{rapport de transmission du train} = \pm \frac{\text{produit: nombre de dents des engrenages menants}}{\text{produit: nombre de dents des engrenages menés}}$$

Pour le train d'engrenage de la figure ci-dessus :

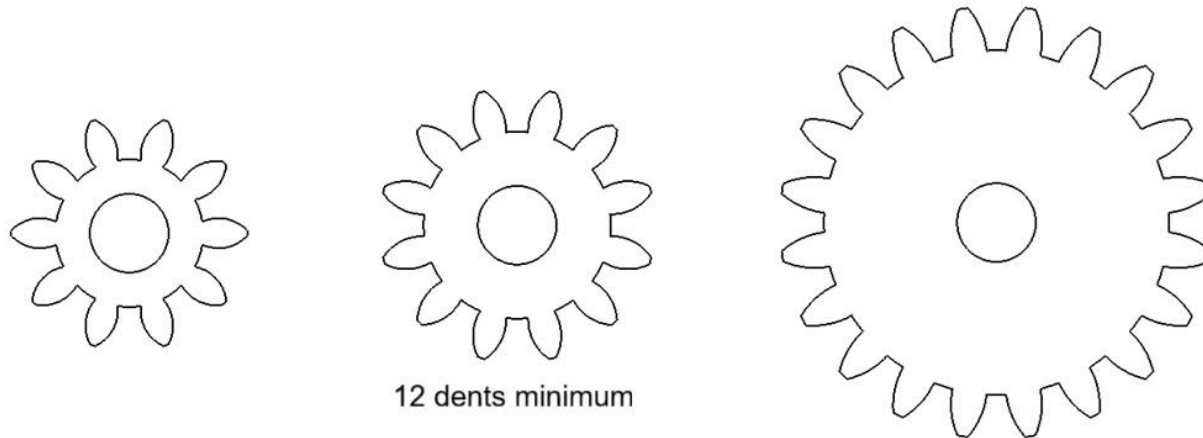
$$e_{\text{train}_{23456}} = \frac{\omega_6}{\omega_2} = (-) \frac{N_2 N_3 N_5}{N_3 N_4 N_6}$$

Où le signe négatif signifie que la direction de rotation du dernier engrenage 6 est inversée par rapport à la direction de rotation de l'engrenage entraînant 2.

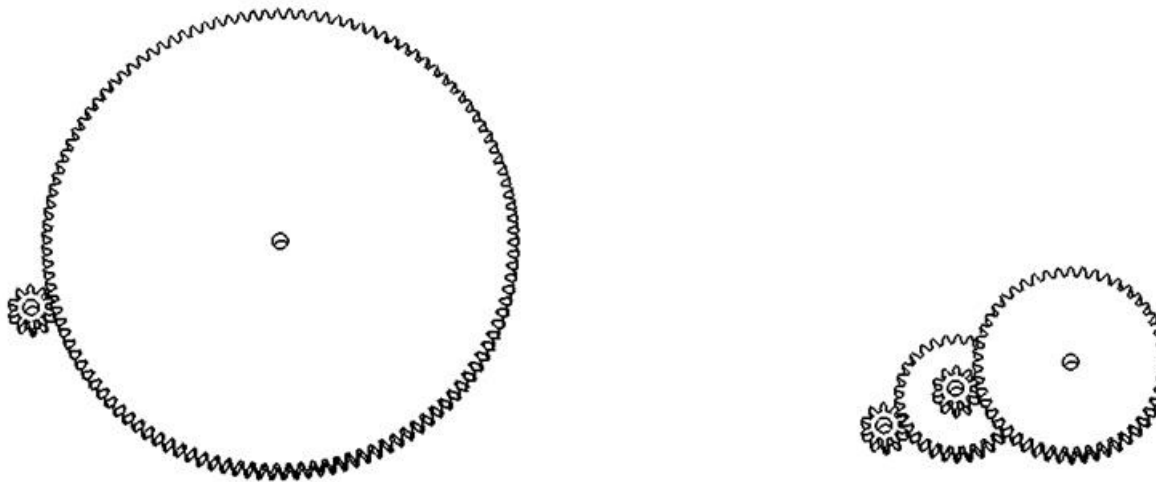
- **Règle** : Si le nombre d'engrènement est impair, comme dans ce cas-ci (=3), alors la direction est inversée. Si le nombre d'engrènement est pair alors la direction de rotation de l'engrenage menant et mené est la même
- **Observation** : combinaison (menant 6-54-3 mené) permet d'amplifier le couple, contrairement à 3-45-6.

Engrenages (suite)

- Nombre minimum de dents



- Rapport de transmission vs dimensions (réducteur de vitesse $G \Rightarrow D$)



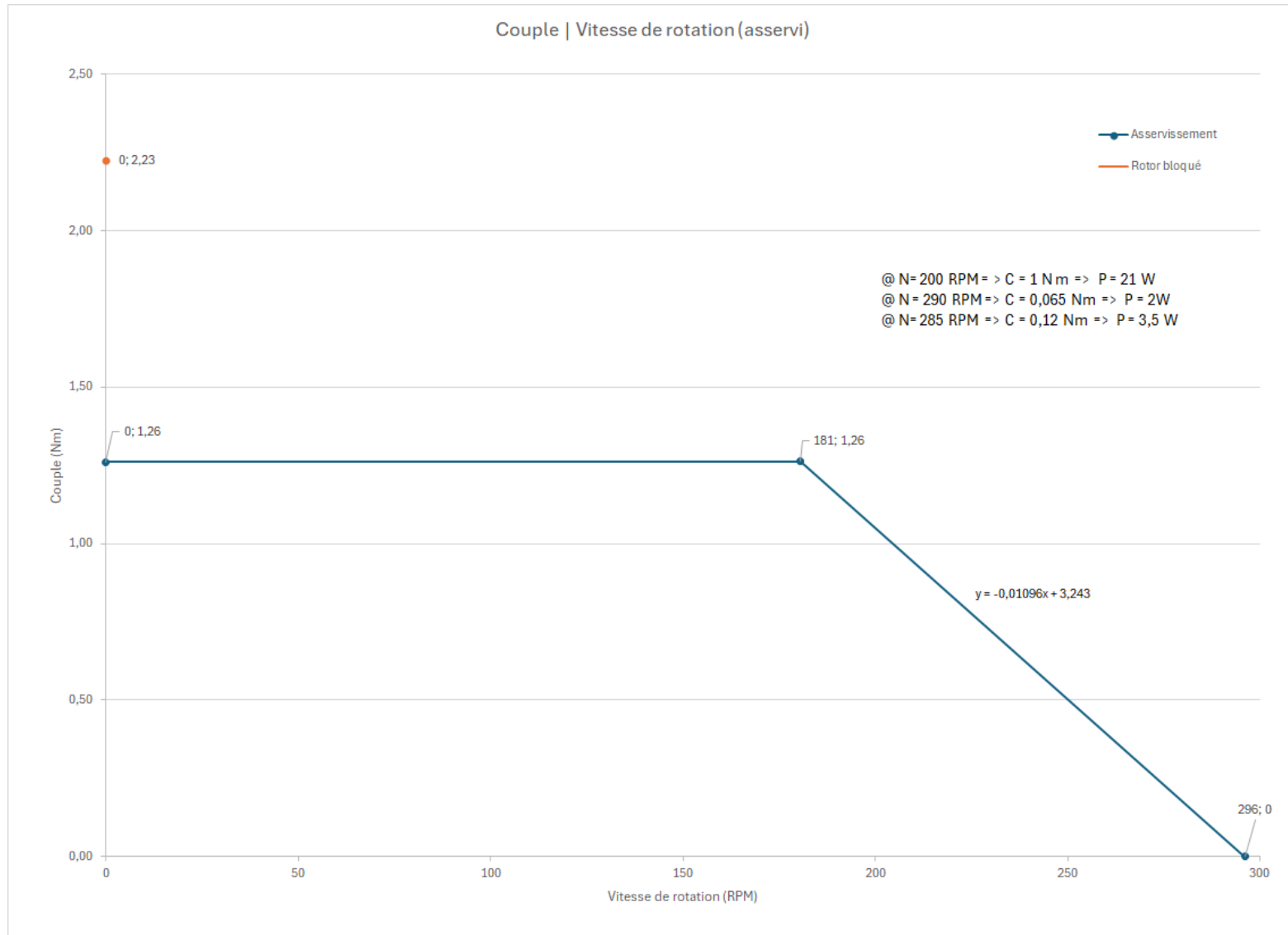
Rapport $e=(-)1 : 10 = (12T / 120T)$

vs

Rapport $e=(+)1 : 10 = 1/2.5 * 1/4 = (12T / 30T-12T / 48T)$

Plage de fonctionnement du moteur : projet 4

Couple [Nm] vs vitesse de rotation [RPM]



Références :

1. MH Machinery's Handbook, 31 edition, Industrial Press 2020, ISBN 978-0-8311-3731-1
2. GSTI Fauchon, J.L, Guide des sciences et technologies industrielles, AFNOR, NATHAN 1994, ISBN 2.09.1766322.1
3. Product Design for Manufacture and Assembly, Geoffrey Boothroyd, Marcel Dekkerinc. ISBN 0-8247-9176-2
4. Budynas R.G., Nisbett J.K., Shigley's, Mechanical Engineering Design, eleventh edition 2020, McGraw Hill, ISBN 978-1-260-56999-5