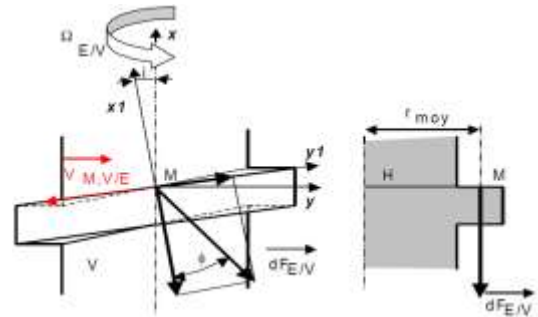


# Cycle 2: Concevoir, étudier et réaliser des architectures et solutions technologiques

## Chapitre 4 – Architecture de la liaison hélicoïdale

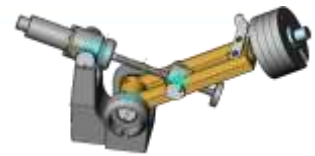
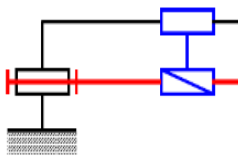
Quelles solution utilisent les industriels pour réaliser des liaisons hélicoïdales en transmission de puissance ?

Nous allons voir dans ce chapitre les différentes solutions, les contraintes de conception et de fabrication. Nous allons apprendre à valider une solution par le dimensionnement (efforts, pressions de contact, rendement, couple...)



Problématique

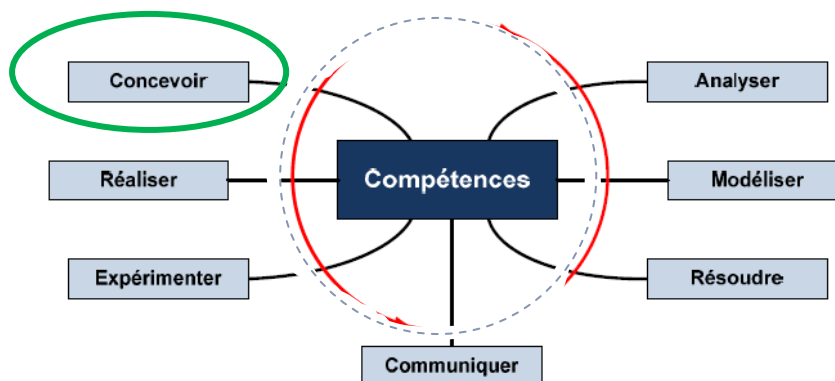
Quels sont les principales architectures pour la liaison hélicoïdale ? Comment dimensionner une telle liaison (effort axial, couple transmissible, frottements, rendement ... ) ?



Savoir

### E. Concevoir:

- Proposer une architecture fonctionnelle et structurelle d'une liaison hélicoïdale
- Connaître les différentes technologies (à sec, glissement, roulement)
- Choisir et justifier une solution d'architecture
- Dimensionner une architecture (effort axial, couple transmissible, rendement...)



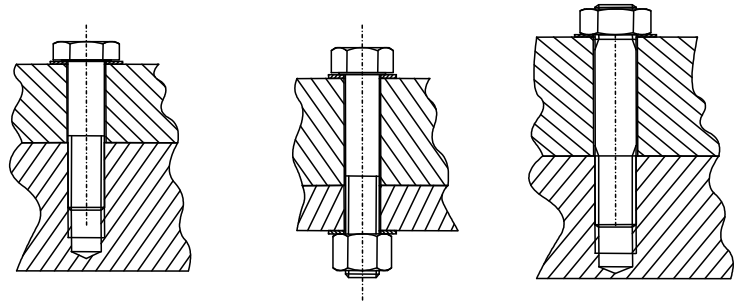


## Architecture de la liaison hélicoïdale

### 1. Introduction

Les systèmes **vis-écrou** peuvent être utilisés pour réaliser des **assemblages** (cf liaison encastrement PTSI) ou pour **transformer un mouvement** : rotation - translation.

Les deux applications n'utilisent pas les mêmes **géométries de filets** pour des raisons de facilité de fabrication, de rendement et de résistance mécanique.



Assemblage vissé

Assemblage boulonné

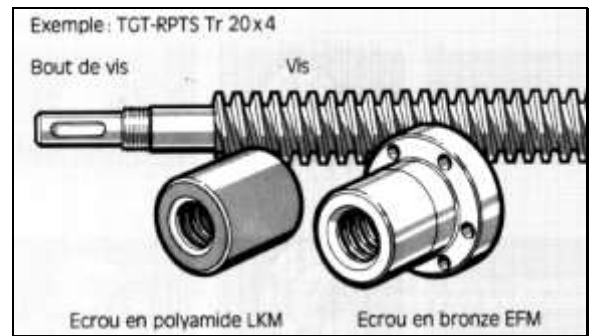
Assemblage goujonné

### 2. Système vis-écrou par frottements

Le système vis-écrou à frottement est fréquemment utilisé car :

- **peu cher**
- **fiable**
- **sécurisant** (système le plus souvent irréversible).

Les vis sont généralement en acier et les **écrous** peuvent être en **bronze, acier** ou **plastique**.



### 3. Définition de la liaison hélicoïdale

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison hélicoïdale d'axe  $i$  si le **torseur cinématique** de  $S_1 / S_2$ , s'écrit, en tout point  $M$  de l'axe  $(O,i)$  :

$$\{V_{(S_1/S_2)}\}_{\forall M \in (O,i)} = \begin{cases} \overline{\Omega_{S_1/S_2}} = \omega \vec{i} \\ \overline{V_{M,S_1/S_2}} = \pm \omega \frac{p}{2\pi} \vec{i} \end{cases}$$

où  $\omega$  s'exprime en rad/s et  $p$  représente de pas en mm,  $\pm$  pour le sens du filet à droite ou gauche

La liaison hélicoïdale est donc une liaison à **une seule mobilité** et donc **une seule inconnue cinématique** :  $n_c=1$ .

Soit une base orthonormée directe dont l'un des vecteurs est  $i$ ,  $(i,j,k)$  par exemple. Si la liaison est parfaite, le **torseur des efforts transmissibles** entre les 2 solides  $S_1$  et  $S_2$ , en tout point  $M$  de l'axe  $(O,i)$ , est de la forme :

$$\{F_{(S_2 \rightarrow S_1)}\}_{\forall M \in (O,i)} = \begin{cases} X_{21} \vec{i} + Y_{21} \vec{j} + Z_{21} \vec{k} \\ L_{21} \vec{i} + M_{21} \vec{j} + N_{21} \vec{k} \end{cases} \quad \text{Avec : } \begin{cases} L_{21} = -\frac{p}{2\pi} X_{21} & \text{Si l'hélice est à droite} \\ L_{21} = \frac{p}{2\pi} X_{21} & \text{Si l'hélice est à gauche} \end{cases}$$

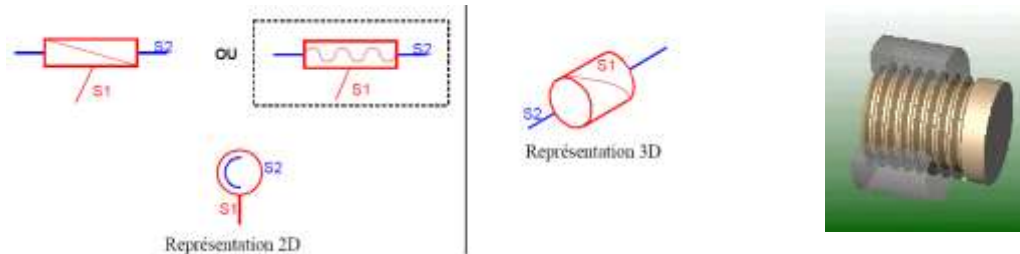
La liaison hélicoïdale est donc une liaison à **5 inconnues statique** :  $n_s=5$  et **1 inconnue cinématique** :  $n_c=1$



Architecture de la liaison hélicoïdale

4. Schématisation

La pièce  $S_1$ , le contenant, est appelé **ECROU**. La pièce  $S_2$ , le contenu, est appelé **VIS**.



5. Fonctions assurées par la liaison hélicoïdale

Assurer une liaison hélicoïdale	Transformer un mouvement	Précision du guidage	$Jeu < J_{max}$
	Transmettre des efforts	Déformation des pièces	
		Résister au matage	$P_{contact} < P_{matage}$
		Résister à l'usure	Durée de vie
	Limiter les pertes	Rendement de la liaison	

5.1. Fonction transformer un mouvement

Il s'agit de **transformer un mouvement de rotation en mouvement de translation ou inversement**. Cette fonction est caractérisée par :

- La précision du déplacement,
- La stabilité du positionnement.

Ces facteurs sont liés :

- Au jeu dans la liaison,
- A la précision géométrique et dimensionnelle des éléments,
- A la rigidité des composants.

5.2. Fonction transmettre des efforts

Cette fonction dépend des **caractéristiques mécaniques des matériaux** et de la **morphologie des pièces**. L'étude du comportement de la liaison doit prendre en compte :

- La résistance mécanique des filets et du noyau de la vis,
- Les déformations,
- Les pressions de contact,
- Le frottement,
- L'usure,
- La corrosion.

5.3. Fonction limiter les pertes

Cette fonction est relative à la perte d'énergie dans la liaison. Elle dépend du coefficient de frottement et de la précision des éléments.



Architecture de la liaison hélicoïdale

6. Choix d'une liaison vis-écrou / différents filets

Dans une vis à friction, une grande partie de l'énergie transmise est dissipée sous forme de chaleur (jusqu'à 70%), ce qui peut provoquer une dilatation irrégulière et le **grippage de l'écrou sur la vis**.

Les vis à friction conviennent pour des **utilisations peu fréquentes** sous **charges statiques** (réglage). Le **faible rendement** peut être un avantage pour rendre le système **irréversible**.

Dès que les **vitesse de rotation**, la **précision** ou la **fréquence** d'utilisation deviennent importante, on utilisera une **vis à billes**.

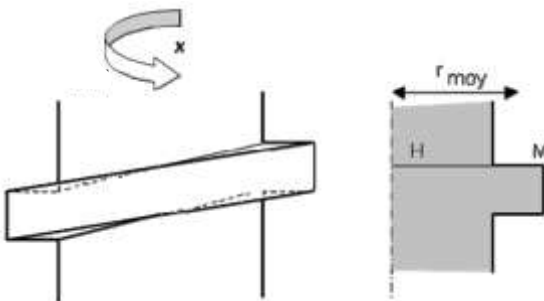
Les caractéristiques à choisir sont : **la géométrie, le diamètre nominal, le pas, les matériaux**. Les données sont : **l'effort axial ou le couple**.

Voici un tableau donnant les différents types de filet et leurs caractéristiques :

Triangulaire ISO (métrique)	Trapézoïdal : TR	Filet rond	Filet carré	Filet WHITWORTH Filet du gaz	Filet ART (pour artillerie)
$\alpha=30$	$\alpha=15$			$\alpha=22.5$	
fabrication : très facile	fabrication : assez facile	fabrication : très difficile	fabrication : difficile	fabrication : difficile	fabrication : assez facile
rendement : médiocre	rendement : correct	rendement : médiocre	rendement : très bon	rendement : médiocre	rendement : très bon ou bon suivant le sens
résistant	résistant	très résistant au choc	peu résistant	résistant	assez résistant
Utilisation : Organes d'assemblage : Vis ...	Utilisation : transformation de <i>movt.</i>	Utilisation : très résistant au choc	Utilisation : transformation de <i>movt.</i> non normalisé	Utilisation : raccord, étanchéité, canalisation...	Utilisation : transformation de mouvement vis de presse...

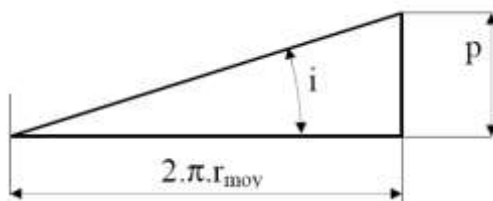
7. Effort réel dans la liaison par frottement

Considérons une liaison hélicoïdale entre un écrou et une vis **frottant l'un contre l'autre, le profil étant CARRE**.



Notons :

- $p$  = pas en mm/tr,
- $i$  = angle d'hélice calculé sur le rayon moyen :  $\tan i = \frac{p}{2\pi r_{moy}}$
- $f = \tan \phi$  = coefficient de frottement entre l'écrou et la vis.
- $S$  = surface de contact entre l'écrou et la vis.
- $O$  = point de l'axe de la liaison hélicoïdale.





---

## Architecture de la liaison hélicoïdale

---

Dans le cas d'une liaison parfaite, nous avons vu que la relation entre l'effort axial exercé par l'écrou sur la vis et le moment autour de l'axe de la liaison est :  $L_{EV} = \pm \frac{P}{2\pi} X_{EV}$

Dans le cas d'une **liaison réelle avec FROTTEMENT**, la relation n'est pas la même. Il faut distinguer 2 cas :

### 7.1. Moment moteur, effort axial récepteur

Considérons le cas où : **l'écrou est moteur en rotation, la vis étant immobile** par rapport au bâti (**boulon**) ou la **vis est motrice en rotation, l'écrou étant immobile** (**assemblage vissé**)

On retrouve souvent cette formule en assemblage vissé écrite comme suit qui donne le couple de serrage ou couple transmissible:

$$C_s = - F_a \cdot r_{moy} \cdot \tan(i + \varphi)$$

avec  $C_s$  = couple de serrage,  $F_a$  = effort axial

### 7.2. Effort axial moteur, moment récepteur

Considérons maintenant le cas où : **l'écrou est moteur en translation, la vis peut tourner mais pas se translater** par rapport au bâti (plus rare) ou la **vis est motrice en translation, l'écrou peut tourner mais pas se translater**.

La formule du couple de serrage (ou transmissible) devient :

$$C_s = - F_a \cdot r_{moy} \cdot \tan(i - \varphi)$$

## 8. Rendement de la liaison hélicoïdale

### 8.1. Rappels sur la puissance

La puissance de l'action mécanique exercée sur un solide S dans son mouvement par rapport à 0 est égale à :

$$P = F \cdot V_{P,S/0} + M_p \cdot \Omega_{s/0}$$

La puissance d'un effort axial est un cas particulier et vaut :  $P = F_a \cdot V$

La puissance d'un moment vaut :  $P = C \cdot \Omega$

### 8.2. Rendement d'une liaison

Soit S1 et S2 deux solides en liaison. Soit  $P_{mot}$  la puissance motrice que l'extérieur donne à S1 et  $P_{rec}$  la puissance réceptrice reçue par l'extérieur par S2.

Le rendement de la liaison est noté  $\eta$  et est défini par :  $\eta = \frac{P_{rec}}{P_{mot}}$  avec  $0 < \eta < 1$



Architecture de la liaison hélicoïdale

8.3. Cas d'un moment moteur et effort axial récepteur

Soit  $\{\omega_{EV} \vec{x} \ 0\}_E$  le torseur cinématique de l'écrou dans son mouvement par rapport au bâti et  $\{0 \ V_{V/D} \vec{x}\}_P$  le torseur cinématique de la vis dans son mouvement par rapport au bâti.

Dans le cas où le moment sur l'écrou est moteur et que l'effort axial est récepteur, on a :

$$|P_{réceptrice}| = |X_{EV} \cdot V_{V/D}| = \left| -X_{EV} \cdot \omega_{E/D} \cdot \frac{p}{2\pi} \right|$$

$$\frac{P}{2\pi} = r_{moy} \cdot \tan i \Rightarrow |P_{réceptrice}| = \left| -X_{EV} \cdot \omega_{E/D} \cdot r_{moy} \cdot \tan i \right|$$

$$|P_{moteur}| = |L_{EV} \cdot \omega_{E/D}| = \left| -X_{EV} \cdot r_{moy} \cdot \tan(i + \varphi) \cdot \omega_{E/D} \right|$$

$$\eta = \frac{\left| -X_{EV} \cdot \omega_{E/D} \cdot r_{moy} \cdot \tan i \right|}{\left| -X_{EV} \cdot r_{moy} \cdot \tan(i + \varphi) \cdot \omega_{E/D} \right|} = \frac{\tan i}{\tan(i + \varphi)}$$

8.4. Cas d'un effort axial moteur et moment récepteur

Si l'effort axial sur l'écrou est moteur et le moment récepteur, on aura de la même façon :

$$\eta = \frac{\tan(i - \varphi)}{\tan i}$$

9. Réversibilité du système vis écrou

L'**irréversibilité** caractérise la possibilité d'un système vis-écrou de ne **pas se mettre en mouvement** si l'on exerce sur lui une force ou un couple. Il faut noter que l'irréversibilité **ne dépend pas de la valeur de la force**. Elle ne dépend que de la valeur du **coefficient de frottement** entre la vis et l'écrou et de la **géométrie de la vis** (valeurs de  $i$  et  $\varphi$ ).

*L'irréversibilité est utilisée par exemple dans les systèmes de levage (garage automobile) pour sécuriser le fonctionnement. La charge ne pouvant descendre sans la rotation du moteur électrique, le fabricant peut certifier que le système reste immobile en cas de coupure de courant.*

Cas 1 : effort axial moteur

Dans le cas d'un effort axial moteur, le rendement est égal à  $\eta = \frac{\tan(i - \varphi)}{\tan i}$ . Si  $i < \varphi$ , alors  $\tan(i - \varphi) < 0$ .

Or,  $\eta > 0$ . Donc la translation de la vis entraîne la rotation de l'écrou si  $i > \varphi$

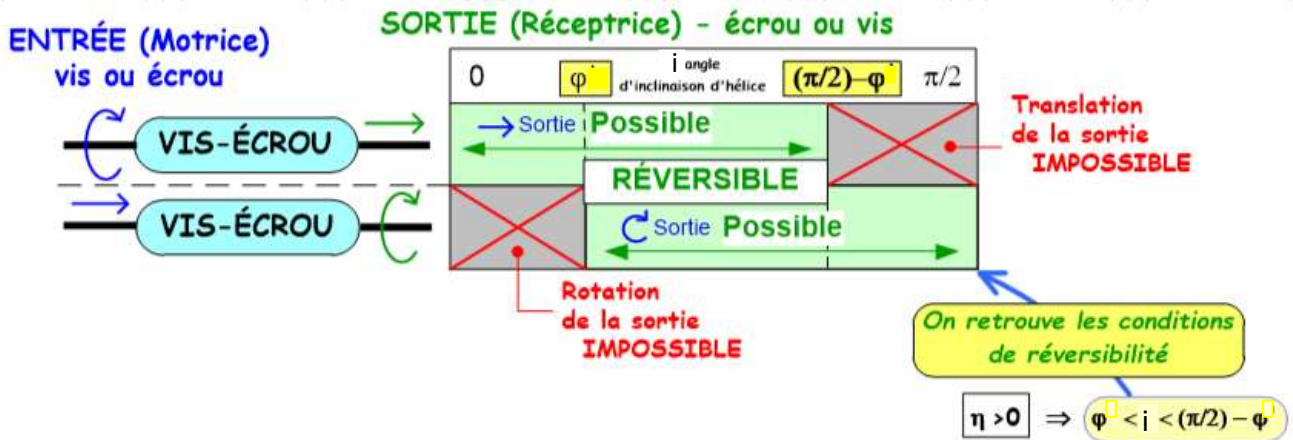
Cas 2 : moment moteur

Dans le cas d'un moment moteur, le rendement est égal à  $\eta = \frac{\tan i}{\tan(i + \varphi)}$ .

Or,  $\eta > 0$ . Donc la rotation de la vis entraîne la translation de l'écrou si  $i > 0$  et  $i < \pi/2 - \varphi$

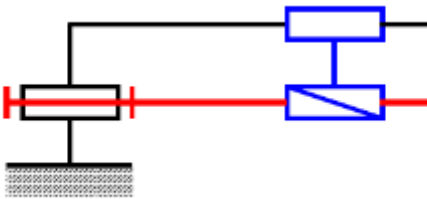


Architecture de la liaison hélicoïdale



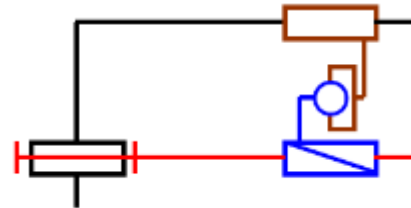
10. Architecture de la solution de transformation de mouvement

10.1. Schéma de montage

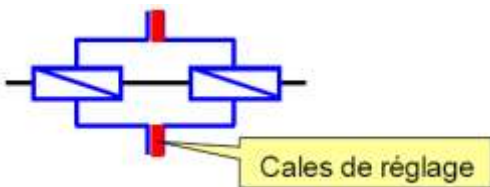


Ce montage est **hyperstatique de degré  $h=(5+5+5)-2*6+1 = 4$**  (glissière+hélicoïdale). Il convient d'ajouter :

- d'imposer des tolérances serrées ou,
- de laisser des jeux suffisants ou
- d'ajouter une liaison pour rendre le système isostatique



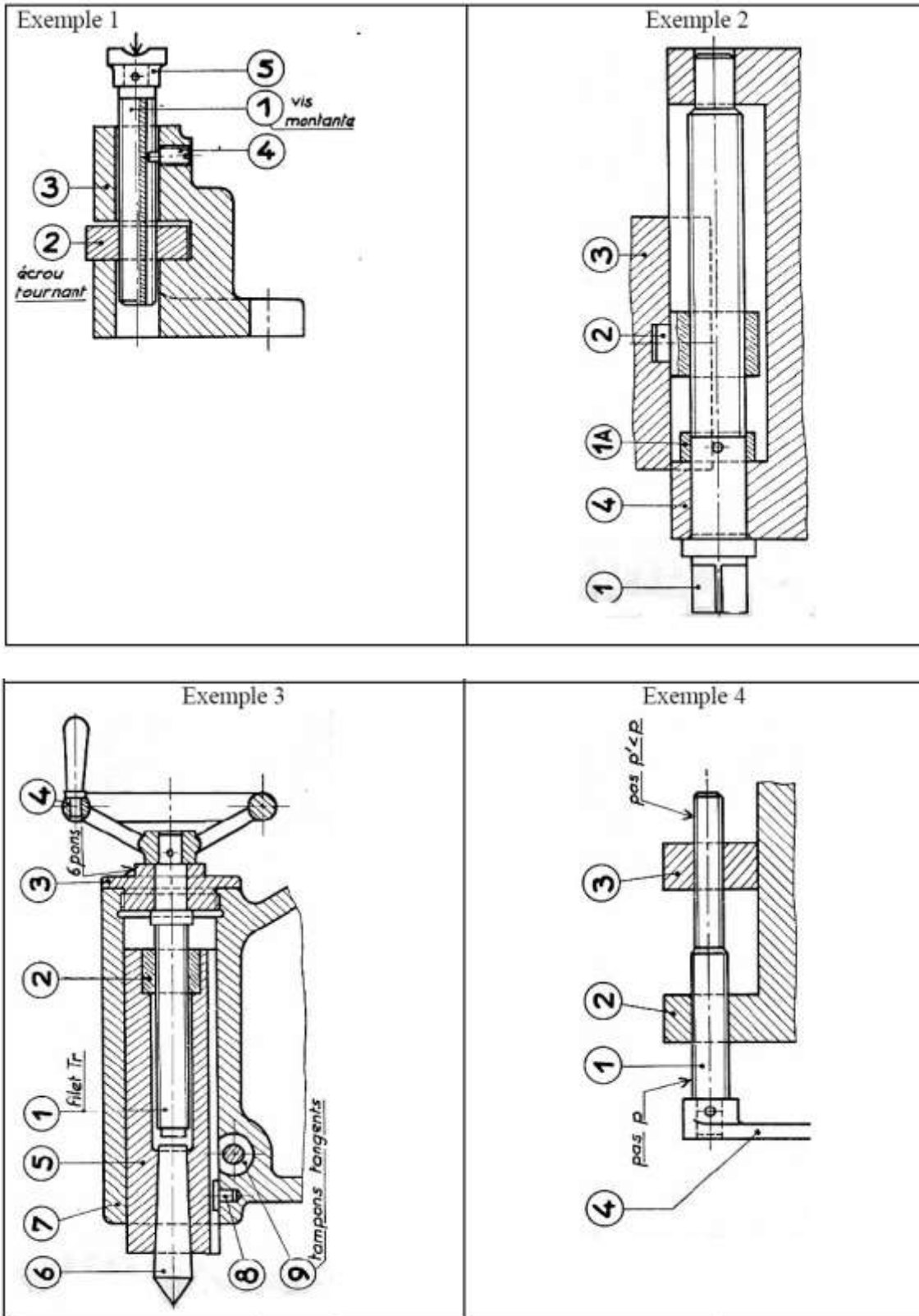
10.2. Réglage du jeu interne





Architecture de la liaison hélicoïdale

11. Solutions constructives vis écrou par glissement







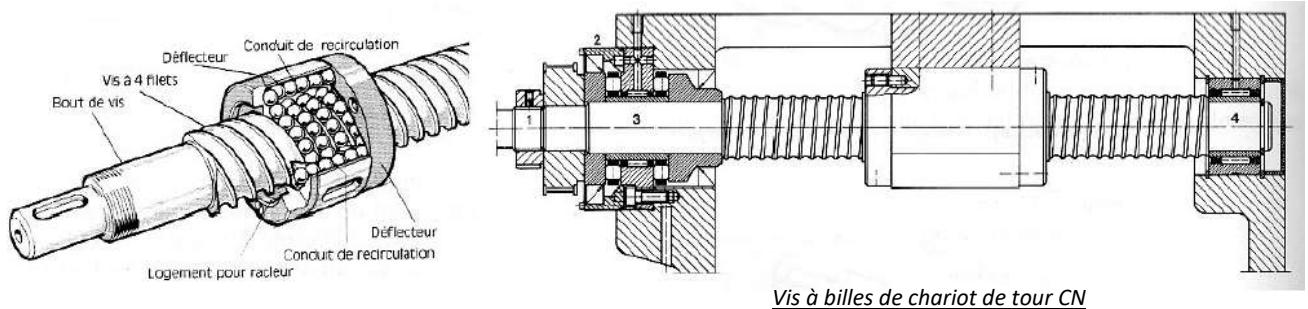

---

 Architecture de la liaison hélicoïdale
 

---

## 12. Solutions constructives vis écrou par roulement

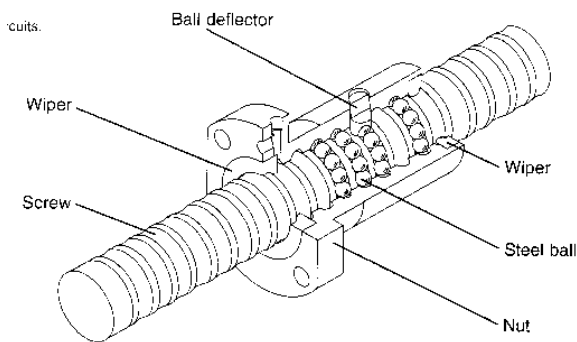
## Les vis à billes (type SKF)



Vis à billes de chariot de tour CN

Les vis à bille permettent **d'éviter le frottement entre l'écrou et la vis**. Ceci permet :

- d'obtenir des **déplacements très précis** (machine outil, robotique)
- de supporter des **fortes charges**,
- d'éliminer les problèmes de **stick-slip** (collé-glissé)
- et d'augmenter les **vitesses de translation**.



Les billes s'interposent entre l'écrou et la vis. Le **recyclage** se fait soit par un **tube extérieur** soit par un **conduit interne**. La fréquence de recyclage dépend de la classe de précision de la vis. Pour des vis de précision (machine outil, robot... ) les billes sont **recyclées tous les tours**. Pour une utilisation classique les billes sont recyclées toutes les 2 ou 3 tours.

**Matériaux :**

Vis acier au carbone, trempé par induction (sur demande ces vis peuvent être protégées par une phosphatation au manganèse).

- **Écrou acier trempé phosphaté.**

- **Flasques: acier phosphaté**

- **Billes acier 100 C 6**

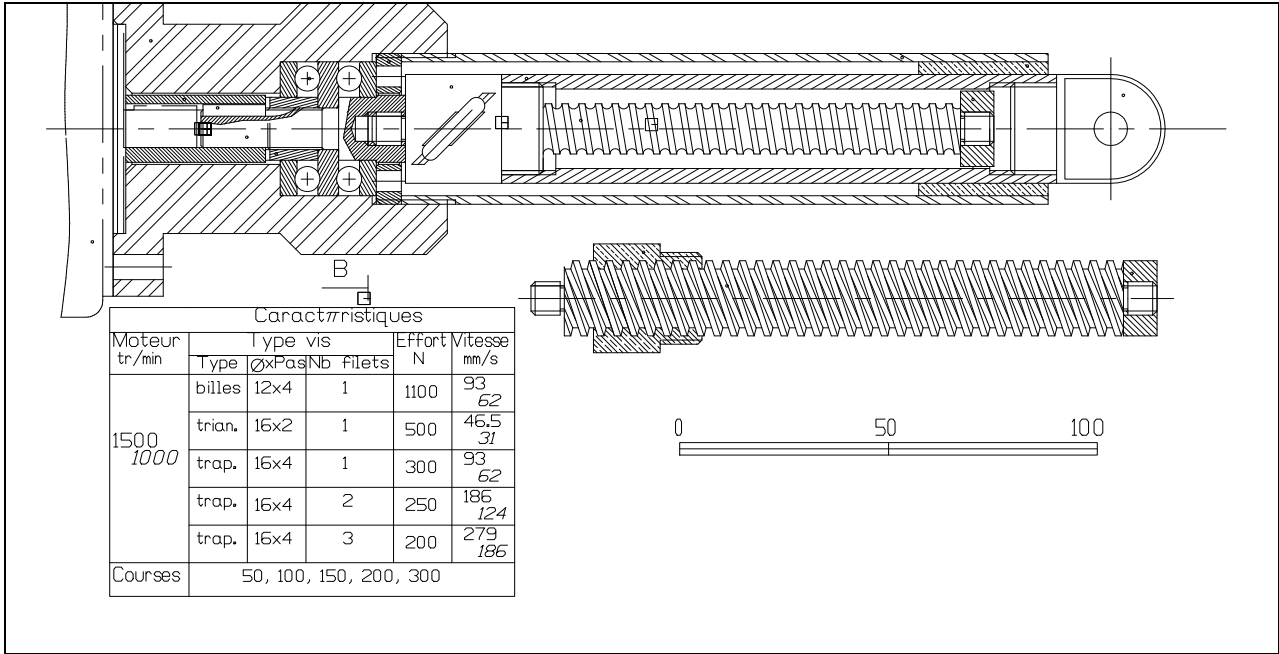
La dureté aux points de contact est de **56 HRC**.



Architecture de la liaison hélicoïdale

Exemple :

Sur vérin électrique (cf TD à suivre) on peut monter une vis à billes ou un système vis écrou en fonction de l'utilisation. Le moto-réducteur est placé en bout d'arbre à gauche du vérin.



Précautions par rapport aux vis à billes :

- Attention à la **vitesse limite** de rotation (donc de translation écrou) pour **limiter les vibrations**. Elle dépend du type de vis à billes,
- Attention au montage afin d'éviter les **risques de flambage** (efforts axiaux et longueur),

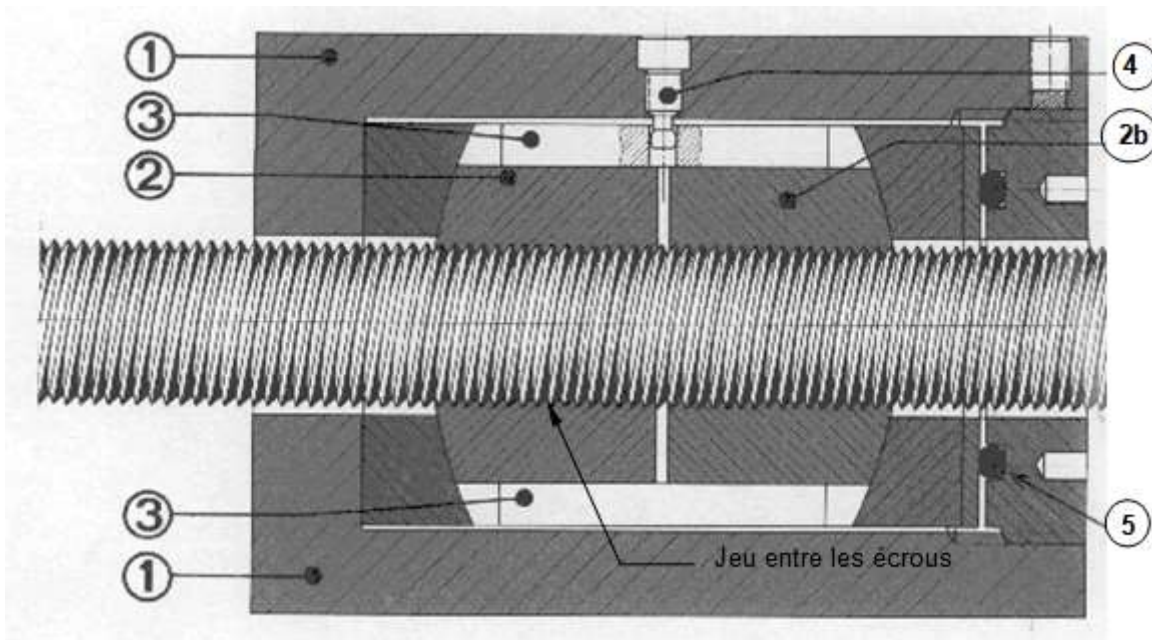


---

## Architecture de la liaison hélicoïdale

---

### 13. Ecrou spécifique dit « flottant »



La partie extérieure du système est un **boîtier (1)** renfermant l'écrou proprement dit. Celui-ci est constitué de **deux écrous (2 et 2b)** solidarisés transversalement par deux **longues clavettes coulissantes (3)** diamétralement opposées. L'une d'elles intercepte un **doigt-rotule ou "toc" (4)** solidaire du boîtier, lequel reçoit ainsi l'effort radial des écrous, tout en autorisant un mouvement oscillant relatif dans le sens longitudinal (le plus important pour la précision).

C'est un ressort ou un **joint torique comprimé (5)** qui, par réaction sur le fond du boîtier, tend à plaquer les deux écrous l'un contre l'autre. Mais, par un jeu volontaire, ceux-ci ne peuvent se toucher, et il en résulte un plaquage sur les propres filets de la vis. Sous peine d'annuler tous les avantages de ce principe, l'effort longitudinal "résistant" ne doit être en aucun cas supérieur à la pression de montage exercée par le ressort. Cette pression ou "précharge" peut être soigneusement tarée par une bague de compression. Il est en effet souhaitable de ne pas lui donner une valeur exagérée pour que le couple nécessaire à la vis demeure voisin de sa valeur normale, celle qui résulterait d'un écrou ordinaire.

**Application :** ascenseur de radiologie (**déplacement de la table par vis écrou flottant**), cf TD à suivre....

