

## I. Introduction

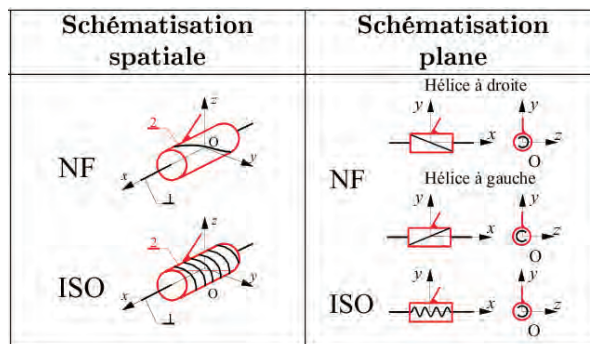
Un système vis-écrou correspond à la solution technologique associée à la réalisation d'une liaison hélicoïdale entre deux solides. Cette liaison est une liaison avec une unique mobilité, les mouvements de translation et de rotation sont liés par le pas de la vis. Elle permet d'assurer la transformation d'un mouvement de rotation en mouvement de translation.

### A. Rappel

Deux solides  $S_1$  et  $S_2$  sont en liaison hélicoïdale de direction  $\vec{x}$  si le torseur cinématique de  $S_1$  par rapport à  $S_2$ , s'écrit, **en tout point de l'espace** :

$$\{V_{(S_1/S_2)}\} = \left\{ \begin{array}{l} \omega \cdot \vec{x} \\ v \cdot \vec{x} = \pm \omega \frac{P}{2\pi} \cdot \vec{x} \end{array} \right\} \quad \forall P \in R_g$$

où  $v$  s'exprime en  $m.s^{-1}$ ,  $\omega$  en  $rad.s^{-1}$  et  $p$  en  $mm.tour^{-1}$ . Pour une hélice à droite  $v \cdot \vec{x} = \omega \frac{P}{2\pi} \cdot \vec{x}$  et pour une hélice à gauche  $v \cdot \vec{x} = -\omega \frac{P}{2\pi} \cdot \vec{x}$ .



Représentation plane et spatiale de la liaison hélicoïdale

Si la liaison est parfaite, la puissance développée par les inter-efforts entre les deux solides est nulle, le torseur des efforts transmissibles par la liaison glissière d'axe  $\vec{x}$  entre les deux solides  $S_1$  et  $S_2$  est, **en tout point de l'espace**, de la forme :

$$\{F_{(S_2 \rightarrow S_1)}\} = \left\{ \begin{array}{ll} X_{21} & L_{21} \\ Y_{21} & M_{21} \\ Z_{21} & N_{21} \end{array} \right\}_{(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})} \quad \text{avec} \quad \begin{array}{l} L_{21} = -\frac{P}{2\pi} \cdot X_{21} \text{ si l'hélice est à droite} \\ L_{21} = \frac{P}{2\pi} \cdot X_{21} \text{ si l'hélice est à gauche} \end{array}$$

On appelle généralement le contenant **2 l'écrou** et le contenu **1 la vis**.

## II. Fonction réalisée par la liaison

Assurer une liaison hélicoïdale	Transformer le mouvement	Précision du guidage	Jeu $< J_{Max}$
	Transmettre les actions mécaniques	Déformation des pièces	
		Résistance au matage	$p_{contact} < p_{matage}$
		Résistance à l'usure	
limiter les pertes	Rendement de la liaison	$\eta > \eta_{min}$	

### A. Transformer le 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 de liaison,
- à la précision géométrique et dimensionnelle des éléments,
- à la rigidité des composants.

La précision du guidage d'une solution technique dépend de la qualité des surfaces de contact et des jeux de fonctionnement.

### B. Transmettre les actions mécaniques

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 résistance à la fatigue,
- la corrosion.

### C. Limiter les pertes

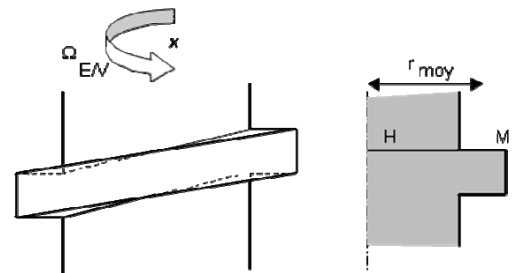
Cette fonction est relative à la perte d'énergie dans la liaison. Elle est dépend notamment du coefficient de frottement et à la précision géométrique et dimensionnelle des éléments.

## III. Actions mécaniques dans le cas du frottement

Afin de mettre en place les notions de rendement de réversibilité et d'irréversibilité du système vis/écrou, on étudie le cas simplifié d'un contact entre une vis et un écrou frottant l'un sur l'autre avec un profil carré.

On note :

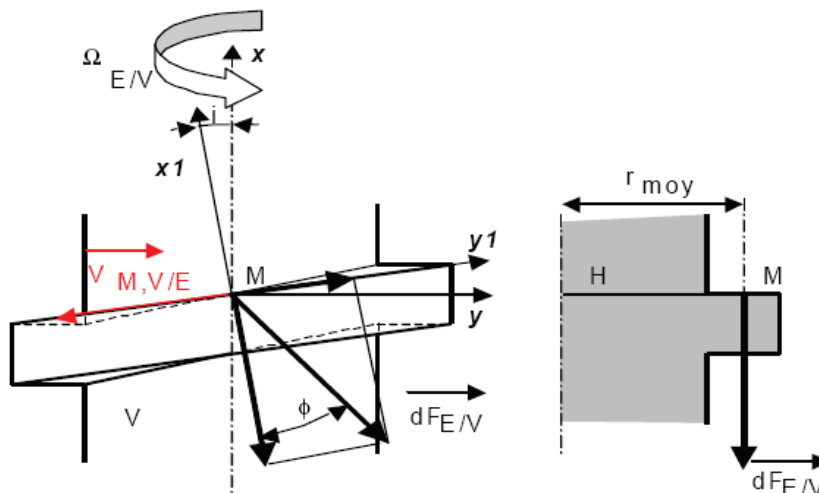
- $p$  = pas en mm/tr,
- $i$  = angle d'hélice calculé sur le rayon moyen :  $\tan i = \frac{p}{2\pi r_{moy}}$
- $f = \tan \phi$  = coefficient de frottement entre l'écrou et la vis.
- $S$  = surface de contact entre l'écrou et la vis.
- $O$  = point de l'axe de la liaison hélicoïdale.



On doit alors étudier deux cas différents correspondant à la vis motrice ou à l'écrou moteur.

### A. Cas où le moment est moteur et où l'effort axial est récepteur

Considérons le cas où l'écrou est moteur en rotation, la vis étant immobile par rapport au bâti.



La vis est ici immobile par rapport au bâti.

On note  $\left\{ \begin{matrix} \omega_{E/V} \cdot \vec{x} \\ \frac{p}{2\pi} \cdot \omega_{E/V} \cdot \vec{x} \end{matrix} \right\}$  le torseur cinématique de l'écrou dans son mouvement par rapport à la vis.

Au point  $M$ , centre d'une surface  $dS$ , l'écrou exerce un effort  $E/V$   $1 \ 1 \ \overrightarrow{dF_{E \rightarrow V}} = -pdS\vec{x}_1 + fpdS\vec{y}_1$

Le torseur de l'action mécanique de l'écrou sur la vis est :

$$\{F_{(E \rightarrow V)}\} = \left\{ \begin{array}{l} \int_S \overrightarrow{dF_{E \rightarrow V}} \\ \int_S \overrightarrow{OM} \wedge \overrightarrow{dF_{E \rightarrow V}} \end{array} \right\}_O$$

On peut alors rechercher la relation entre les composantes suivant  $\vec{x}$  :

$$X_{E \rightarrow V} = \int_S \overrightarrow{dF_{E \rightarrow V}} \cdot \vec{x} = \int_S (-pdS\vec{x}_1 + fpdS\vec{y}_1) \cdot \vec{x} = (-\cos i + f \cdot \sin i) \int_S pdS$$

$$L_{E \rightarrow V} = \left( \int_S \overrightarrow{OM} \wedge \overrightarrow{dF_{E \rightarrow V}} \right) \cdot \vec{x} = \left( \int_S \overrightarrow{HM} \wedge \overrightarrow{dF_{E \rightarrow V}} \right) \cdot \vec{x} = \left( \int_S \overrightarrow{HM} \wedge (-pdS\vec{x}_1 + fpdS\vec{y}_1) \right) \cdot \vec{x}$$

$$L_{E \rightarrow V} = \left( \int_S -r_{moy} \cdot \vec{z}_1 \wedge (-pdS\vec{x}_1 + fpdS\vec{y}_1) \right) \cdot \vec{x} = \left( \int_S (r_{moy}pdS\vec{y}_1 + r_{moy}fpdS\vec{x}_1) \right) \cdot \vec{x} =$$

$$L_{E \rightarrow V} = r_{moy}(\sin i + f \cdot \cos i) \int_S pdS$$

On peut donc en déduire la relation suivante entre les composantes  $X_{E \rightarrow V}$  et  $L_{E \rightarrow V}$  :

$$L_{E \rightarrow V} = X_{E \rightarrow V} \cdot r_{moy} \frac{(\sin i + f \cdot \cos i)}{(-\cos i + f \cdot \sin i)} \text{ et } f = \tan \phi^1$$

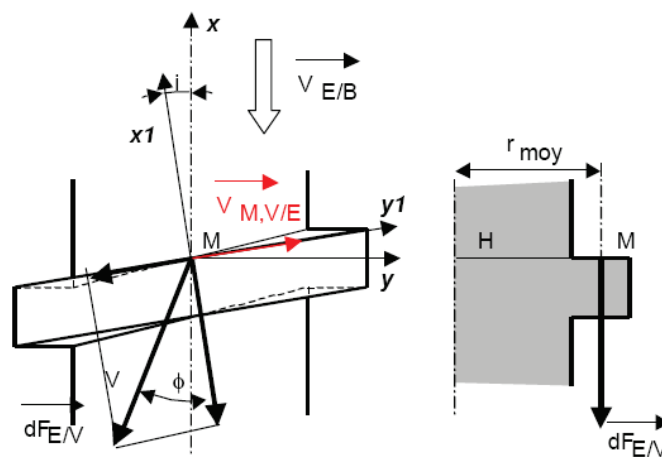
On trouve alors :

$$L_{E \rightarrow V} = -X_{E \rightarrow V} \cdot r_{moy} \cdot \tan(i + \phi)$$

Dans le cas d'une liaison parfaite, on retrouve la relation définie dans la première partie. Si la vis est motrice en rotation, le résultat est le même.

### B. Cas où le moment est récepteur et où l'effort axial est moteur

Si l'on considère à présent le cas où l'écrou est moteur en translation. La vis peut tourner par rapport au bâti, mais ne peut pas translater.



On note  $\left\{ \begin{array}{l} \vec{0} \\ -V_{E/B} \cdot \vec{x} \end{array} \right\}$  le torseur cinématique de l'écrou dans son mouvement par rapport au bâti.

On note  $\left\{ \begin{array}{l} V_{E/B} \cdot \frac{2\pi}{P} \cdot \vec{x} \\ \vec{0} \end{array} \right\}$  le torseur cinématique de la vis dans son mouvement par rapport au bâti.

<sup>1</sup> On utilise alors  $\tan(a + b) = \frac{\tan a + \tan b}{1 - \tan a \cdot \tan b}$

Au point M, centre d'une surface dS, l'écrou exerce un effort  $E/V$   $\vec{dF}_{E \rightarrow V} = -pdS\vec{x}_1 - fpdS\vec{y}_1$   
Le torseur de l'action mécanique de l'écrou sur la vis est :

$$\{F_{(E \rightarrow V)}\} = \left\{ \begin{array}{l} \int_S \vec{dF}_{E \rightarrow V} \\ \int_S \vec{OM} \wedge \vec{dF}_{E \rightarrow V} \end{array} \right\}$$

On peut alors rechercher la relation entre les composantes suivant  $\vec{x}$  :

$$X_{E \rightarrow V} = \int_S \vec{dF}_{E \rightarrow V} \cdot \vec{x} = \int_S (-pdS\vec{x}_1 - fpdS\vec{y}_1) \cdot \vec{x} = (-\cos i - f \cdot \sin i) \int_S pdS$$

$$L_{E \rightarrow V} = \left( \int_S \vec{OM} \wedge \vec{dF}_{E \rightarrow V} \right) \cdot \vec{x} = \left( \int_S \vec{HM} \wedge \vec{dF}_{E \rightarrow V} \right) \cdot \vec{x} = \left( \int_S \vec{HM} \wedge (-pdS\vec{x}_1 - fpdS\vec{y}_1) \right) \cdot \vec{x}$$

$$L_{E \rightarrow V} = \left( \int_S -r_{moy} \cdot \vec{z}_1 \wedge (-pdS\vec{x}_1 - fpdS\vec{y}_1) \right) \cdot \vec{x} = \left( \int_S (r_{moy}pdS\vec{y}_1 - r_{moy}f pdS\vec{x}_1) \right) \cdot \vec{x} =$$

$$L_{E \rightarrow V} = r_{moy}(\sin i - f \cdot \cos i) \int_S pdS$$

On peut donc en déduire la relation suivante entre les composantes  $X_{E \rightarrow V}$  et  $L_{E \rightarrow V}$  :

$$L_{E \rightarrow V} = X_{E \rightarrow V} \cdot r_{moy} \frac{(\sin i - f \cdot \cos i)}{(-\cos i - f \cdot \sin i)} \text{ et } f = \tan \phi^2$$

On trouve alors :

$$L_{E \rightarrow V} = -X_{E \rightarrow V} \cdot r_{moy} \cdot \tan(i - \phi)$$

Dans le cas d'une liaison parfaite, on retrouve la relation définie dans la première partie. Si la vis est motrice en translation, le résultat est le même.

#### IV. Rendement de la liaison hélicoïdale

##### A. Moment moteur / effort axial récepteur

On prend par exemple le couple sur l'écrou moteur et l'effort axial devient récepteur, on peut donc écrire :

$$\eta = \frac{|P_s|}{|P_e|} = \frac{|X_{E \rightarrow V} \cdot V_{V/0}|}{|L_{E \rightarrow V} \cdot \omega_{E/0}|} = \frac{|-X_{E \rightarrow V} \cdot r_{moy} \cdot \tan i \cdot \omega_{E/0}|}{|-X_{E \rightarrow V} \cdot r_{moy} \cdot \tan(i + \phi) \cdot \omega_{E/0}|}$$

On en déduit donc :

$$\eta = \frac{\tan i}{\tan(i + \phi)}$$

##### B. Effort axial moteur / moment récepteur

On prend par exemple l'effort axial sur l'écrou moteur et le couple devient récepteur, on peut donc écrire :

$$\eta = \frac{|P_s|}{|P_e|} = \frac{|L_{E \rightarrow V} \cdot \omega_{E/0}|}{|X_{E \rightarrow V} \cdot V_{V/0}|} = \frac{|-X_{E \rightarrow V} \cdot r_{moy} \cdot \tan(i - \phi) \cdot \omega_{E/0}|}{|X_{E \rightarrow V} \cdot r_{moy} \cdot \tan i \cdot \omega_{E/0}|}$$

On en déduit donc :

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

<sup>2</sup> On utilise alors  $\tan(a - b) = \frac{\tan a - \tan b}{1 + \tan a \cdot \tan b}$

### C. Notion de réversibilité

Le système vis-écrou est dit réversible si un effort axial moteur sur l'un des deux composants entraîne une rotation de ce dernier. Si le système est bloqué, on dit que le système est irréversible.

Dans le cas d'un effort axial moteur, le rendement est égal à

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

Si  $i \leq \phi$ , alors  $\tan(i - \phi) \leq 0$ .

Or  $\eta \geq 0$ . Donc la condition de réversibilité s'écrit :

$$\text{Système vis/écrou réversible} \Leftrightarrow i > \phi$$

## V. Éléments standards

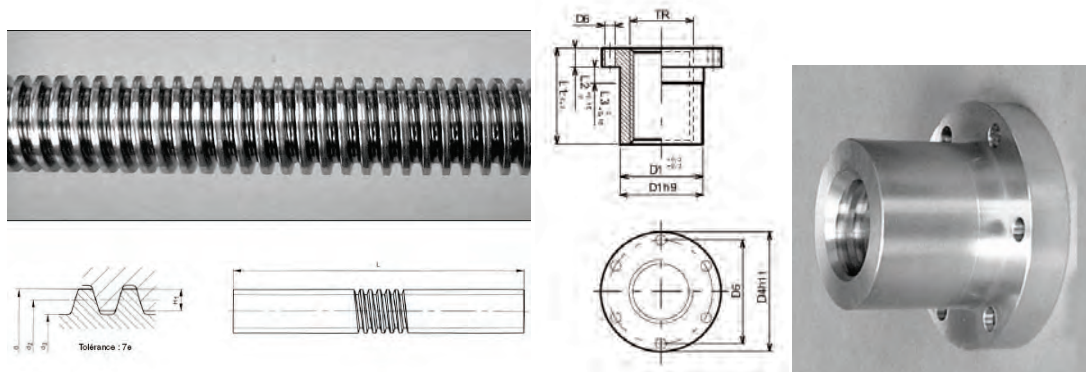
Il existe deux grandes familles de systèmes vis/écrou :

- Les systèmes basés sur un contact avec glissement relatif et donc frottement,
- Les systèmes basés sur un contact avec roulement sans glissement.

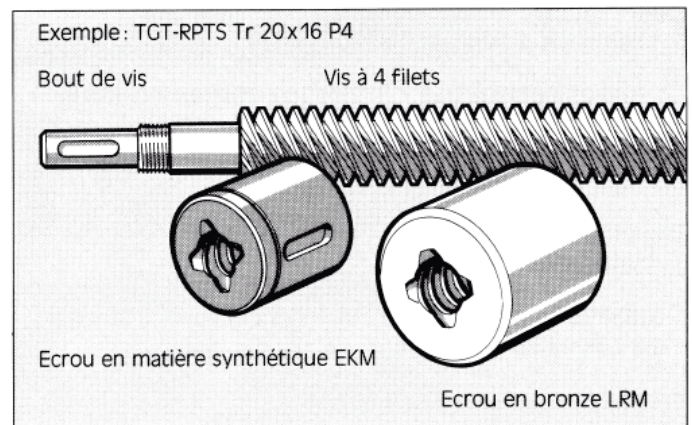
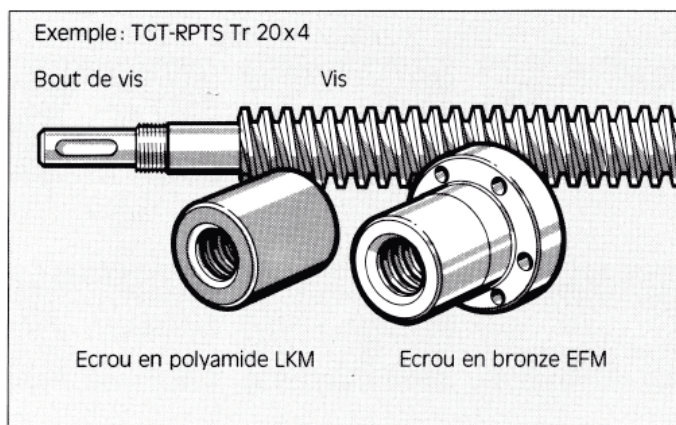
### A. Les systèmes vis/écrou standard

Ces systèmes sont bien moins onéreux que les systèmes à éléments roulants, ils sont simples de conception. Cependant, leur faible rendement ( $\eta \approx 50\%$ ) limite leur utilisation industrielle.

Il est possible de réaliser les vis et les écrous par usinage ou par déformation plastique (forgeage, roulage, etc.), la déformation plastique à froid permet d'obtenir des filets résistants (fibrage et écrouissage). Un grand nombre de fournisseur propose des éléments standards en différents matériaux et différentes dimensions.



Exemple de vis à filet trapézoïdal en acier et d'écrou en bronze CuSn8P (doc Gradel Baudin)



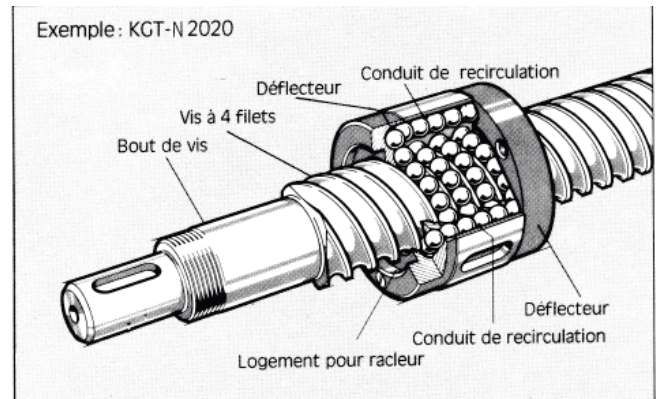
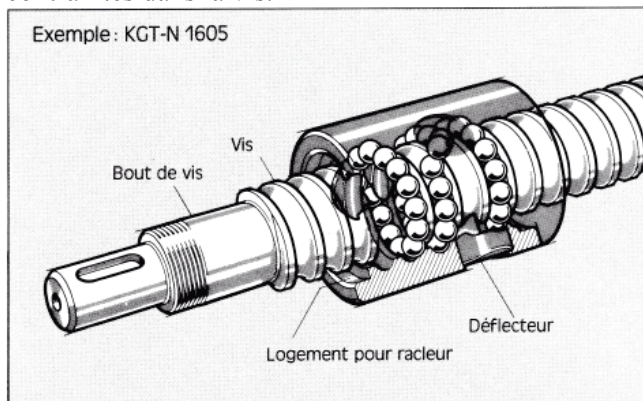
Système vis/écrou monofilet et multifilet (doc INA)

### B. Les systèmes vis/écrou à éléments roulants

Ces systèmes à billes ou à rouleaux sont utilisés pour commander des déplacements de coulisseaux avec un très faible frottement par rapport aux systèmes vis/écrou classiques. Le rendement passe alors de 50% à un rendement compris entre 90% et 98%. D'autre part, les vitesses d'avance peuvent être beaucoup plus importantes, les systèmes de rattrapage de jeu sont inutiles et les déplacements sont plus précis.

Cependant, ces systèmes sont plus coûteux et plus délicats à mettre en œuvre que les vis/écrou classique. De plus, la réversibilité est intervenue pour un angle d'hélice plus faible (ils sont donc « moins irréversibles »).

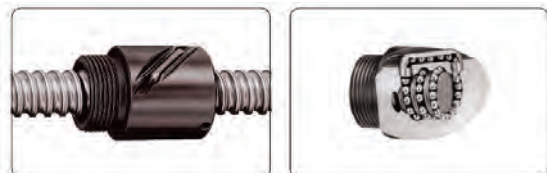
La vis est généralement montée sur deux paliers, l'un monté fixe et l'autre libre afin de limiter l'hyperstatisme ainsi que les contraintes dans la vis.



Vis à 1 filet avec recirculation interne et vis à filets multiples avec recirculation externe (doc INA)

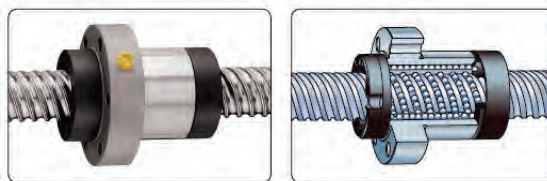
Il existe un grand nombre de vis/écrous à billes différents dimensionnés par les constructeurs pour des applications particulières :

- Besoin de précision et de miniaturisation



doc SKF

- Nécessité d'un grand pas (20 à 50 mm/tour)

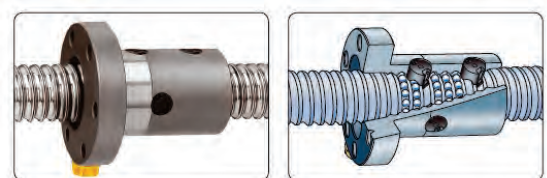


Ecrou standard

Recirculation

doc SKF

- Avec une recirculation interne des billes



Ecrou standard

Recirculation

doc SKF

Il existe aussi des vis à rouleaux, plus complexes au niveau de la réalisation mais permettant d'atteindre de meilleures performances, grâce à l'augmentation des surfaces en contact :

- Vis à rouleaux satellites (très robuste)



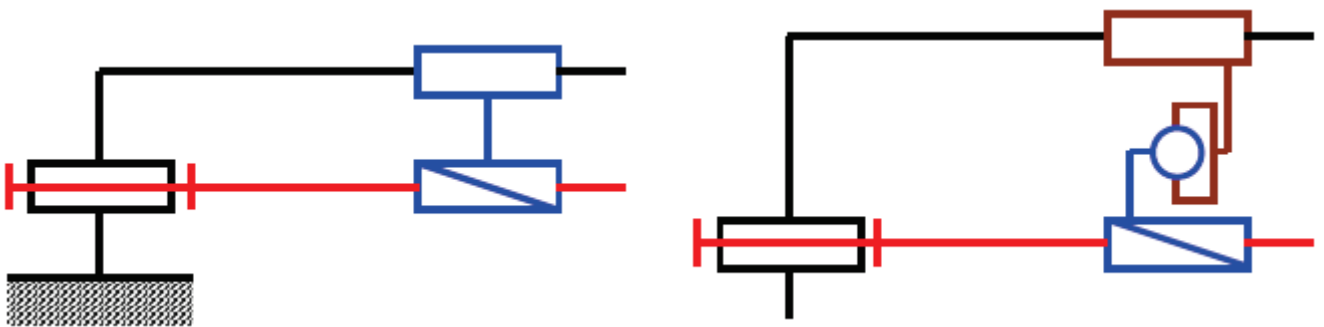
- Vis à recirculation de rouleaux (permet des pas très faibles)



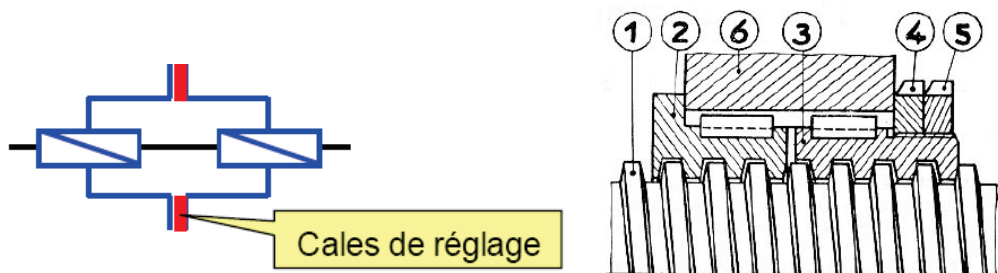
## VI. Montages usuels

Le montage usuel d'un système de transformation de mouvement de type vis/écrou est basée sur cette chaîne de solide fermée composée de 3 liaisons : une glissière, une pivot et une hélicoïdale. Ce montage est fortement hyperstatique ( $h=4$ ), il faut donc lors de la conception :

- Imposer des tolérances serrées et des conditions géométriques,
- Mettre en place des jeux important (si possible), ce qui ira au détriment de la précision,
- Utiliser des montages de type écrou flottant limitant (ou supprimant) l'hyperstatisme.

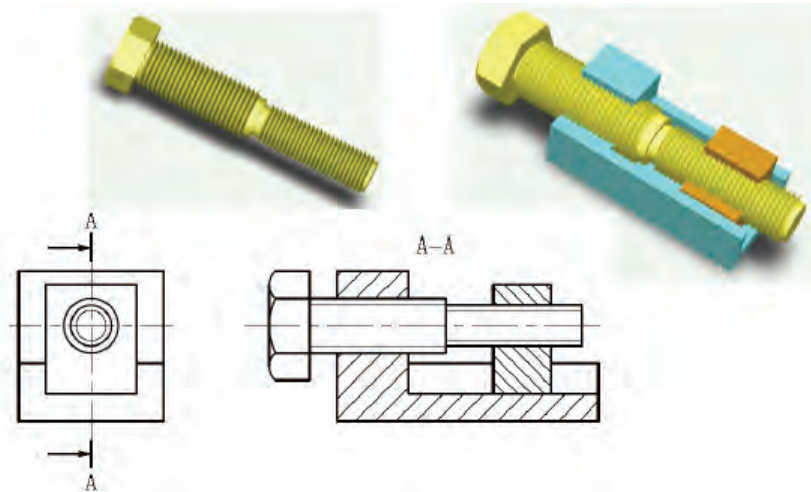


Le jeu interne à l'écrou peut être réglé grâce à un montage comme donné ci-dessous :



## VII. Vis de précision, vis différentielle usuels

Dans un grand nombre d'applications, il est nécessaire d'avoir un pas très faible pour la vis (appareils de mesure, micromètres, etc.). On utilise pour cela une vis différentielle de Prony ou vis micrométrique basée sur l'utilisation d'une vis munie de 2 parties filetées de pas  $p_1$  et  $p_2$  proches et de même sens d'hélice. Pour un tour de vis, l'écrou avancera d'un pas dit « différentiel » égal à  $p_1 - p_2$ . En choisissant de manière intelligente les pas de la vis, on peut obtenir des déplacements très faibles.



**Fonctionnement :**  
La butée micrométrique se place sur une table de machine ou sur un banc de contrôle (repère 6 sur le dessin d'ensemble). Elle est fixée sur le bâti de la machine à l'aide de deux vis à tête cylindrique à 6 pans creux M8 et deux lardons, ces derniers étant placés dans une rainure en T de la table. Le réglage de la position axiale du doigt s'effectue en tournant le tambour gradué 3.

5	Vis sans tête à 6 pans creux M8 x 8 à téton long	2			Commerce
4	Doigt	1	C 38	M8 x 1 Pas à gauche	
3	Tambour gradué	1	C 38	25 graduations	
2	Noix	1	C 38	M12 x 1,5 Pas à droite	
1	Corps de butée	1	§ 235		
Rep.	Désignation	Nb.	Matère	Observations	Référence

Echelle: 2 : 1	<b>BUTÉE MICROMÉTRIQUE</b>	Dessiné par: JMN
		Le:
	DT01-02 = Dessin d'ensemble + nomenclature	01
A3H	Lycée Chevalier d'EON - TONNERRE	00