

Dévisage : Un vrai « serpent de mer »

Par Jean Louis LIGIER

Voici un sujet maintes fois débattu, analysé, mais toujours présent, même dans les assemblages conçus actuellement. Étant donné les billevesées qui accompagnent souvent les errances vis-à-vis d'un tel phénomène, un survol des connaissances actuelles permet de dresser un état des lieux et de souligner les points délicats toujours sujets à investigation.

En avant-propos et pour une conformité de propos, il est utile d'avoir à l'esprit que, pour la vis et les différents mécanismes de perte de tension dans des assemblages vissés, deux désignations de phénomènes existent et méritent d'être adoptées (extrait d'un article de Delcher C. [1]) dans la description du phénomène de perte. Il s'agit :

- **Du desserrage**, ou relâchement : perte de tension dans la vis, occasionnée par des phénomènes produisant une diminution d'épaisseur de l'assemblage ou d'allongement de la vis (tassement, plastification, fluage, usure par microdébattements cycliques...).
- **Du dévissage**, phénomène causé par un mouvement relatif angulaire entre la vis et son taraudage (rotation). C'est sur ce mécanisme que porte le présent item, car c'est le plus délicat à appréhender et il demeure encore mal compris.

Problème d'actualité : Lors de la conception d'assemblages optimisés en masse et en raideur, il est difficile de garantir le non-desserrage de vis. Les souplesses des assemblages autorisent des microglissements, d'une amplitude submicronique à plusieurs microns, qui par leur cumul peuvent générer des déplacements relatifs entre surfaces en contact. La littérature technique sur le thème du dévissage et les pertes de tension pour les dix dernières années comprend plus d'un millier d'articles.

Enjeux importants : Nombreuses sont les industries concernées par les problèmes de dévissage, allant du plus petit (horlogerie) au gigantesque (moteur marin). Même si la probabilité d'occurrence est faible, ce type de défaillance est toujours présent. La gravité de celles-ci peut être immense, pour exemples récents :

- Crash du vol Emery Worldwide 17 (avion-cargo DC-8) — 16 février 2000. Cause : un boulon de fixation d'une commande de gouverne de profondeur s'était détaché.
- Explosion d'un train-citerne à Llangennech (Royaume-Uni) — 26 août 2020. Cause : écrous desserrés sur un joint de valve de frein.

Les mécanismes : Avant de détailler ceux-ci, il est intéressant d'examiner la question suivante. Que se passe-t-il dans la vis lors de l'arrêt du serrage et du retrait de la clef de serrage. Comment s'effectue l'équilibre des couples de torsion s'exerçant sur la vis, selon son axe? En fait, il y a un microretour en arrière de la tête de vis par rapport au corps de vis pour que le couple de frottement sous la tête de vis vienne s'opposer au couple produit au serrage dans les filets en prise. La figure 1 illustre les couples pendant et après le processus de serrage.

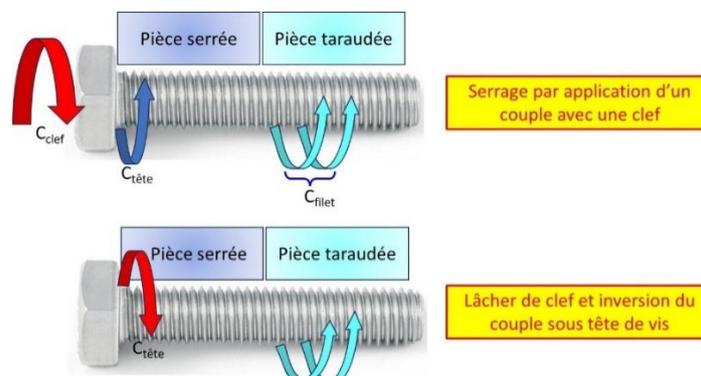


Figure 1 : Couples sur une vis

Le point mécanique fondamental est l'inversion de la direction du frottement occasionnée par un microglissement. À l'échelle microscopique, l'examen du frottement montre que le déplacement relatif entre deux surfaces se décompose en un microdéplacement élastique et un glissement comme cela est illustré sur la figure 2 à gauche. Dans le cas du frottement s'inversant sous la tête de vis lors du retrait de la clef, on passe du point B (fin de serrage) au point C lors du retrait de la clef, comme illustré sur la partie droite de la figure 2.

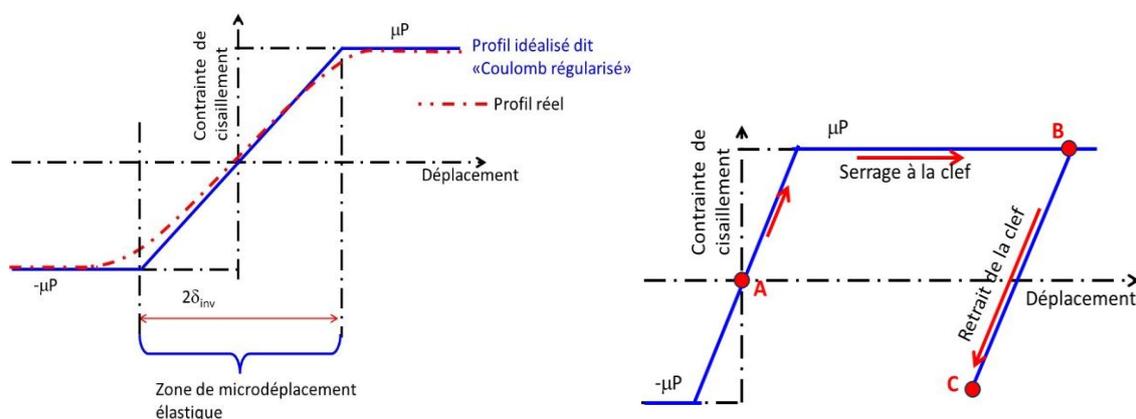


Figure 2 : Comportement local réel du frottement

En pratique, il est délicat d'identifier l'amplitude du microdéplacement élastique qui peut être submicronique et du même ordre de grandeur que l'effet de Poisson, en matière de glissement radial dans les filets, sur une vis soumise à un effort axial. La réorientation de la direction de contrainte de cisaillement dans une interface frottante est à l'origine du phénomène de desserrage, qui pour mémoire s'oriente selon la direction de glissement (détail dans un prochain article).

Les moyens d'essais : De nombreux articles traitent de ce thème, car un essai proche des conditions de fonctionnement et de sollicitations reste le moyen le plus robuste de tester l'absence de dévissage. Le point délicat demeure cependant le nombre d'épreuves à réaliser compte tenu de la probabilité d'occurrence parfois très faible du phénomène. Trois principaux types d'essais, se différenciant par la famille de sollicitations extérieures appliquées sur l'assemblage, sont couramment utilisés [1-5] pour tenter d'approcher le phénomène de desserrage :

- Sollicitations axiales, il peut s'agir d'effort de type push-pull, de vibrations, de chocs. Les pionniers sont Goodier et Sweeney [5-6]
- Sollicitations transversales avec des efforts transversaux alternés ou des microdéplacements, des vibrations, des chocs. Un des essais de référence est celui de Junker [7].
- Sollicitations de torsion [8].

Nota 1 : Les sollicitations de flexion alternées ou ondulées peuvent être vues comme une combinaison des deux premiers types ou comme un effort axial excentré.

Nota 2 : Lors de ces différents types d'essais, il est souvent recherché un glissement important dans les zones portantes. Celui-ci peut être appréhendé par calculs par éléments finis ou autre.

Nota 3 : Les sollicitations transversales sont beaucoup plus critiques que les sollicitations axiales, se réduisant à des microdéplacements radiaux induits par l'effet Poisson, car elles induisent plus facilement des microglissements locaux et par voie de conséquence une réorientation des contraintes de cisaillement dans les interfaces frottantes.

Les difficultés de simulation : Bien que les médias vantent, de façon très optimiste, les performances du numérique, il y a lieu de bien nuancer ce que peut faire le calcul. Dans le cas des phénomènes de dévissage où le comportement du frottement joue une place prépondérante, la faiblesse des codes de calculs par éléments finis est de ne pas disposer de lois de comportement réaliste du frottement. Pour n'en signaler que quelques-unes, on pourrait évoquer l'évolution du frottement avec le temps, la

distance parcourue, l'étendue du microglissement élastique, les raideurs tangentielles de contact. Ainsi, les codes de calculs par éléments finis commerciaux ne peuvent être prédictifs sur des problèmes de dévissage où le frottement doit être appréhendé de façon pertinente à l'échelle microscopique, avec le degré de sophistication adapté au problème traité. Des approches analytiques ou semi-analytiques tentant de modéliser le comportement frottant sont aujourd'hui plus efficaces. À part en utilisant des critères basés sur l'expérience et des données macroscopiques issues du calcul, comme un déplacement macroscopique (plusieurs microns), les simulations numériques par éléments finis ne fournissent pas, le plus souvent, de prédictions fiables.

Les solutions : Les solutions pratiques habituelles, pour annihiler le phénomène de dévissage, sont l'utilisation de rondelle Grower, dentée, Nord-lock, Belleville, un contre-écrou, des écrous Nylstop, autofreinés ou encore l'utilisation de colle dite frein filet ou solutions extrêmes : goupille fendue, fil à freiner. Cependant il est de nombreux cas où ces solutions ne sont pas suffisantes et impliquent des solutions à fort impactant sur la conception. Étant donné l'importance du glissement, voire des microglissements dans le phénomène, on cherchera à réduire ceux-ci par, selon les spécificités de l'assemblage, l'augmentation du serrage, l'augmentation des frottements, l'accroissement des raideurs, la réduction de l'amplitude des excitations, la modification des fréquences propres de l'assemblage.

[1] C. Delcher, Nouvelle approche pour la caractérisation du dévissage et desserrage des assemblages vissés. *Matériaux & Techniques*, 106, 306 (2018).

[2] W. Eccles, *Tribological Aspects of the Self-Loosening of Threaded Fasteners*. Doctoral thesis, University of Central Lancashire, 2010.

[3] O. Ksentini, *Étude du dévissage spontané d'un assemblage boulonné soumis à des sollicitations transverses dynamiques*. Thèse INSA Toulouse, 2016.

[4] H. GONG, X. DING, J. LIU, H. FENG, Review of research on loosening of threaded fasteners. *Friction* 10(3): 335–359 (2022).

[5] J.N. Goodier, R.J. Sweeney, Loosening by vibration of threaded fastenings, *Mech. Eng.* 67, 798–802 (1945)

[6] D.P. Hess, K. Davis, Threaded components under axial harmonic vibration, *Acoust. Trans. ASME* (1996)

[7] G. H. Junker, New criteria for self-loosening of fasteners under vibration, *SAE Trans.* 78, 314–335 (1969)

[8] S.K. Clark, J.J. Cook, Vibratory loosening of bolts, *SAE Paper* 660432 (1966) 8. T. Sakai, Investigations of bolt loosening mechanisms, *Bull*