

CQPM 082

TECHNICIEN(NE) EN MAINTENANCE AÉRONAUTIQUE

ANTI-SÈCHE

LE FREINAGE DES ENSEMBLES VISSÉS

Visserie & Assemblages — Livret 1310

Certification visée	CQPM 082
Domaine	Visserie et assemblages aéronautiques
Document	Fiche de révision complète (anti-sèche)
Source	Support de formation AFMAé CFA — Livret 1310

SOMMAIRE

1. Introduction — Pourquoi freiner un assemblage vissé ?	3
2. Les goupilles.....	4
3. Les rondelles frein (lock washer).....	5
4. Les écrous frein (lock nut).....	6
5. Vis d'arrêt, sertissage et autres dispositifs.....	7
6. Le frein filet (freinage chimique).....	8
7. Le freinage par fil à freiner (lockwire).....	9
8. Le freinage par câble serti (cable lockage).....	11
9. Exemples d'application (ATA 20 / ATA 70).....	12
10. Synthèse — Mémo express avant l'épreuve.....	13

1. Introduction — Pourquoi freiner un assemblage vissé ?

Un assemblage vissé (vis, écrou, boulon, raccord) réalise une liaison démontable. Une fois serré au couple prescrit, il doit rester dans cet état de serrage pendant toute la durée d'utilisation de l'aéronef. Or plusieurs contraintes en service tendent à faire perdre la tension de serrage, voire à dévisser complètement l'élément.

1.1 Les trois grandes familles de contraintes

- **Vibrations** : sollicitations cycliques permanentes (moteurs, aérodynamique, roulage) qui provoquent un micro-desserrage progressif.
- **Efforts de cisaillement** : efforts perpendiculaires à l'axe de la vis, tendant à faire glisser les pièces assemblées entre elles.
- **Charges ponctuelles** : chocs et à-coups (atterrissage, turbulences, manutention) qui sollicitent brutalement l'assemblage.

À retenir

Un dispositif de freinage ne remplace jamais un couple de serrage correct : il s'ajoute à un serrage conforme pour en garantir le maintien dans le temps.

1.2 Panorama des familles de dispositifs de freinage

- Freinage par éléments mécaniques rapportés : goupilles, rondelles frein, écrous frein, plaquettes arrêtoirs, vis d'arrêt.
- Freinage par déformation / sertissage : écrous et rondelles à sertir, sertissage de collerette.
- Freinage chimique : frein-filet (polymère anaérobie).
- Freinage par fil à freiner (lockwire) : méthode souple, la plus répandue en aéronautique.
- Freinage par câble serti (cable lockage) : férules serties à la pince, pour groupes de plusieurs éléments.

2. Les goupilles

Les goupilles assurent un freinage mécanique direct en interdisant toute rotation de l'écrou ou de la vis par rapport à l'axe. Une fois montée, une goupille ne doit jamais bouger.

2.1 Goupille fendue (cotter pin)

Goupille classique en épingle, insérée dans un perçage transversal de l'axe puis dont les deux brins sont rabattus.

- **Version standard** : rabattage classique des deux brins autour de l'écrou.
- **Version « ancre de marine »** : variante de rabattage renforcée, forme caractéristique en ancre.

Montage : usage unique — une goupille fendue déposée ne doit jamais être remontée.

2.2 Goupilles à montage réutilisable limité

Type	Principe	Particularité
Goupille élastique (Mecanindus)	Goupille fendue élastique insérée dans l'écrou	Léger jeu de réutilisation possible
Goupille conique	Ajustement conique serré	Extraction/repose limitée
Goupille conique filetée	Conique + extrémité filetée pour extraction à l'outil	Facilite le retrait
Goupille filetée	Corps fileté rapporté	Bonne tenue axiale

2.3 Goupilles épingles (usage indirect)

Goupille beta, épingle de sûreté, épingle automatique : ces goupilles épingle servent surtout au maintien d'axes, de charnières ou de capots articulés.

À retenir

Les goupilles épingle sont rarement utilisées pour un freinage direct d'ensembles vissés.

3. Les rondelles frein (lock washer)

3.1 Les rondelles Grower

Rondelle fendue en spirale, à section rectangulaire, qui vient « mordre » sous la tête de vis ou l'écrou et sous la pièce grâce à l'arête tranchante créée par la fente.

- **Avec bec** : une languette vient s'appuyer contre un méplat pour empêcher toute rotation.
- **Sans bec** : effet de freinage par frottement et élasticité uniquement.

3.2 Les rondelles à denture

Variante	Description
Denture extérieure	Dents rabattues sur le pourtour externe
Denture intérieure	Dents rabattues sur le pourtour interne (alésage)
Double denture	Dents intérieures et extérieures combinées
Denture chevauchante	Dents décalées se chevauchant en frottement
Concave à dent élastique	Forme conique + denture, effet ressort renforcé

3.3 Les rondelles élastiques

- **Rondelles élastiques coniques (Belleville)** : forme tronconique, effet ressort par écrasement.
- **Rondelles élastiques ondulées** : ondulations réparties sur la circonférence, absorbent le jeu axial.
- **Rondelles Flex** : forme galbée triangulaire ou ovale, effet ressort ponctuel.

Montage réutilisable limité : l'effet ressort s'atténue après plusieurs cycles de serrage/desserrage.

3.4 La rondelle Twinlock

Système à deux rondelles superposées présentant des faces à denture inclinée dissymétrique (angle $\alpha >$ angle β). Le blocage est directionnel : les deux rondelles s'imbriquent et s'opposent à toute rotation de desserrage, quel que soit le sens de vissage initial.

4. Les écrous frein (lock nut)

4.1 Écrou contre-écrou

Deux écrous serrés l'un contre l'autre : le premier assure le serrage, le second (contre-écrou) est bloqué en butée contre le premier.

L'efficacité reste limitée et cette solution est encombrante — peu utilisée en construction aéronautique moderne.

4.2 Écrou PAL (écrou élastique en tôle)

Écrou en tôle emboutie à languettes élastiques qui viennent pincer le filetage de la vis.

4.3 Écrous frein classés par plage de température

La possibilité de réutilisation de ces écrous est limitée : il faut se référer à la documentation constructeur (AMM/IPC) pour le nombre de réutilisations autorisées.

Plage	Type d'écrou	Principe
Haute température	Écrou fendu	Fente élastique refermée sur le filetage
Moyenne température	À filet déformé	Portion de filetage ovalisée créant un frottement
Moyenne température	À bague frein	Bague insert (nylon ou fibre) créant un frottement
Basse température	À rondelle sertie Téflon	Rondelle Téflon sertie — usage unique
Toutes températures	À ressort frein	Ressort intégré, assemblage rapide
Toutes températures	Towlok	Denture crantée sous la collerette, freinage + anti-rotation

À retenir

L'écrou à rondelle sertie Téflon (basse température) est à usage unique.
Toujours vérifier la documentation (CML/IPC) pour le nombre de réutilisations admissible selon le type d'écrou.

5. Vis d'arrêt, sertissage et autres dispositifs

5.1 Vis d'arrêt

Petite vis (souvent à six pans creux) rapportée perpendiculairement à l'assemblage, qui vient s'appuyer contre le filetage ou une portée pour interdire la rotation d'une pièce filetée (bague, collier, raccord).

5.2 Le sertissage

Déformation permanente et localisée d'une collerette métallique (écrou serti, collier auto-freiné) dans une gorge de la pièce, ou pincement mécanique à la pince pour bloquer un écrou sur son support.

Le sertissage crée une liaison définitive : la pièce sertie ne doit pas être réutilisée après dépose.

5.3 Rondelles pour écrou à encoche

Utilisées typiquement sur les moyeux de roulements : une rondelle à languette(s) est intercalée entre l'écrou à encoches et la pièce ; une languette est rabattue dans une encoche de l'écrou après serrage au couple.

À retenir

Les rondelles pour écrou à encoche sont à usage unique.

5.4 Les plaquettes arrêtoirs

- **Plaquettes à point de fixation** : immobilisées par une vis ou un point de fixation dédié, une languette est ensuite rabattue contre un méplat de l'écrou/vis.
- **Plaquettes à rabat — verrouillage sur pin** : la plaquette prend appui sur un pion fixe.
- **Plaquettes à rabat — verrouillage sur support** : la plaquette prend appui directement sur le support de l'assemblage.
- **Plaquettes à ergots** : ergot intérieur (sur axe) et ergot extérieur (sur support) assurant le double blocage rotation/translation.

À retenir

Les plaquettes à rabat sont à usage unique : elles doivent être remplacées à chaque dépose.

6. Le frein filet (freinage chimique)

Le frein filet est un polymère (résine anaérobie) appliqué directement sur le filetage avant montage. Il polymérise en l'absence d'air, une fois l'assemblage serré, et crée un blocage adhésif entre les filets de la vis et de l'écrou/taraudage.

6.1 Points clés

- Application d'une fine pellicule de polymère sur le filet, juste avant le montage.
- Existe en plusieurs classes de résistance (démontable / semi-permanent / permanent) selon le code couleur du fabricant.
- **Attention aux températures d'utilisation** : chaque référence de frein filet a une plage de température de service à respecter (perte d'efficacité au-delà).
- Respecter le temps de polymérisation avant remise en service de l'ensemble.

7. Le freinage par fil à freiner (lockwire)

C'est la méthode de freinage la plus répandue en aéronautique, en raison de son efficacité, de sa flexibilité de mise en œuvre et de son faible encombrement.

7.1 Diamètres de fil frein utilisés

Diamètre	Domaine d'utilisation
1,0 mm	Certains assemblages de forte taille
0,8 mm	Le plus courant — freinage des pièces mécaniques (existe en version haute température)
0,6 mm	Utilisation principalement sur éléments électriques

7.2 Équipements de protection individuelle

- **Lunettes de protection** : obligatoires (projection/fouettement du fil lors de la coupe ou de la tension).
- **Gants** : fortement conseillés (le fil peut couper ou piquer).

7.3 Outillage indispensable

- Pince à freiner (ou pince plate + pince coupante) et pince coupe-fil diagonale.
- Bobine de fil à freiner du diamètre adapté.
- Concentration et rigueur (le geste doit être précis, méthodique et reproductible).

7.4 Règles de passage du fil selon le type de tête de vis

- **Tête percée en diagonale** : le fil passe d'un perçage à l'autre en diagonale à travers la tête.
- **Tête percée en affleurement latéral** : le fil longe le côté de la tête au ras du perçage.
- **Tête creuse percée (4 à 6 points)** : plusieurs perçages répartis sur la circonférence de la tête creuse.

7.5 Points d'attache, sens et distances réglementaires

- Les points d'attache entre le départ et l'arrivée du freinage doivent respecter le sens de rotation figurant sur le schéma de référence (positions horaires 5, 6, 11, 12).
- **Distance entre deux éléments freinés (Lf) : 3 mm minimum / 152,4 mm (6 pouces) maximum.**
- La partie du fil qui contourne la tête doit toujours passer en dessous du fil qui traverse la tête.



Valeurs clés à retenir

Lf min = 3 mm | Lf max = 152,4 mm (6 pouces)

Le fil doit toujours être tendu dans le sens du serrage.

7.6 Les torsades

Une torsade régulière garantit la fiabilité du freinage. Une torsade irrégulière crée des zones de sur-torsion (écrouissage) qui fragilisent le fil et risquent de provoquer sa rupture.

Diamètre de fil	Nombre de spires (torsades)
0,8 mm	3 à 4 spires par cm
0,6 mm	4 à 5 spires par cm

- Boucle de fin de freinage : réaliser une boucle courte, longueur 10 à 15 mm, rabattue pour éviter tout risque de coupure au personnel.
- Tension trop importante = risque de rupture du fil.
- Tension trop faible = freinage inefficace (jeu, pas de reprise en cas de desserrage amorcé).

À retenir

Torsades régulières = fiabilité du freinage.

Torsades irrégulières = risque d'écrouissage donc de rupture du fil.

7.7 Freinage à 2 et 3 points

- Le sens de torsade doit toujours respecter le sens de serrage des vis freinées.
- **Attention au sens de serrage** : un montage incorrect peut favoriser le desserrage au lieu de l'empêcher.
- Pour un freinage à 3 points, on change le sens des torsades du fil entre la vis 2 et la vis 3 (inversion du sens de torsion sur le second brin).

7.8 Freinage au-delà de 3 points

Règle absolue

Le freinage par un seul fil continu est interdit au-delà de 3 points.

Au-delà de 3 éléments, il faut réaliser plusieurs freinages distincts (groupes de 2 ou 3 maximum).

Exception : pour les têtes de vis de petite taille, il est possible de freiner sans torsade (fil tendu passant directement d'une tête à l'autre, sans vrillage), sous réserve que la documentation le permette.

7.9 Passage de la torsade — règles de cheminement

- Les torsades ne doivent jamais interférer avec la structure environnante (pas de frottement, pas de contrainte sur une pièce voisine).
- Les torsades ne doivent jamais traverser ni obturer un écoulement (drainage, ventilation, passage de fluide).
- En présence d'un point d'ancrage fixe, celui-ci doit obligatoirement être le point de départ du freinage.

7.10 Retrait d'un freinage par fil

- Couper les boucles de contournement et la boucle d'arrêt avant toute dépose.

À retenir

Ne jamais forcer sur un équipement ou sur le fil à freiner pour retirer un freinage, sous peine d'endommagement de la pièce ou de blessure.

8. Le freinage par câble serti (cable lockage)

8.1 Les pinces à freiner par câble

- Utilisation d'une pince à sertir dédiée pour sertir des férules sur des câbles tressés.
- **Contrôle de la date d'étalonnage** de la pince avant toute utilisation.
- Les férules sont contenues dans un magasin, normalement fournies avec les câbles.
- Adapter systématiquement l'outil et le câble à l'utilisation prévue (diamètre, type de férule).

À retenir

Le câble doit être exempt de tout brin cassé avant toute mise en œuvre.

8.2 Méthode de mise en œuvre

1. Passer le câble dans les vis à freiner en premier.
2. Enfiler la férule à sertir sur le câble.
3. Utiliser la pince à sertir pour tendre le câble, puis sertir et couper l'excédent.

Une version de férule conique existe (en plus de la version cylindrique) : elle offre davantage de liberté de positionnement par rapport à l'orientation finale du câble.

Attention à la position : le point de croisement du câble doit rester dans l'axe visé (contrôle à l'équerre $\sim 90^\circ$) pour garantir un effort de freinage correctement orienté.

8.3 Limites dimensionnelles

Valeurs clés à retenir

3 éléments maximum reliés par un même câble.
15 cm (150 mm) maximum de longueur de câble au total pour le groupe freiné.

Le jeu admissible en milieu de freinage par câble (flèche du câble entre les points d'ancrage) est normé et dépend de la distance entre points d'ancrage — se référer systématiquement au tableau du constructeur (dimensions A, B, C en fonction de la distance entre axes).

- Pour trois éléments, la dimension d'ancrage totale $A = D + E$ (somme des deux segments du câble).

9. Exemples d'application (ATA 20 / ATA 70)

9.1 Bonnes pratiques observées sur schémas constructeur

- Sur des boulons situés sur des plans différents, le fil doit toujours être appliqué de telle sorte que sa tension s'exerce dans le sens du serrage.
- Sur les bouchons à tête creuse, le fil est posé avec le bout de boucle rabattu à l'intérieur, pour éviter tout accrochage ou blessure du personnel.
- Application correcte d'un seul fil à un groupe de plusieurs pièces montées proches les unes des autres : respecter le nombre maximal de points (3) et le sens de tension.
- Les écrous d'accouplement fixés sur des raccords droits reçoivent le fil selon la configuration du corps hexagonal intégré au raccord.
- Les écrous d'accouplement posés sur un té reçoivent le fil de sorte que la tension s'exerce toujours dans la direction du serrage.
- Freinage de raccord droit avec montage en passage de cloison : adapter le cheminement du fil à la traversée structurale sans contrainte.

9.2 Confection d'un freinage de prise (connecteur électrique)

Méthode en 6 étapes (lockwire de prise / connecteur) : passage du fil dans les orifices dédiés du connecteur, tressage progressif autour du corps, puis blocage final.

Étape	Action
1	Insertion du fil dans le premier orifice du connecteur
2	Croisement du fil vers le second point d'ancrage
3	Passage et tension autour du corps du connecteur
4	Poursuite du cheminement vers le point suivant
5	Torsade finale et mise en tension
6	Coupe et rabat de la boucle de sécurité

Exemples typiques : freinage entre un connecteur et son support (lockwire visible entre les deux corps), freinage entre plusieurs connecteurs en série, freinage sur point fixe dédié.

9.3 Exemple de montage — Fixation servo-commande / Attaches moteur Airbus

Sur ces montages types, on retrouve la combinaison classique des dispositifs vus dans ce livret, appliqués en série sur un même axe :

- Prisonnier fixe (goujon) monté sur la structure.
- Empilage de rondelles frein (plates, élastiques ou à denture selon le point).
- Écrou frein (prisonnier frein / écrou frein) serré au couple prescrit.
- Plaquette frein rabattue en appui contre un méplat de l'écrou pour interdire toute rotation résiduelle.

Ce type de montage combine souvent plusieurs dispositifs de freinage complémentaires (rondelle + écrou frein + plaquette) sur les zones les plus sollicitées en vibration, comme les attaches moteur.

10. Synthèse — Mémo express avant l'épreuve

10.1 Tableau récapitulatif des dispositifs à usage unique

Dispositif	Réutilisable ?
Goupille fendue (cotter pin)	Non — usage unique
Goupille conique / élastique / filetée	Réutilisation limitée
Rondelles élastiques (Belleville, ondulées, Flex)	Réutilisation limitée
Écrous frein (filet déformé, bague frein...)	Réutilisation limitée (voir doc.)
Écrou à rondelle sertie Téflon	Non — usage unique
Rondelle pour écrou à encoche	Non — usage unique
Plaquette arrêtoir à rabat	Non — usage unique
Fil à freiner (lockwire)	Non — usage unique
Câble sertie	Non — usage unique

10.2 Les chiffres à connaître par cœur

Donnée	Valeur
Distance entre 2 éléments freinés (Lf)	3 mm min – 152,4 mm (6 po) max
Boucle de fin de freinage	10 à 15 mm
Spires pour fil 0,8 mm	3 à 4 spires / cm
Spires pour fil 0,6 mm	4 à 5 spires / cm
Nombre de points max par fil continu	3 points maximum
Éléments max reliés par câble sertie	3 éléments maximum
Longueur max de câble sertie (groupe)	15 cm au total
Diamètre fil le plus courant	0,8 mm

10.3 Les 5 réflexes sécurité

- Lunettes de protection obligatoires pour tout travail sur fil à freiner.
- Gants conseillés lors de la manipulation du fil et des câbles.
- Contrôler la date d'étalonnage de la pince à sertir avant utilisation.
- Vérifier l'absence de brin cassé sur le câble avant sertissage.
- Ne jamais forcer pour retirer un freinage — toujours couper proprement.



Le point clé à ne jamais oublier

Le freinage garantit le maintien du serrage, il ne corrige jamais un couple de serrage incorrect. Toujours serrer au couple prescrit AVANT de freiner.