

Rapport

Accident survenu le **21 octobre 2007**
à **Saint Léger en Yvelines (78)**
à l'**avion CAP 10 C**
immatriculé **F-BXHD**

BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat

Avertissement

Ce rapport exprime les conclusions du BEA sur les circonstances et les causes de cet accident.

Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'Aviation civile internationale, à la Directive 94/56/CE et au Code de l'Aviation civile (Livre VII), l'enquête n'a pas été conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de cet événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents.

En conséquence, l'utilisation de ce rapport à d'autres fins que la prévention pourrait conduire à des interprétations erronées.

Table des matières

AVERTISSEMENT	1
SYNOPSIS	4
1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE	4
1.1 Déroulement du vol	4
1.2 Tués et blessés	5
1.3 Dommages à l'aéronef	5
1.4 Renseignements sur le pilote	5
1.5 Renseignements sur l'aéronef	5
1.5.1 Cellule	5
1.5.2 Moteur	5
1.5.3 Historique de l'avion	5
1.5.4 La commande de la gouverne de profondeur	6
1.5.5 Le circuit carburant	7
1.6 Conditions météorologiques	7
1.7 Télécommunications	7
1.8 Enregistreurs de bord	8
1.9 Renseignements sur le site et l'épave	8
1.9.1 Description du site	8
1.9.2 Description de l'épave	8
1.10 Renseignements médicaux et pathologiques	9
1.11 Questions relatives à la survie des occupants	9
1.12 Essais et recherches	10
1.12.1 Examen de la fin du vol	10
1.12.2 Analyse du carburant	11
1.12.3 Examens de la cellule et du moteur	11
1.12.4 Examen des commandes de vol	11
1.12.5 Etude du comportement d'un assemblage câble / tendeur	13
1.13 Renseignements supplémentaires	15
1.13.1 Pratique de la voltige	15
1.13.2 Pratiques, techniques et méthodes d'inspection et de réparation d'aéronef	15
1.13.3 Règles appliquées par le constructeur	16
1.13.4 Méthode de dépose des câbles utilisée par l'UEA	17

2 - ANALYSE	18
3 - CONCLUSIONS	19
3.1 Faits établis par l'enquête	19
3.2 Causes de l'accident	19
4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE	20
LISTE DES ANNEXES	21

Synopsis

Date de l'accident

Dimanche 21 octobre 2007 à 10 h 09⁽¹⁾

Lieu de l'accident

Forêt de Rambouillet, commune de Saint Léger en Yvelines (78)

Nature du vol

Vol local

Aéronef

Avion Mudry CAP 10 C

Immatriculé F-BXHD

Propriétaire

Aéroclub Dassault Ile-de-France

Exploitant

Aéroclub Dassault Ile-de-France

Personnes à bord

Pilote

⁽¹⁾Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter deux heures pour obtenir l'heure en France métropolitaine le jour de l'événement.

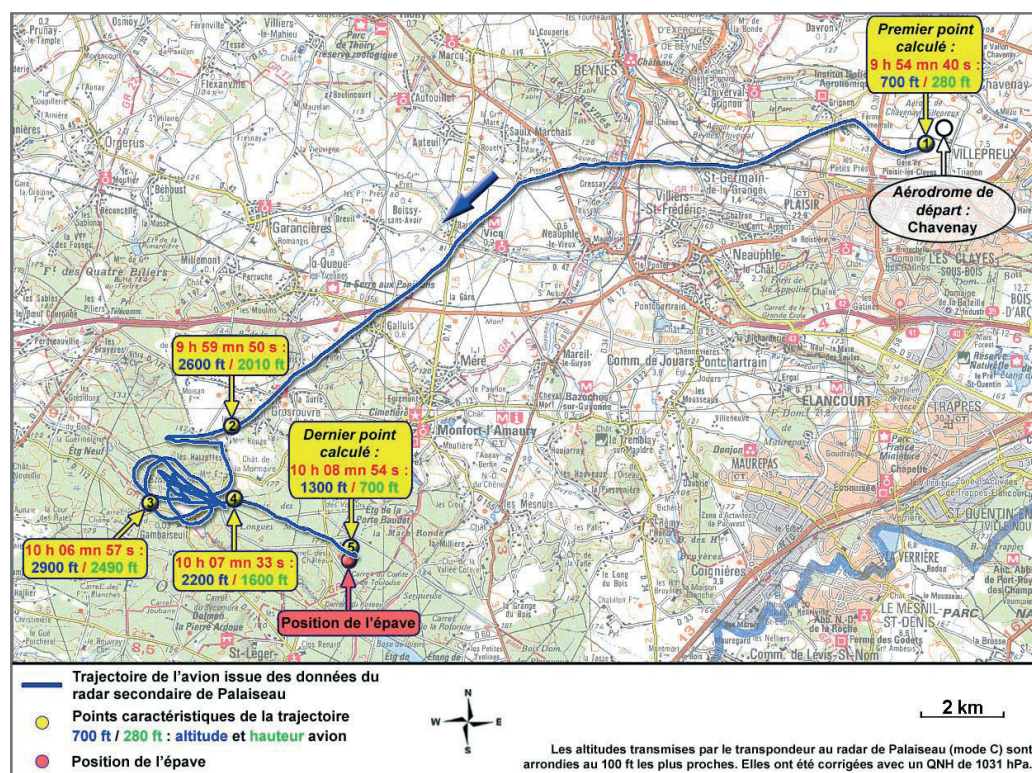
1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

Le dimanche 21 octobre 2007 à 9 h 47, le pilote du CAP 10 immatriculé F-BXHD décolle de l'aérodrome de Chavenay-Villepreux. Il est seul à bord et annonce son intention d'effectuer un vol local dans le sud.

Des enregistrements radar et des témoignages indiquent que le pilote réalise des figures de voltige de 9 h 59 à 10 h 07 entre l'Etang Neuf et Gambaiseuil. A l'issue, il s'éloigne en direction du sud-est. A 10 h 08 min 54, les radars perdent la trace de l'avion.

L'épave est retrouvée sur la commune de Saint Léger en Yvelines, dans le Bois des Longues Mares en forêt de Rambouillet.



1.2 Tués et blessés

Le pilote est décédé.

1.3 Dommages à l'aéronef

L'avion est détruit.

1.4 Renseignements sur le pilote

Homme, 58 ans

- ☐ Licence de pilote privé avion (PPL) délivrée le 18 octobre 2005 par conversion d'une licence A81 de 1978.
- ☐ Qualification de classe monomoteurs à piston valide jusqu'en 2008.
- ☐ Qualification de vol en formation délivrée le 23 juillet 2006.
- ☐ Aptitude à la pratique de la voltige délivrée le 28 juillet 1989.
- ☐ Aptitude à la pratique de la voltige avancée et négative délivrée le 12 mai 1999.
- ☐ Certificat médical : classe 2 valide jusqu'au 31 décembre 2007, avec dérogation pour port d'une correction optique.
- ☐ Expérience :
 - totale : 560 heures de vol, dont 387 en qualité de commandant de bord,
 - sur type : 148 heures de vol, dont 79 en qualité de commandant de bord,
 - dans les trois derniers mois : 2 heures 40 minutes,
 - dans les trente derniers jours : 37 minutes.

1.5 Renseignements sur l'aéronef

1.5.1 Cellule

- ☐ Constructeur : Avion Mudry
- ☐ Type : CAP 10 C
- ☐ Numéro de série : 60
- ☐ Immatriculation : F-BXHD
- ☐ Mise en service : 30 octobre 1975
- ☐ Certificat de navigabilité : valide jusqu'au 18 novembre 2008
- ☐ Utilisation à la date du 21 octobre 2007 : 8 617 heures
- ☐ Depuis dernière visite grand entretien : 128 heures

1.5.2 Moteur

- ☐ Constructeur : Textron -Lycoming
- ☐ Type : AEIO-360-B2F
- ☐ Numéro de série : RL-22921-51A
- ☐ Date d'installation : 15 décembre 2005
- ☐ Temps de fonctionnement depuis installation : 447 heures

1.5.3 Historique de l'avion

Le F-BXHD a été construit par Avions Mudry en 1975. Il a volé pour la première fois le 4 octobre 1975.

En mars 2004, après avoir effectué 8 170 heures de vol, l'avion a été envoyé dans les ateliers de CAP Industries à Bernay pour réfection, installation d'un nouveau moteur en échange standard et installation d'une voilure à longeron en carbone. L'avion est alors devenu un CAP 10 C après l'application de la modification majeure (BS 00302).

Au cours de ces travaux, la commande de profondeur a été démontée et remontée selon la procédure recommandée dans le programme de maintenance du constructeur. Celui-ci a fourni un câble de profondeur à cabrer référencé CAP10-50-01-06. La documentation des travaux ne fait pas mention de la fourniture d'un câble à piquer. Le 7 janvier 2005, l'avion a été remis en service.

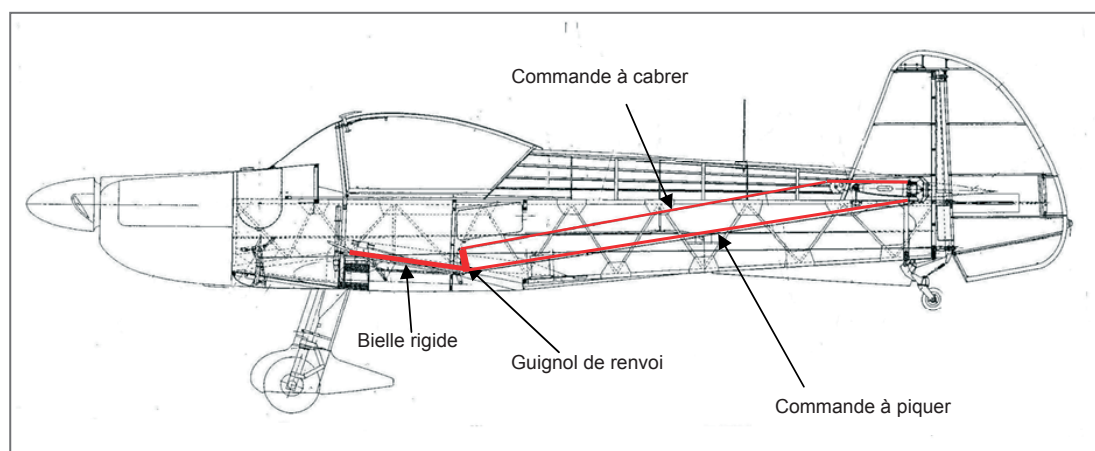
La dernière grande visite (GV, 4 ans ou 2 000 heures) a été effectuée le 15 février 2007 à Chavenay-Villepreux par des mécaniciens de l'aéroclub possédant les qualifications requises (unité d'entretien agréée UEA). L'avion totalisait 8 489 heures de vol et 609 heures depuis la GV précédente. Lors des travaux, la commande de profondeur a été démontée.

Entre la fin de cette visite et la date de l'accident, l'avion a réalisé 128 heures de vol au cours de 161 vols de voltige. Les visites des 50 et 100 heures ont été effectuées par l'UEA de l'aéroclub le 27 avril et le 26 juin 2007. Le programme d'entretien publié par le constructeur et appliqué lors de ces visites ne prévoit pas de vérifier la commande de profondeur.

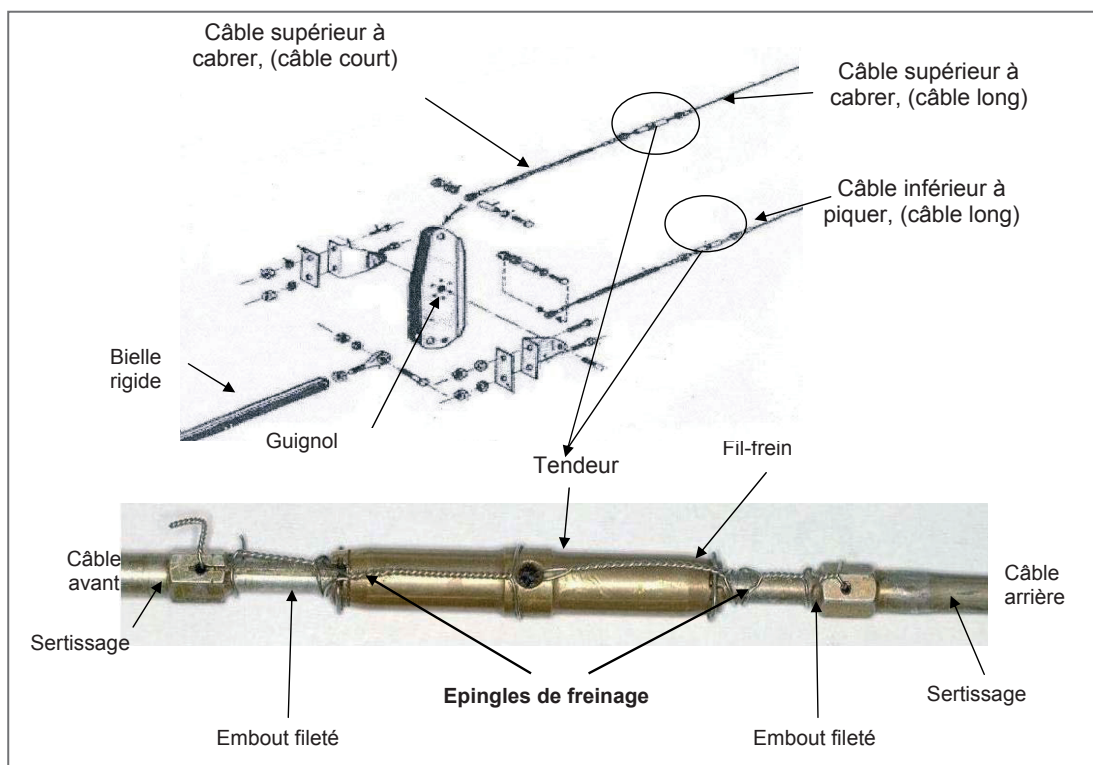
1.5.4 La commande de la gouverne de profondeur

La commande de profondeur est composée d'une bielle rigide et de deux câbles, l'un pour commander le piqué, l'autre le cabré. La bielle rigide est liée aux câbles par un guignol de renvoi. Les câbles sont fixés directement à la gouverne de profondeur et forment une boucle fermée.

Chaque câble est composé de deux parties (câble avant court et câble arrière long) connectées à un tendeur par l'intermédiaire d'embouts filetés. Ces tendeurs permettent d'assurer le réglage de la tension.



Montage de l'assemblage câbles-tendeur



Assemblage de la commande à piquer du F-BXHD

1.5.5 Le circuit carburant

L'alimentation du moteur est assurée par deux réservoirs situés en avant (72 l) et en arrière (78 l) de la cabine de pilotage. Le réservoir arrière est destiné aux vols de croisière. Le réservoir avant est équipé d'un clapet vol dos permettant d'alimenter le moteur en vol acrobatique. La consommation moyenne du CAP 10 C est d'environ 40 l/h. L'enquête a montré que, le jour de l'accident, le réservoir avant contenait environ 45 litres de carburant au moment de la mise en route. Le réservoir arrière était vide.

1.6 Conditions météorologiques

Les relevés de 10 h 00 et 11 h 00 de l'aérodrome de Toussus-Le-Noble, situé à 24 km à l'est du site de l'accident, indiquaient :

- ❑ METAR LFPN 211000Z 01004KT 330V050 CAVOK 09/01 Q1031 NOSIG
- ❑ METAR LFPN 211100Z 35005KT 310V030 CAVOK 10/01 Q1030 NOSIG.

Ces conditions étaient compatibles avec la pratique du vol à vue.

1.7 Télécommunications

Les radiocommunications enregistrées entre le F-BXHD et la tour de contrôle de Chavenay-Villepreux ne comportent que les instructions de circulation aérienne. Aucun message de détresse n'a été émis.

1.8 Enregistreurs de bord

L'avion n'était pas équipé d'enregistreurs de bord ; la réglementation ne l'impose pas.

Il était équipé d'un accéléromètre électronique (MEV) dont la fonction, à la fin de chaque vol, est de fournir un rapport contenant :

- ☐ la date et l'heure du vol (heure UTC),
- ☐ les durées de vol et de voltige,
- ☐ les valeurs maximales d'accélérations positive et négative rencontrées pendant le vol,
- ☐ le nombre de dépassements de limites fixées par l'utilisateur (limites club).

Les durées de vol et de voltige sont enregistrées à l'issue du vol. Dans le cas présent, elles n'ont pas pu être déterminées en raison de l'arrêt prématuré de l'alimentation électrique lors de l'impact avec le sol.

Les valeurs maximales d'accélérations sont enregistrées en temps réel pendant le vol. Sur cet avion, elles possédaient un seuil réglé par l'aéroclub à + 5,1 g en accélération positive et - 3,6 g en accélération négative. Durant le vol précédant l'accident, elles n'ont pas dépassé + 4,9 g et - 2,0 g.

1.9 Renseignements sur le site et l'épave

1.9.1 Description du site

L'accident s'est produit dans un bois dont les arbres sont d'une vingtaine de mètres de hauteur en moyenne. De nombreuses branches ont été sectionnées et arrachées. Les traces sur ces arbres montrent que l'avion a pénétré dans la végétation sous un angle d'environ 60° par rapport à l'horizontale.

1.9.2 Description de l'épave

L'épave n'est pas dispersée. Le fuselage est brisé en arrière de la cabine qui est détruite. L'arrière du fuselage repose en position inversée.

Le moteur est enterré dans le sol. L'hélice bipale en bois, bien que brisée, ne présente pas de déformation importante. Une forte odeur de carburant est perceptible sur le site. Le réservoir avant s'est disloqué. Plusieurs tubulures du circuit carburant sont rompues. Le sélecteur de réservoir carburant est cassé.

Le plan horizontal droit est quasiment intact. Le plan gauche est endommagé et la gouverne de profondeur est brisée. Le plan vertical et la gouverne de direction sont peu endommagés. L'aile est détruite. L'aileron gauche est retrouvé au pied d'un arbre à environ 10 mètres de la cellule, le droit est attaché à la demi-voilure droite. Les volets semblent rentrés. Le mécanisme de verrouillage de la verrière est retrouvé en position verrouillée.

Les instruments sont endommagés et ne fournissent pas d'information utilisable. L'examen a montré que ces endommagements étaient consécutifs à l'impact.

Les câbles des commandes de vol sont encore attachés aux surfaces arrières. Les câbles de la gouverne de direction sont reliés aux palonniers.

Le câble à cabrer de la gouverne de profondeur est retrouvé désolidarisé de son tendeur.



La partie arrière du câble à cabrer (câble long) est désolidarisée au droit de la jonction avec le tendeur.



La partie avant du câble à cabrer (câble court) est restée assemblée, freinée avec le tendeur.



Présence d'une épingle et d'un fil frein sur le câble à piquer.

Absence d'épingle mais présence d'un fil frein sur le câble à cabrer.

Absence d'épingle et de fil frein sur la partie arrière du câble.

1.10 Renseignements médicaux et pathologiques

Les analyses biologiques ont montré l'absence de toute substance médicamenteuse, toxique ou stupéfiante.

L'autopsie du pilote a fait apparaître une anomalie du muscle cardiaque susceptible d'être associée à un risque de troubles du rythme de nature à provoquer des malaises.

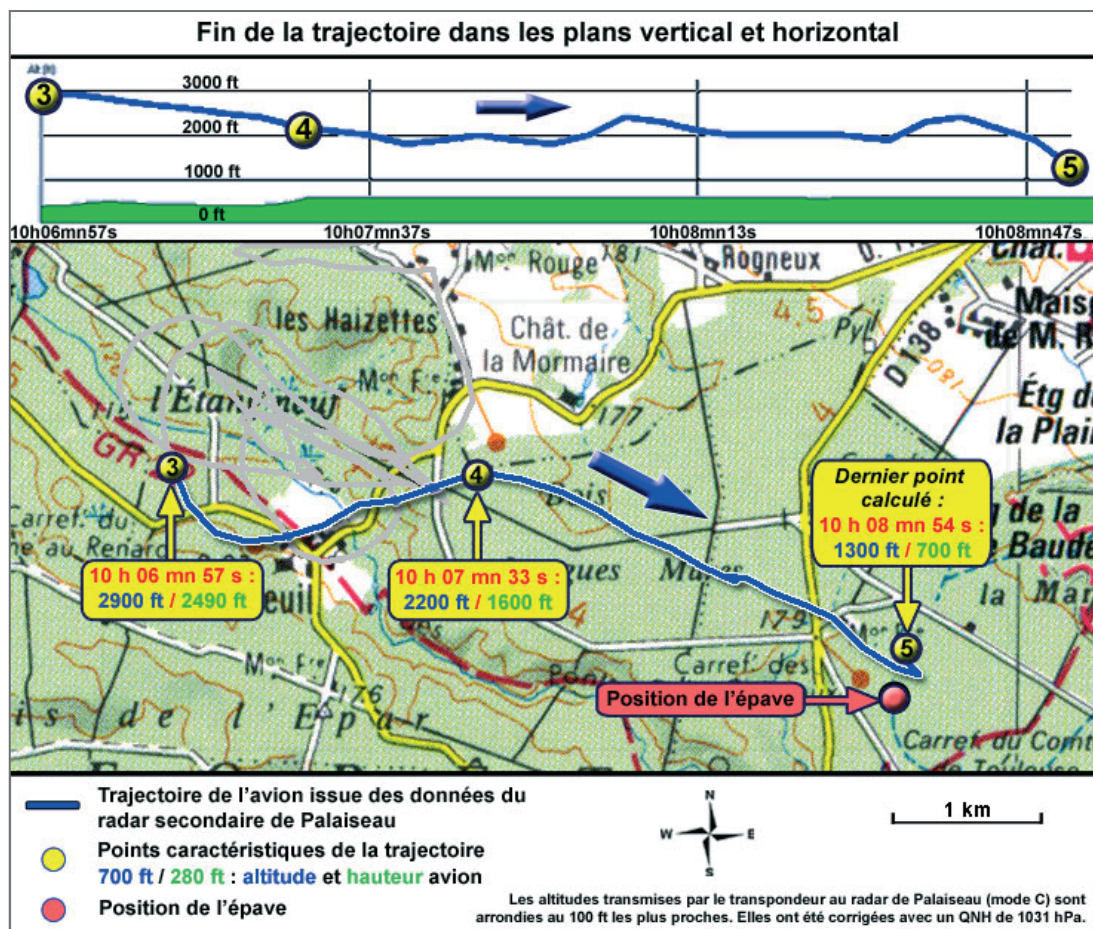
1.11 Questions relatives à la survie des occupants

L'épave a été rapidement localisée grâce à des témoins au sol. L'avion n'était pas équipé d'une balise de détresse. Cette situation est conforme aux consignes du club stipulant la dépose de l'équipement avant chaque vol de voltige pour éviter qu'il ne se détache et présente un danger pour le pilote durant l'évolution. L'utilité d'une balise de recherche pour les vols de voltige est peu avérée puisque ces vols sont sensés se dérouler dans des zones connues et répertoriées.

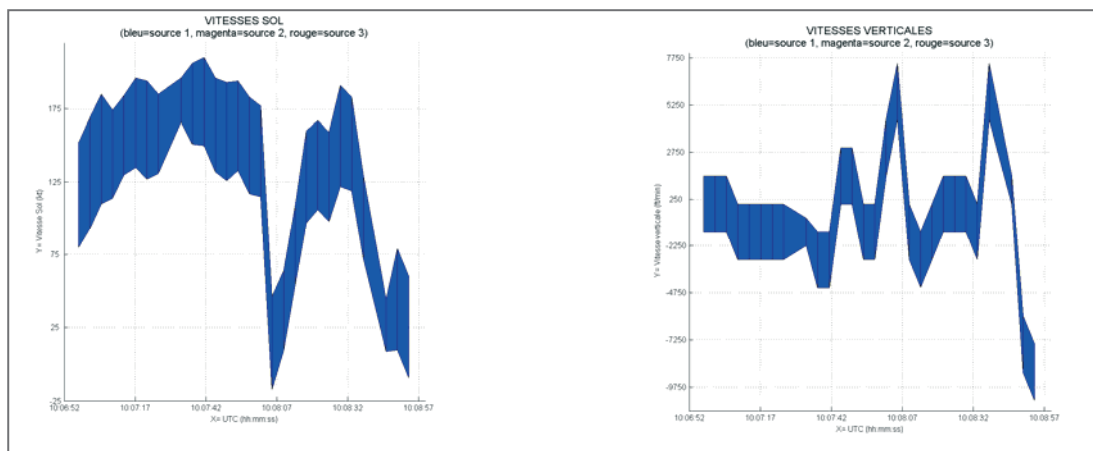
La violence de l'impact avec le sol ne laissait aucune chance de survie au pilote de l'avion. Il a été retrouvé sanglé sur son siège.

1.12 Essais et recherches

1.12.1 Examen de la fin du vol



Les informations issues du radar ont permis d'estimer les paramètres dérivés des positions : la vitesse sol et la vitesse verticale sur les dernières minutes de vol en tenant compte de l'imprécision de la détection. Les graphes ci-dessous représentent les enveloppes à 95 % de probabilité de ces paramètres.



Ces évolutions simultanées de la vitesse sol et de la vitesse verticale indiquent que le pilote effectuait des évolutions dans le plan vertical juste avant l'accident.

1.12.2 Analyse du carburant

L'analyse du carburant de l'avion a montré qu'il était conforme aux spécifications et qu'il ne contenait pas de pollution.

1.12.3 Examens de la cellule et du moteur

Des examens complémentaires de la cellule et du moteur ont été réalisés au Centre d'Essais des Propulseurs (CEPr) de Saclay et au Service Exploitation et Formation Aéronautique (SEFA) de Castelnau. Ils n'ont pas révélé d'anomalie susceptible d'expliquer l'accident.

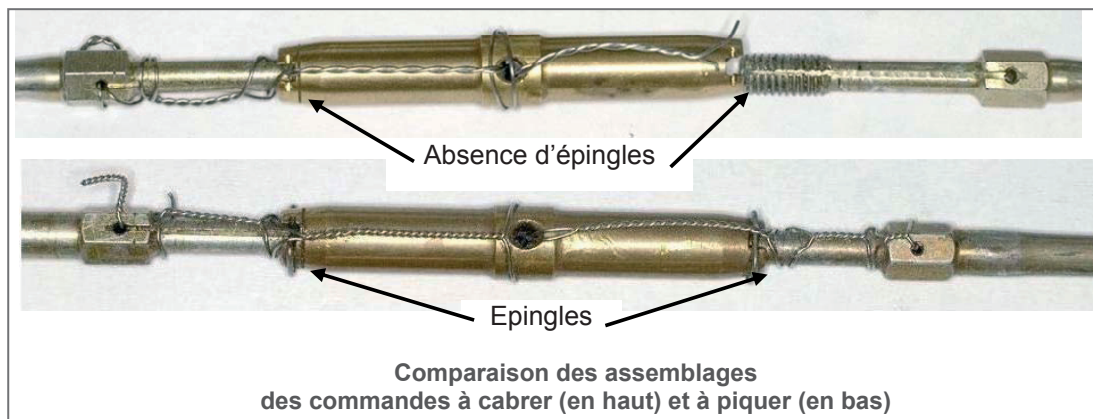
1.12.4 Examen des commandes de vol

Des examens complémentaires ont été réalisés au CEPr de Saclay.

1.12.4.1 Examen des câbles de la commande de direction

Les endommagements constatés sur les câbles de la gouverne de symétrie et sur la chaîne de commande des ailerons sont consécutifs à l'impact.

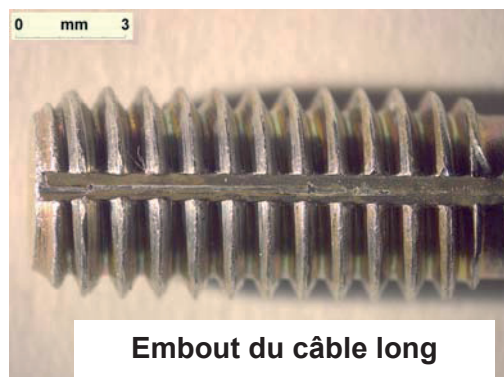
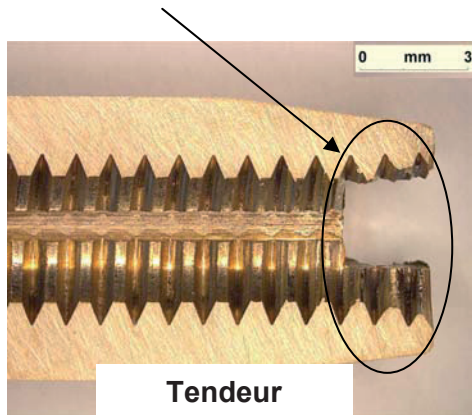
1.12.4.2 Examen des câbles de la commande de profondeur



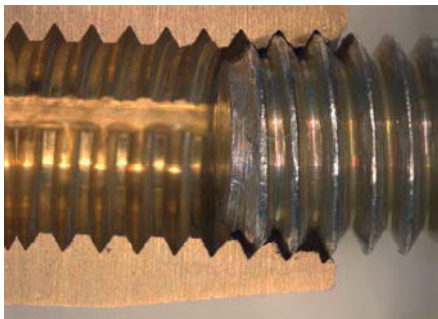
L'examen des câbles de la commande à cabrer a mis en évidence les points suivants :

- ❑ la constitution des câbles, leur composition chimique et leurs caractéristiques mécaniques étaient conformes aux normes établies ;
- ❑ on note l'absence d'épingles de sécurité sur l'assemblage à cabrer et la présence de deux épingles sur le câble à piquer ;
- ❑ sur la commande à cabrer du fil-frein est présent sur la partie avant du câble court et sur le tendeur. Il n'y a pas de résidu de fil-frein sur le câble long. Le fil-frein est rompu au droit de la gorge en « U » du tendeur côté câble arrière long ;
- ❑ la torsion du fil-frein de l'assemblage à cabrer est différente de celle des autres fils-frein, en particulier de celle observée sur l'assemblage du câble à piquer ;

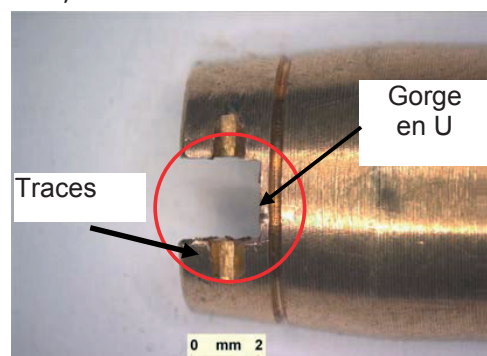
- ❑ le revêtement de protection de l'embout fileté côté câble arrière long révèle des traces de frottement montrant qu'un fil-frein a été positionné antérieurement ;
- ❑ les examens de la liaison défailante sur la commande à cabrer montrent (voir détails en annexe 1) :
 - l'absence de destruction des filets du tendeur, côté câble long, et de l'embout du câble long indique que la désolidarisation des deux pièces n'est pas consécutive à un arrachement mais à un dévissage puis un arrachement sur les derniers filets ;



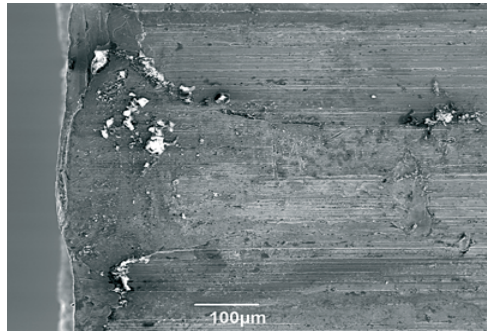
- qu'au moment de la désolidarisation, le câble long n'était pas entièrement vissé dans le tendeur. Seuls les premiers filets étaient en prise,



- que des traces de contact entre le fil-frein et la gorge en « U » (gorge de logement des épingles de sécurité) sont observées sur le tendeur de la commande à cabrer,



- qu'une empreinte d'épingle est observée sur le tendeur à l'entrée du logement correspondant.



1.12.5 Etude du comportement d'un assemblage câble / tendeur

Des essais supplémentaires ont été réalisés sur des commandes de profondeur au Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM) à Saint-Etienne. Ils avaient pour but de vérifier le comportement des assemblages câble / tendeur soumis à des efforts de tractions statiques et dynamiques.

1.12.5.1 Première campagne d'essais

Des tractions statiques ont été appliquées jusqu'à la rupture de l'assemblage dans les trois configurations suivantes (voir détails en annexe 2) :

- ❑ tendeur équipé d'épingles de sécurité des deux côtés sans fil-frein,
- ❑ tendeur équipé uniquement d'un fil-frein du côté court, non freiné côté long et sans épingle,
- ❑ tendeur équipé d'un fil-frein des deux côtés, sans épingle.

Les résultats principaux des essais statiques sont les suivants :

- ❑ La désolidarisation de l'assemblage survient dans les trois cas au niveau de la liaison arrière tendeur/embout fileté du câble arrière long.
- ❑ La charge à rupture de l'assemblage avec les épingles (940 daN) est supérieure au minima requis par la certification (600 daN). Aucun dévissage de câble n'est constaté. La rupture se produit au niveau du sertissage du câble arrière long.
- ❑ Lorsque les deux assemblages sans épingles sont mis sous tension, le toronage (sens d'enroulement) du câble induit un couple de torsion conduisant à un dévissage de l'embout fileté du câble arrière long et un vissage du câble avant court dans le tendeur.
- ❑ Lorsque la tension est relâchée, l'embout fileté du câble arrière long se revisse. Ce phénomène de vissage/dévissage n'est pas symétrique pour une montée/descente en charge. On peut observer plus de dévissage que de vissage. Ceci est lié au fait que le coefficient de frottement de dévissage est inférieur au coefficient de frottement de vissage.
- ❑ Ce dévissage débute sous un effort très faible (< 20 daN).

- ❑ Dans le cas du tendeur équipé de fil-frein des deux côtés, on constate que le fil-frein s'enroule sur l'embout fileté lors du dévissage et se met en tension. La gorge en « U » située à l'extrémité des tendeurs emprisonne et blesse le fil-frein qui finit par se rompre. L'embout fileté du câble arrière long se dévisse puis, lorsqu'il ne reste que quelques filets en prise, se désolidarise du tendeur.
- ❑ La charge à rupture du câble dont le tendeur est équipé d'un fil-frein des deux côtés est inférieure à celui du câble dont le tendeur est équipé d'un fil-frein uniquement du côté court (respectivement 527 daN et 610 daN). La présence du fil-frein du côté du câble arrière long (côté se dévissant du tendeur) favorise la désolidarisation sous des efforts moins importants que lorsque ce côté n'est pas équipé de fil-frein.

Les essais statiques ont permis de montrer que pour un effort important (> 500 daN), le freinage du tendeur assuré uniquement par du fil-frein peut être endommagé et rompre. Les valeurs de charge à rupture obtenues dans le cadre des essais statiques sont cependant supérieures à celles auxquelles sont soumises les commandes lors d'un vol. Afin d'approfondir l'étude du comportement de ces câbles, des essais dynamiques ont été réalisés.

1.12.5.2 Seconde campagne d'essais

Malgré plusieurs recherches et demandes, ni le constructeur, ni la DGAC n'ont pu fournir les valeurs des efforts réels appliqués aux câbles de la commande de profondeur lors d'évolution de voltige.

Le BEA et le CETIM ont défini un protocole d'essai. Les essais en traction dynamique avaient pour objectif de simuler les efforts auxquels les commandes peuvent être soumises lors d'un vol de voltige. Ils ont été réalisés en répétant l'application d'efforts en traction d'amplitude variable, évalués sur la base des valeurs maximales exigées par les normes de certification (voir annexe 3). Différents types d'assemblage de câbles ont été testés.

Compte tenu des efforts appliqués pour réaliser les tests, les résultats principaux des essais dynamiques sont les suivants :

- ❑ dans la configuration d'un tendeur sans épingles et freiné uniquement par du fil-frein, la rupture complète du freinage survient au niveau de la gorge en « U », côté câble long, après l'application d'un nombre d'environ 5 300 cycles,
- ❑ après rupture du freinage, l'application de 6 cycles supplémentaires suffit pour que la commande se désolidarise par dévissage,
- ❑ dans la configuration d'un tendeur dépourvu de gorge en « U » et freiné uniquement par du fil-frein, on n'observe pas de blessure du freinage et pas de désolidarisation.

1.12.5.3 Autres observations

Les câbles sont réalisés à partir du même rouleau de câble. Le sens d'enroulement des torons est donc le même sur le câble court et sur le câble

long. Les filetages des deux embouts sont réalisés en pas inverse afin que le vissage du tendeur entraîne la tension de l'assemblage.

Lorsque l'on soumet l'assemblage à une traction, une torsion induite est générée dans le sens inverse au sens d'enroulement des torons. Ces derniers tendent à s'aligner avec la direction de la traction. Par conséquent, l'embout du câble avant court dont le filetage est de sens contraire à l'enroulement des torons reçoit un couple à visser alors que l'embout du câble arrière long dont le filetage est dans le même sens que l'enroulement des torons reçoit un couple à dévisser.

Le freinage réalisé avec épingle est quasi rigide. Les épingles reçoivent les couples de rotation lors des actions sur les commandes et ne travaillent qu'en cisaillement dans leurs gorges de logement en « U ».

Le freinage réalisé avec du fil-frein n'est pas aussi rigide. Le couple de torsion apparaissant entre le tendeur et l'embout est transmis au freinage lors d'une action sur les commandes. Le fil-frein va s'enrouler et se tendre autour du tendeur et de l'embout.

Lorsque le tendeur est équipé d'une gorge en « U », le fil frein peut y être emprisonné en tension. Il est alors blessé petit à petit par les bords de la gorge et peut se rompre. Les formes en biseau des gorges sont susceptibles de blesser puis de couper le fil.

1.13 Renseignements supplémentaires

1.13.1 Pratique de la voltige

L'arrêté du 10 février 1958, modifié par les arrêtés du 4 février 1987 et du 19 mars 1992, portant sur la réglementation de la voltige aérienne pour les aéronefs civils, indique que « L'accord préalable de l'autorité aéronautique locale, habilitée en outre à déterminer les secteurs et axes de travail, est nécessaire pour pouvoir se livrer à des exercices de voltige ».

Les secteurs et axes de travail sont répertoriés, leurs conditions d'utilisation et limites inférieures et supérieures sont précisées dans la documentation d'information aéronautique.

Dans les environs de Chavenay, la pratique de l'activité de voltige est autorisée au-dessus de l'aérodrome et dans une zone située à 12 NM. Le pilote effectuait des évolutions de voltige dans une zone non réservée à cette activité.

1.13.2 Pratiques, techniques et méthodes d'inspection et de réparation d'aéronef

Il n'existe pas de réglementation française relative aux méthodes et pratiques relatives à l'inspection et à la réparation des aéronefs. Pour sa part, l'administration américaine a publié les documents FAA / AC 43.13-1B traitant de ce sujet. Les circulaires d'information AC 43.13-1B, chapitre 7 section 10, fournissent notamment certaines indications relatives au montage des tendeurs de câbles (voir annexe 4). Elles sont couramment suivies par les mécaniciens en France, notamment ceux de l'aéroclub. Dans le paragraphe

relatif aux systèmes spéciaux de freinage (Section 10 paragraphe 7-183 « Special locking devices »), il est mentionné l'existence de tendeurs conçus pour accueillir des épingles de sécurité. Il est précisé que l'utilisation de fil-frein est acceptable dans le cas où les épingles de sécurité sont indisponibles. Des observations effectuées en France sur d'autres commandes de profondeurs sur avions CAP 10 B et C ont montré que les montages étaient très variés (voir annexe 5).

1.13.3 Règles appliquées par le constructeur

Dans la documentation relative à la production des commandes d'avions de voltige, le constructeur Apex indique : « présence épingles et freinage sur câble de profondeur » sur les tendeurs de câbles (fiche de contrôle « montage CAP 10 C - fuselage » document Form.011ed.5 page N1/1).

Dans sa documentation n° 1001418 relative à la maintenance du CAP 10 B du 19 avril 1972, le constructeur spécifie : « freiner et vérifier les butées et débattements ».

Le point 8 spécifie : « freiner et vérifier les butées et débattements. »

C.A.A.R.P.	CAP.10 B -	MANUEL D'ENTRETIEN	page .5
<p><u>.2 - REGLAGE DES COMMANDES</u></p> <p><u>.2.1 - Débattement de la profondeur (voir planche) 5.4</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1°) Débrancher le point (1) 2°) Tendre approximativement les câbles (2) 3°) Régler la butée (3) de façon à obtenir une course totale de 50° à la gouverne sans s'occuper de la position du 0 4°) Rebrancher le point (1) et régler les chapes d'extrémité de manière à conserver, en position "manche tiré" une garde de 1 cm environ entre les pieds de manche et la face AV du longeron. Une fois le réglage obtenu, répartir symétriquement et vérifier la garde des deux embouts à rotule, bloquer les contre-écrous et vérifier la position secteur avant du manche. 5°) Détendre le câble inférieur (2) et régler le câble supérieur de façon à obtenir 25° vers le bas, par rapport au calage du plan-fixe. 6°) Tendre le câble inférieur à 12 kg. $\frac{1}{2}$ 7°) Vérifier que les débattements et tension sont corrects 8°) Freiner et vérifier les butées et débattements. <p><u>Travaux préparatoires pour accès</u> Dépose porte de visite sous fuselage Eventuellement : dépose siège et couloir central</p> <p><u>.2.2 - Débattement de la direction (voir planche) 5.4</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1°) Détendre les câbles 2°) Régler les butées (palier inférieur de la gouverne) de manière à obtenir 140 mm de jeu mesuré dans le prolongement du bord de fuite de la gouverne de profondeur, celle-ci étant en position "manche avant". 3°) Mettre la gouverne et le palonnier au neutre en vérifiant que le point 0 est situé sur la perpendiculaire au plancher passant par le point d'articulation des palonniers. 4°) Tendre les câbles arrière et le câble de conjugaison. (ce dernier se tend par la face avant de la cloison pare-feu). 5°) Vérifier les tensions et positions 6°) Freiner les tendeurs. <p><u>NOTA : Profiter du réglage pour vérifier les guides-câbles et câbles.</u> <u>Travaux préparatoires pour accès</u> Ouverture porte de capot</p>			

1.13.4 Méthode de dépose des câbles utilisée par l'UEA

Les mécaniciens de l'aéroclub expliquent que, lors de la dernière GV, ils ont déposé les câbles de profondeur conformément aux indications du programme d'entretien du CAP 10 B (document APEX n°1000923, Edition 1 du 01/03/2002). La partie du programme d'entretien du CAP 10 C (document APEX n° 1000830, Edition 1 du 01/11/2001, section 27-30-00) est identique en ce qui concerne la gouverne de profondeur au programme d'entretien du CAP 10 B (document APEX n° 1000923, Edition 1 du 01/03/2002).

Dans son principe, la méthode consiste à dévisser le tendeur du câble à piquer pour libérer symétriquement quelques filets sur les embouts filetés avant et arrière. Après avoir coupé le fil-frein, un outillage simple est mis en place dans les embouts pour empêcher leur rotation.



Cette opération permet de détendre suffisamment le câble afin de démonter l'ensemble câble à cabrer / câble à piquer au niveau des liaisons avec la commande de profondeur.

Au remontage, l'outillage est remis en place avant de revisser le tendeur pour tendre les câbles. Cette tension ne peut être correctement obtenue si les embouts n'ont pas été symétriquement vissés dans le tendeur. Un vissage partiel, donc incorrect, est ainsi immédiatement détectable. Le fil-frein est ensuite remis en place.

Lorsque la tension est assurée, deux épingles de sécurité sont en principe placées dans les gorges. Les mécaniciens précisent qu'ils n'ont pas remis d'épingles car elles n'étaient pas présentes au moment du démontage. Ils ont donc freiné l'assemblage avec du fil-frein. L'enquête n'a pas permis de déterminer à quel moment ces épingles avaient été enlevées.

A la suite de cette GV un vol de contrôle a été effectué le 2 mars 2007. Les débattements et les butées de la profondeur avaient été jugés conformes.

2 - ANALYSE

L'angle à piquer important de la trajectoire ainsi que l'énergie révélée par l'enfoncement du moteur dans le sol et le faible éparpillement de l'épave indiquent que l'avion n'était plus contrôlé lorsqu'il est entré avec une vitesse importante dans les arbres.

L'absence de déformations importantes sur l'embout du câble long et de l'extrémité correspondante du tendeur de la commande de profondeur à cabrer montre que la désolidarisation du câble ne s'est pas produite par arrachement brutal. Un vissage partiel et dissymétrique du tendeur lors de la dernière GV est improbable car cette configuration aurait engendré une tension insuffisante des câbles qui aurait été détectée par les pilotes.

Le tendeur de la commande à cabrer était freiné par un fil-frein mais n'était pas sécurisé par des épingles de sécurité. Les traces de présence antérieure d'une épingle dans le tendeur ont été observées mais il n'a pas été possible de déterminer depuis quand l'avion volait sans ces épingles.

Il n'existe pas de réglementation imposant la présence d'épingles de sécurité. La seule documentation existante est un document américain dans lequel il n'est pas fait mention de la possibilité de détérioration du fil-frein par les gorges en « U » lorsque le tendeur en est équipé. Les essais ont cependant montré que la présence de ces épingles empêchait tout dévissage en vol.

Les essais ont montré que, sous d'importantes contraintes répétées, cette configuration pouvait conduire à la rupture du fil-frein puis au dévissage du câble long et à sa séparation avec le tendeur. Au cours de l'un des essais, le fil-frein s'est rompu en deux endroits (au niveau de la boucle à la base du tendeur et au niveau de la boucle à la base de l'orifice de passage du fil-frein dans l'embout). Ceci pourrait expliquer l'absence du morceau de fil-frein résiduel sur le câble long trouvé dans l'épave. Les essais ont montré qu'en l'absence d'épingle de sécurité, un câble peut se désolidariser de son tendeur même si des fils-freins ont été mis en place. Les efforts subis par l'assemblage lors des vols de voltige successifs génèrent un dévissage progressif jusqu'à ce que seuls trois ou quatre filets restent en prise dans le tendeur. Quelques efforts supplémentaires en traction conduisent à la séparation brutale du câble long et du tendeur.

Le pilote a été soudainement confronté à un événement qu'il n'avait jamais vécu et auquel il n'était vraisemblablement ni préparé ni entraîné. Il n'a probablement pas eu le temps d'analyser la situation et de tenter une action de sauvegarde, comme par exemple l'utilisation du compensateur de profondeur.

Un malaise du pilote ne peut être exclu. Dans cette hypothèse, il n'est pas possible de déterminer si ce malaise était la cause ou la conséquence de la perte de contrôle. Cependant, seuls trois filets de l'embout du câble étaient engagés dans le tendeur au moment de la désolidarisation. Le phénomène de dévissage en vol s'est donc produit.

3 - CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- ❑ Le pilote détenait les licences et qualification requises.
- ❑ L'avion détenait un certificat de navigabilité en état de validité.
- ❑ Les conditions météorologiques étaient compatibles avec le vol à vue.
- ❑ Après environ 10 minutes de vol, l'avion a heurté des arbres avec une trajectoire d'environ 60° par rapport à l'horizontale.
- ❑ Le freinage de l'assemblage de la commande à cabrer était assuré par du fil-frein. Le système est conçu pour accueillir des épingles de sécurité qui n'étaient pas en place. Ce fil-frein était rompu au droit de la gorge destinée à recevoir l'épingle de sécurité.
- ❑ L'embout du câble de commande de profondeur à cabrer s'est progressivement dévissé au cours des vols précédents.
- ❑ Les essais en traction réalisés sur un tendeur uniquement sécurisé par du fil-frein ont montré qu'il était possible d'endommager ce fil-frein puis de désolidariser l'ensemble câble / tendeur en le soumettant à des efforts répétés.
- ❑ Des commandes de profondeur équipées du même montage et freinage, donc susceptibles de subir les mêmes défaillances, ont été observées sur d'autres avions de voltige.
- ❑ Il n'existe aucune réglementation, recommandation ou documentation incitant à la mise en place systématique d'épingles de sécurité lorsque celles-ci peuvent être installées.

3.2 Causes de l'accident

L'accident est consécutif à la perte de contrôle en vol de l'avion. Cette perte de contrôle est très probablement liée à la désolidarisation en vol de la commande de profondeur à cabrer.

Les facteurs suivants ont pu contribuer à l'accident :

- ❑ la méconnaissance des risques de défaillance du système de liaison lorsque les épingles de sécurité ne sont pas en place alors que les tendeurs sont conçus pour les recevoir ;
- ❑ l'absence d'information, de documentation et de réglementation imposant la mise en place des épingles de sécurité lorsque l'assemblage est conçu pour en recevoir.

4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE

Rappel : conformément à l'article 10 de la Directive 94/56/CE sur les enquêtes accidents, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité dans un accident ou un incident. L'article R.731 2 du Code de l'aviation civile stipule que les destinataires des recommandations de sécurité font connaître au BEA, dans un délai de quatre-vingt-dix jours après leur réception, les suites qu'ils entendent leur donner et, le cas échéant, le délai nécessaire à leur mise en œuvre.

Les examens et les essais effectués dans le cadre des recherches ont mis en évidence des risques de désolidarisation des assemblages de commandes de vol lorsqu'ils sont constitués d'un tendeur pourvu de gorges et uniquement freiné par un fil-frein. Ce risque de désolidarisation peut survenir sous des efforts représentatifs de ceux que rencontrent les systèmes en vol.

En conséquence, le BEA recommande que l'EASA et la DGAC :

- **s'assurent du contrôle des commandes de vol de tous les avions équipés d'assemblages dont les tendeurs sont pourvus de gorges afin de s'assurer de la présence d'épingles de sécurité ;**
- **s'assurent que leur soient rapportées toutes les anomalies de montages constatées.**

Les essais ont montré que les phénomènes de vissage/dévissage des câbles dans leur tendeur étaient directement dépendants des matériaux en contact et du sens de toronnage des câbles.

En conséquence, le BEA recommande que :

- **l'EASA et la DGAC étudient la réalisation d'équipements dont les propriétés réduisent ou évitent les possibilités de dévissage/vissage naturels.**

Liste des annexes

annexe 1

Examen de la commande de profondeur à cabrer

annexe 2

Première campagne d'essais

annexe 3

Seconde campagne d'essais

annexe 4

Pratiques, techniques et méthodes acceptables d'inspection et de réparation d'aéronef (AC 43-13)

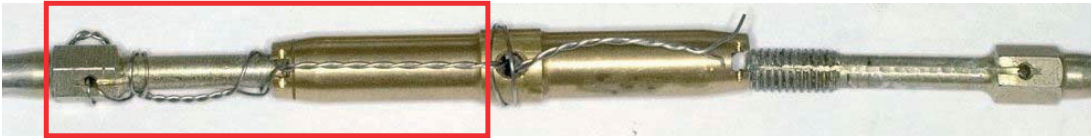
annexe 5

Différents types de montage de commandes de profondeur

annexe 1

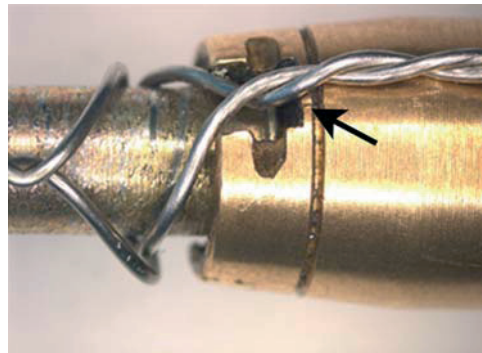
Examen de la commande de profondeur à cabrer

Examen de l'assemblage avec le câble avant demeuré solidaire et freiné :



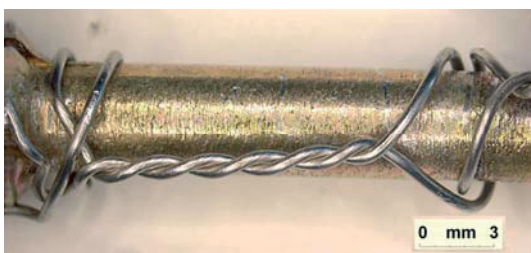
Avant démontage, les observations montrent que l'embout fileté du câble avant est entièrement vissé dans le tendeur central. L'épingle de sécurité est absente.

A l'entrée du tendeur, dans la gorge en « U », une petite empreinte arrondie est observée. Cette empreinte correspond au contact du fil-frein lorsque les rainures du tendeur et de l'embout fileté sont alignées. Le fil-frein torsadé est entier sur l'assemblage avant. Il présente une certaine tension.

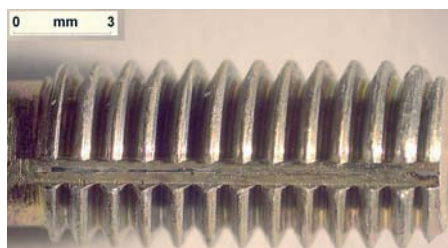


Examen de l'embout fileté du câble avant :

Après démontage de l'assemblage, les examens détaillés montrent que les filets ne sont pas déformés. Des traces de frottement sont identifiées sur le flanc travaillant de tous les filets. Ces traces sont consécutives à l'introduction totale de l'embout dans un tendeur. La rainure de l'épingle de sécurité présente une trace de frottement sur toute sa longueur. Cette trace indique qu'au moins une épingle de sécurité a déjà été introduite sur cet embout fileté.



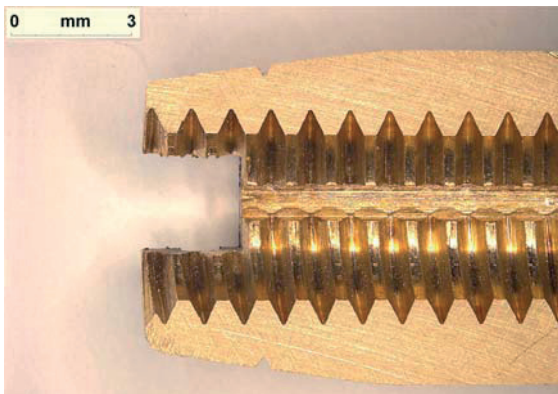
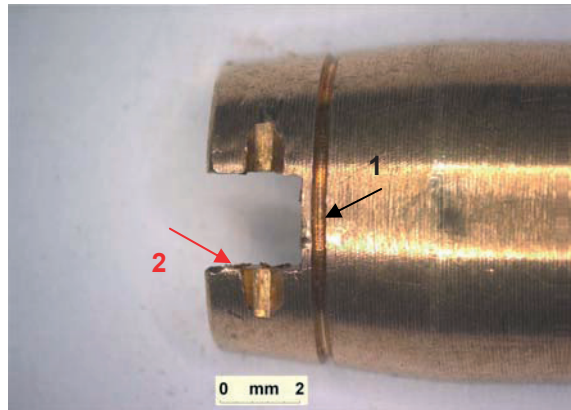
Partie lisse de l'embout fileté avant, traces de frottement dans les zones où est enroulé le fil-frein



Embout fileté du câble avant court, avec une trace de frottement dans la rainure

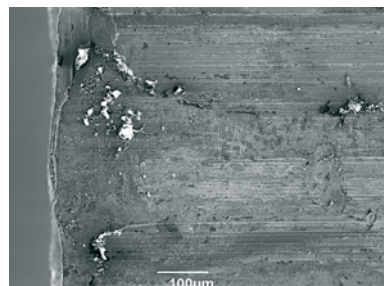
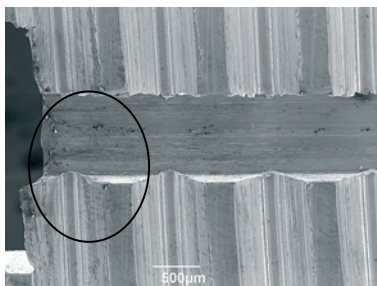
Examen de la partie avant du tendeur :

La surface extérieure du tendeur présente deux empreintes à l'entrée du filetage dans la gorge en « U » : la première empreinte est axiale (repère 1), due au contact avec le fil-frein. La seconde empreinte est radiale (repère 2), située sur le bord avant, en amont de la gorge tangentielle recevant la partie libre de l'épingle de sécurité.

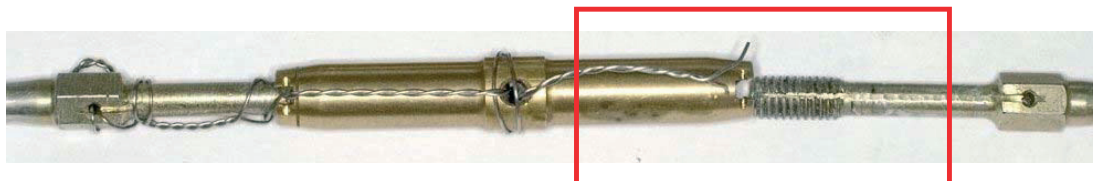


A l'intérieur du tendeur, les filets sont intacts jusqu'à l'entrée du tendeur. Des traces de frottement sont observées sur le flanc travaillant des 13 premiers filets, consécutives au vissage d'un embout dans le tendeur et à sa mise en tension.

A l'entrée des deux rainures symétriques de logement de l'épingle de sécurité, une empreinte est observée. Compte tenu de leur forme et de leur position, ces empreintes résultent du contact avec la courbure d'une épingle de sécurité montée normalement.



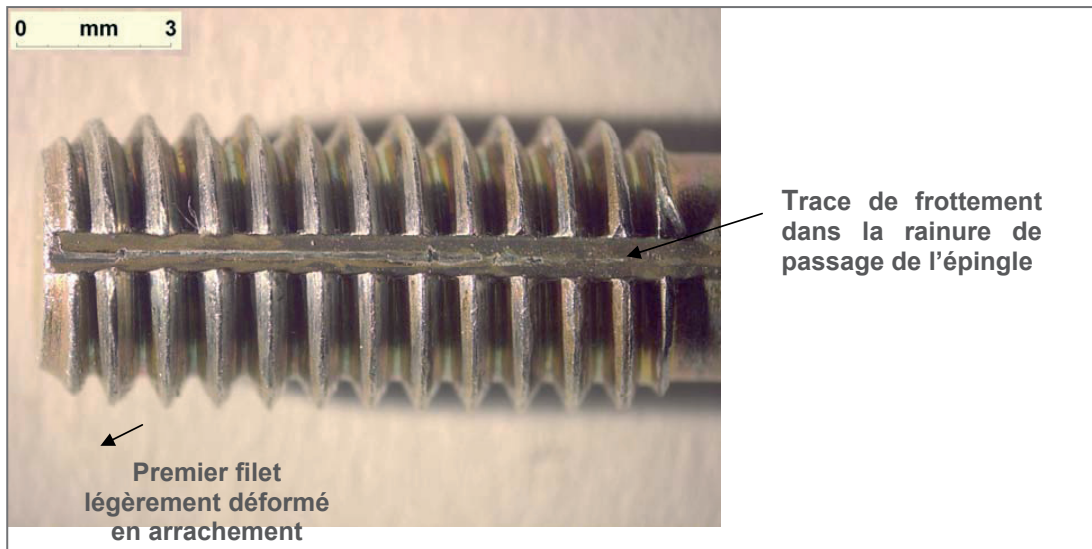
Examen de l'assemblage arrière retrouvé désolidarisé :



Examen de l'embout fileté du câble arrière :

Le premier filet est légèrement déformé vers l'avant. Des traces de frottement sont identifiées sur le flanc travaillant de tous les filets. Ces traces sont consécutives à l'introduction complète de l'embout dans un ou plusieurs tendeurs.

La rainure de passage de l'épingle de sécurité présente une trace de frottement sur toute sa longueur. Cette trace indique qu'une épingle de sécurité a déjà été montée.

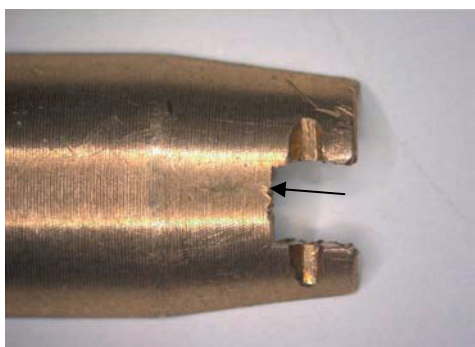
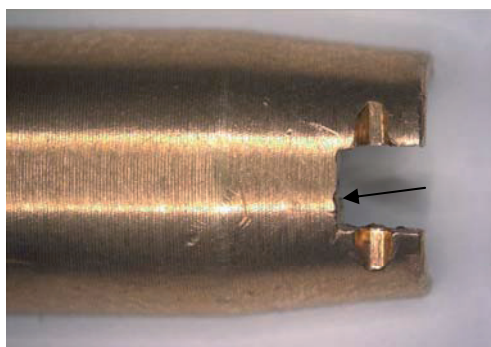


Sur la partie lisse, en aval des filets, la couche de cadmium est partiellement endommagée. Les traces de frottement sont en hélice opposée au sens de filetage. Ces traces de frottement ont une épaisseur et un intervalle d'environ 1 mm, compatible avec le pas des torsades du fil-frein.

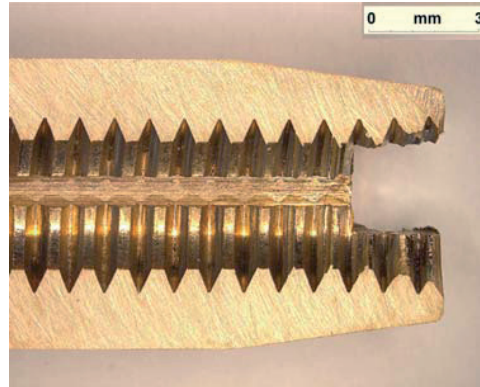
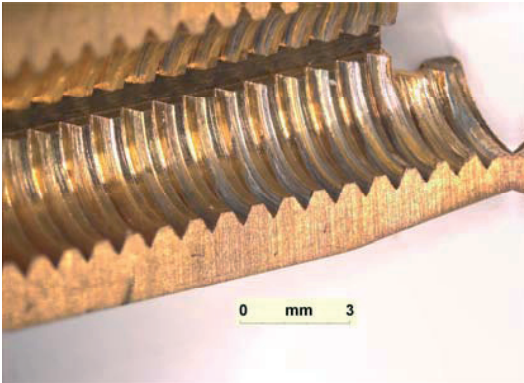


Examen de la partie arrière du tendeur :

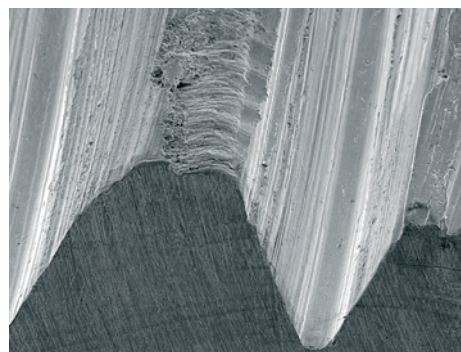
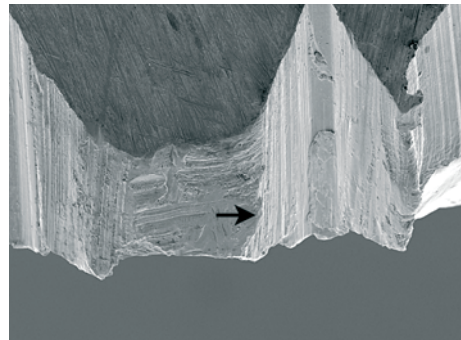
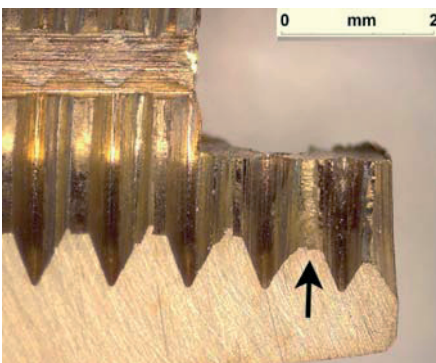
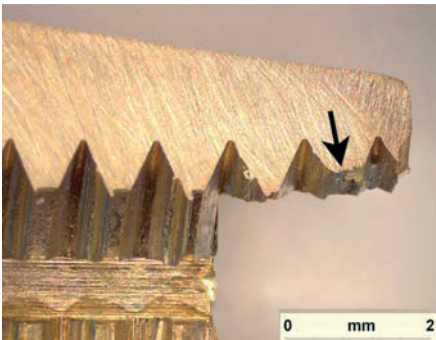
Sur la surface extérieure, au droit de chaque rainure, dans la gorge en « U », des empreintes sont observées. Ces empreintes sont compatibles avec le contact d'un fil-frein.



Des traces de frottement sont observées sur le flanc travaillant des 12 premiers filets. Elles sont consécutives au serrage d'un ou plusieurs embouts dans le tendeur. Le premier tiers supérieur du flanc travaillant des filets 3 à 5 est fortement déformé.

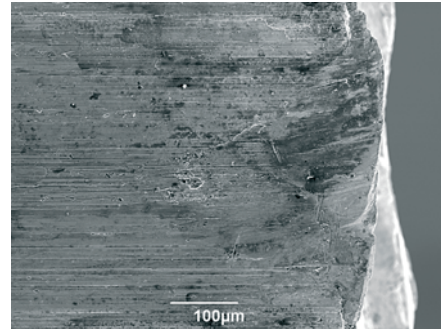
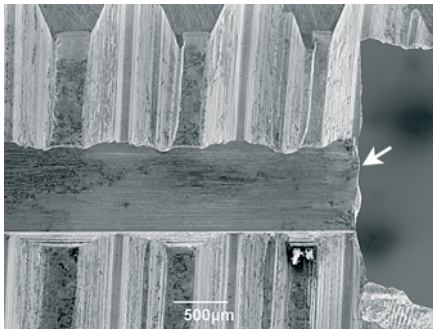


Le sommet du premier filet entier est cisailé. Observé au microscope électronique à balayage (MEB) ce filet montre une surface complètement matée, avec des traces de frottement et des petites bavures orientées vers l'arrière.

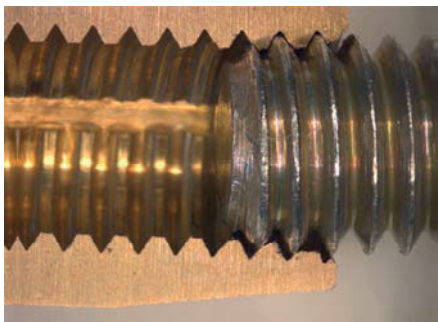


A l'entrée de chaque rainure de logement de l'épingle, une empreinte est observée.

Compte tenu de leur forme et de leur position, ces empreintes résultent du contact avec la courbure d'une épingle de sécurité montée normalement. Elles sont similaires à celles observées sur l'assemblage avec le câble avant retrouvé solidaire et freiné.



Le repositionnement de l'embout dans le tendeur, avec ses trois premiers filets en prise, montre que l'assemblage a une certaine liberté angulaire. Dans cette configuration, le sommet des filets de l'embout en acier se positionne dans les usures constatées sur les filets du tendeur.

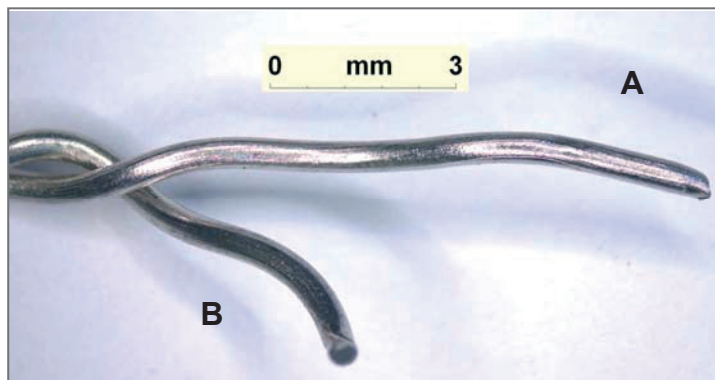


Examen de l'extrémité du fil-frein côté câble arrière :

Le fil-frein est rompu au droit de l'entrée arrière du tendeur.

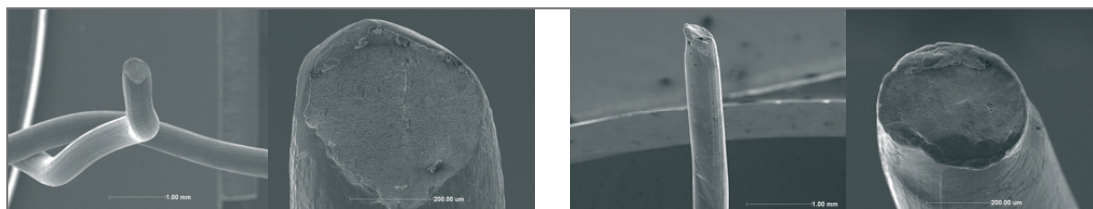


Au droit de cette rupture, les deux brins se sont ou ont été « détorsadés » sur un pas.



Les deux extrémités du fil-frein, repérées arbitrairement A et B, ont été examinées au MEB. Sur les deux cassures, les examens ont mis en évidence des cupules légèrement déformées, suivant le plan oblique des cassures.

On ne note pas de marque d'arrêt. Ce fil-frein s'est donc rompu statiquement, apparemment en une phase et non en phases alternées. Au droit de chaque cassure, une très légère empreinte est également observée. Elle est manifestement consécutive au contact du fil-frein avec le tendeur.



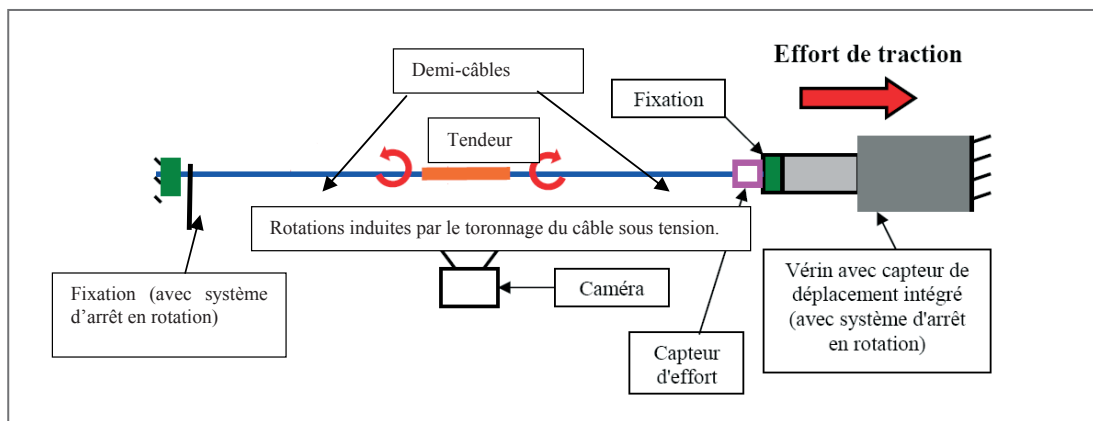
Cassure du fil-frein, extrémité A

Cassure du fil-frein, extrémité B

annexe 2

Première campagne d'essais

Configuration des essais :



Conditions et déroulement des essais :

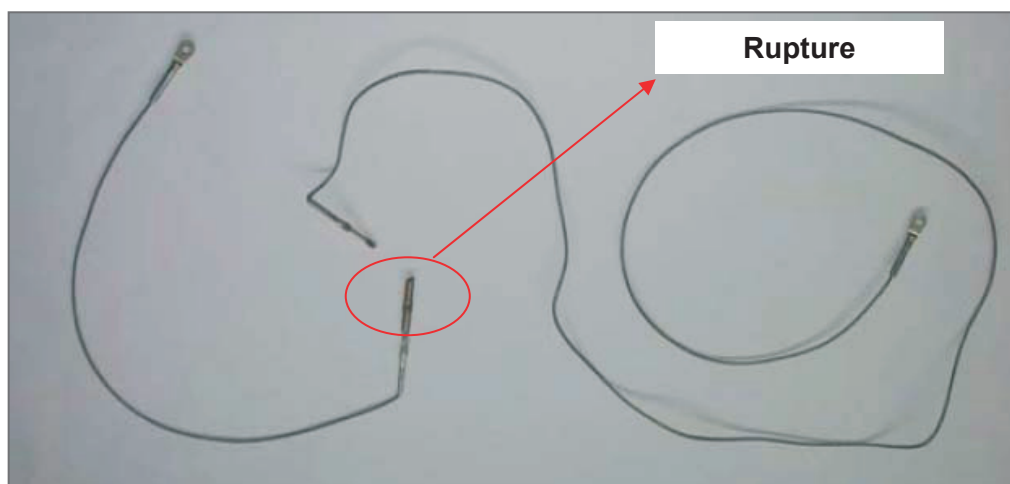
Trois câbles, du même type que celui retrouvé dans l'épave, ont été testés. Les essais de traction ont été menés jusqu'à la rupture sur trois câbles freinés différemment :

- ☐ essais 1 : pas d'épingle, fil-frein uniquement côté court,
- ☐ essais 2 : épingles, pas de fil-frein,
- ☐ essais 3 : pas d'épingle, fil-frein complet.

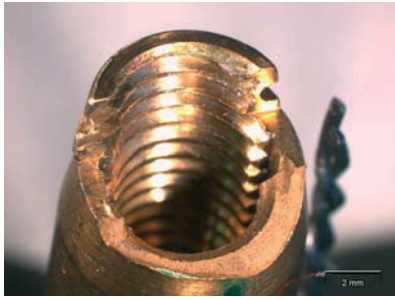
Résultats des essais :

☐ Essais 1 : pas d'épingle, fil-frein uniquement côté court

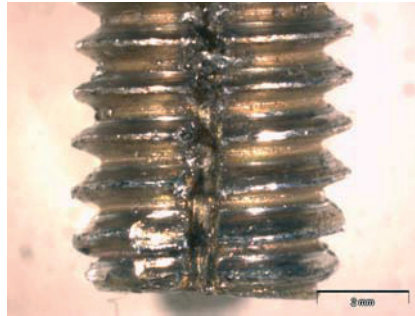
L'embout fileté du câble arrière (côté long) se dévisse, il se revisse en partie si la tension est relâchée. La rupture se produit à une tension de 610 daN. Le câble de commande s'est désolidarisé au niveau de la liaison arrière tendeur/embout fileté du câble.



Les câbles sont pliés au niveau des deux sertissages. Le câble long présente des déformations permanentes. Ces endommagements sont liés au relâchement soudain de la tension et sont donc des conséquences de la rupture.



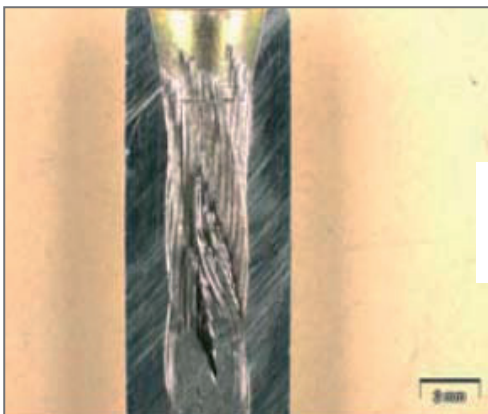
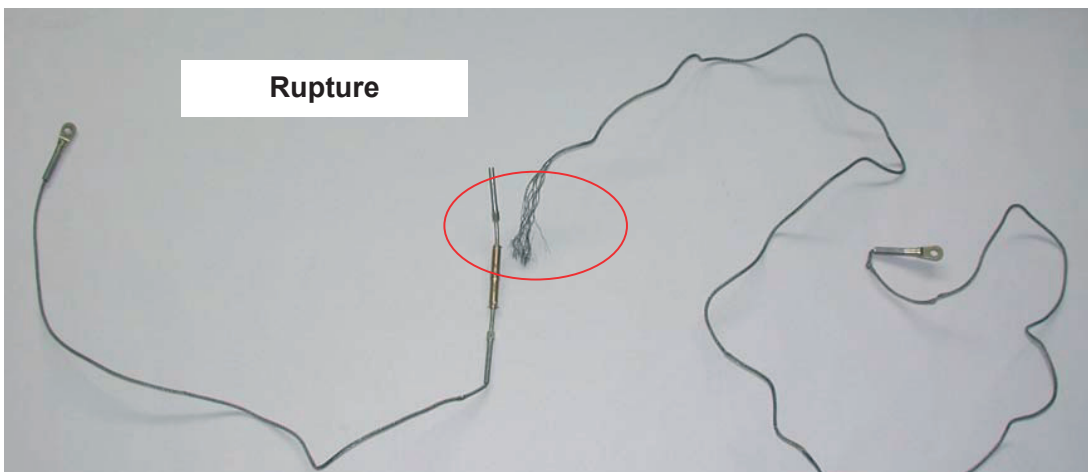
Le tendeur est rompu par surcharge
du côté câble long



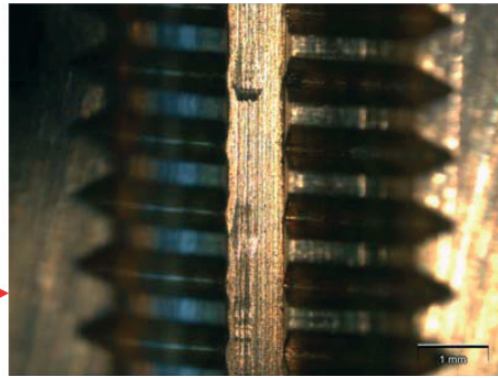
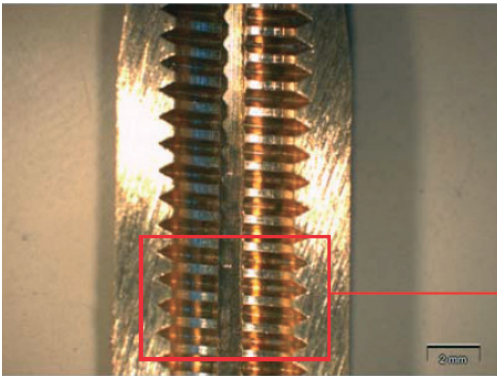
Les derniers filets en prise sur le tendeur
sont déformés de l'avant vers l'arrière.

❑ Essais 2 : épingles, pas de fil-frein

Le câble de commande s'est désolidarisé au niveau du sertissage de l'embout fileté du câble long. Les câbles sont pliés au niveau des deux sertissages et présentent des déformations permanentes. Ces endommagements sont liés au relâchement soudain de la tension et sont donc des conséquences de la rupture. Les embouts filetés sont toujours solidaires du tendeur. Les épingles, toujours en place, ont assuré leur fonction. Le câble long s'est rompu par surcharge dans le sertissage.



Coupe longitudinale du sertissage

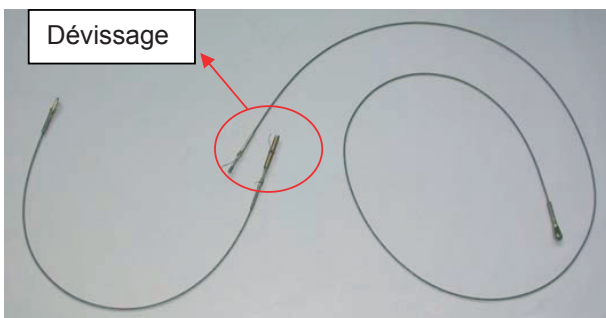


A l'entrée des rainures du tendeur des empreintes sont observées, correspondant au contact de la courbure de l'épingle avec le tendeur. Des empreintes sont également observées dans une des rainures côté long. Elles ont été faites dans un mouvement du haut vers le bas probablement lors de leur mise en place.

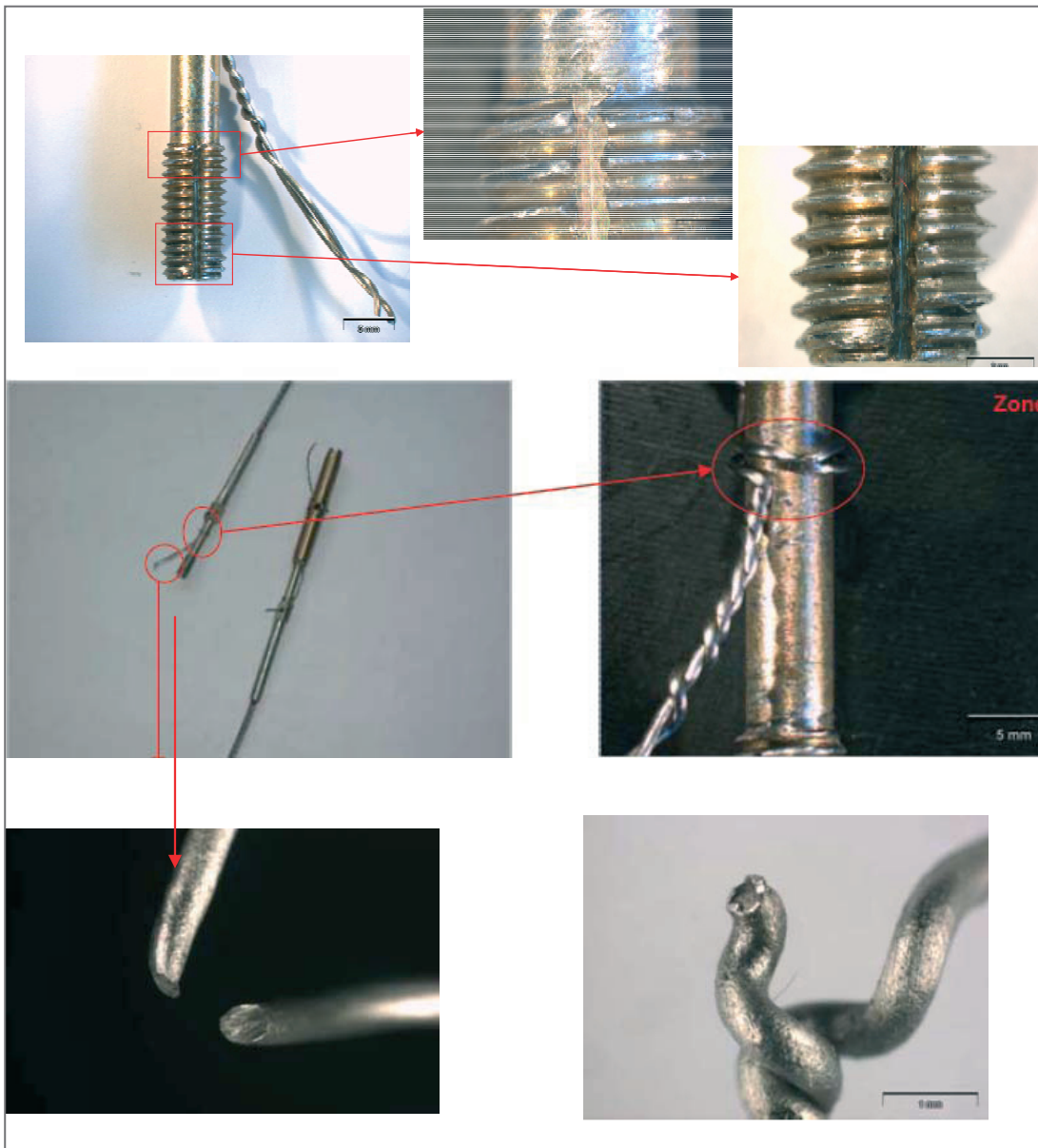
❑ Essais 3 : pas d'épingle, fil-frein complet

Le câble de commande s'est désolidarisé au niveau de la liaison arrière tendeur/ embout fileté du câble. Les câbles ne présentent pas de déformations liées au relâchement soudain de la tension au moment de la rupture.

Le fil frein est rompu au niveau de sa boucle entre le tendeur et l'embout fileté du côté du câble long.



Le filetage de l'embout est endommagé à ses deux extrémités. Des marques en rotation laissées par le fil-frein sont observées sur le tendeur au droit des gorges en « U ». Les derniers filets en prise du tendeur sont déformés dans un mouvement vers l'arrière avec la formation d'une lèvre orientée vers l'arrière.



Le fil-frein est rompu à deux endroits :

- ❑ au droit de la gorge en « U » du côté du câble long;
- ❑ au niveau de la boucle à la base de l'orifice de passage du fil-frein dans l'embout du câble long.

Les faciès de rupture sont caractéristiques de ruptures par surcharge : granuleux, mat, dans un plan à 45° de l'axe du fil et/ou avec de la striction au niveau de la rupture.

annexe 3

Seconde campagne d'essais

Cette seconde campagne d'essai a permis de comparer, pour différentes solutions de freinage du tendeur, l'effort de traction, statique ou dynamique, auquel peut résister l'assemblage par tendeur de la commande de profondeur d'un avion de tourisme type CAP 10.

Quinze câbles au total ont été testés. Le tableau suivant explicite le type de câble testé, son numéro d'ordre, sa particularité et son type de sollicitation.

N° d'ordre d'essai	N° câble	Type de ridoir	Type de freinage	Sollicitation
1	1	En laiton sans gorge	fil frein des deux cotés	Statique
2	2	En laiton sans gorge	fil frein des deux cotés	Statique
3	3	En laiton sans gorge	fil frein des deux cotés	Statique
4	4	En laiton avec gorge	fil frein des deux cotés	Statique
5	5	En laiton avec gorge	fil frein des deux cotés	Statique
6	6	En laiton avec gorge	fil frein des deux cotés	Statique
7	7	En laiton avec gorge	fil frein des deux cotés	Statique
8	8	En laiton avec gorge	fil frein des deux cotés	Dynamique 1 (D1)
9	9	En laiton avec gorge	fil frein des deux cotés	Dynamique 1 (D1)
10	10	En laiton avec gorge	fil frein des deux cotés mais avec un brin coupé coté câble long	Dynamique 1 (D1)
11	11	En laiton avec gorge	sans freinage des deux cotés	Dynamique 2 (D2)
12	12	En laiton avec gorge	sans freinage des deux cotés	Dynamique 2 (D2)
13	13	En laiton avec gorge	sans freinage coté grand câble, avec goupille coté petit câble	Dynamique 2 (D2)
14	13	En laiton avec gorge	sans freinage coté grand câble, avec fil coté petit câble	Dynamique 2 (D2)
15	14	En alu avec gorge	sans freinage coté grand câble, avec fil coté petit câble	Dynamique 2 (D2)
16	15	En inox avec gorge	sans freinage coté grand câble, avec fil coté petit câble	Dynamique 2 (D2)
17	14	En alu avec gorge	sans freinage coté grand câble, avec fil coté petit câble	Statique
18	15	En inox avec gorge	sans freinage coté grand câble, avec fil coté petit câble	Statique

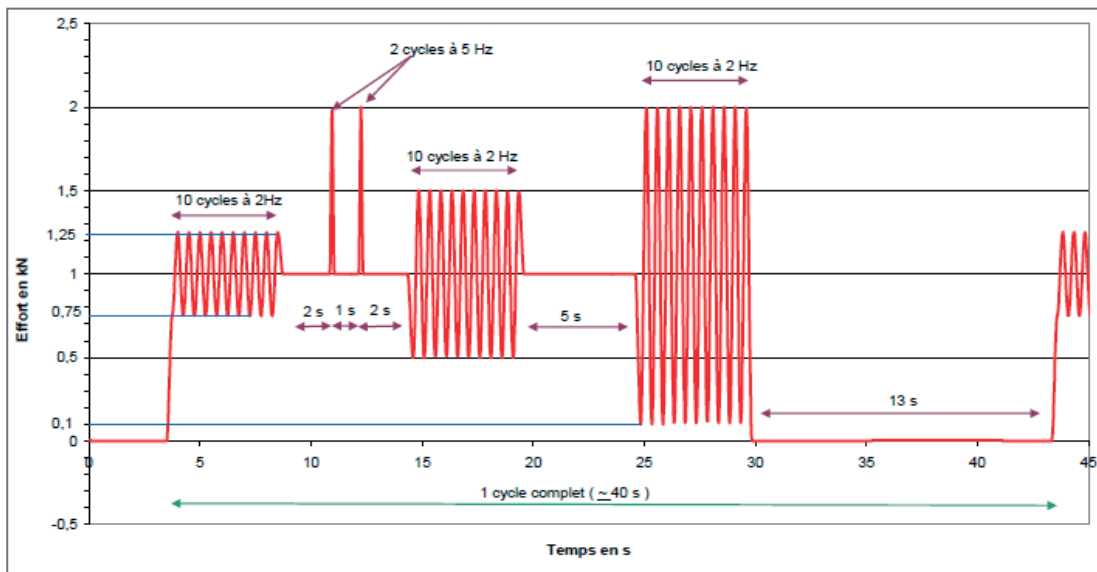
Conditions de charge

1. Essais statiques

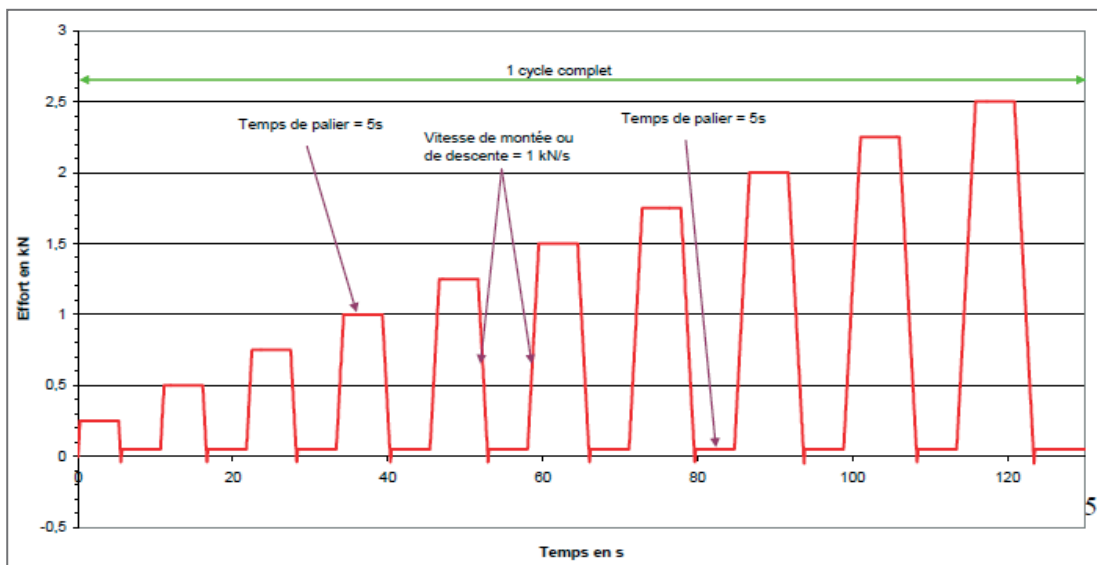
La montée en charge est réalisée jusqu'à rupture d'un élément du câble de manière manuelle mais continue.

2. Essais dynamiques

En l'absence des valeurs des efforts réels appliqués aux câbles de la commande de profondeur lors d'évolution de voltige, deux spectres de charges ont été utilisés. Les diagrammes ci-après détaillent ces chargements.



Signal de commande D1



Signal de commande D2

Le spectre D1 simule les efforts qui sont soumis à l'un des deux câbles de la commande de profondeur lors d'un vol de voltige. Compte tenu de l'effort maximal continu admis par la réglementation (27 daN) et du rapport des bras de levier de l'assemblage (x 4), l'effort moyen appliqué aux câbles est de l'ordre de + 1 000 N.

Autour de cette valeur, des cycles de variation d'amplitude des efforts sont appliqués afin de simuler les actions du pilote, les conditions atmosphériques et les efforts aérodynamiques :

- ❑ deux cycles à + 1 000 N correspondent à des rafales de vent,
- ❑ un cycle de variation de l'amplitude de + 1 500 à + 500 N simule une augmentation des efforts et une diminution momentanée (action du pilote lors d'un vol de voltige),

- un cycle de variation de l'amplitude de + 2 000 à + 100 N simule des efforts correspondant aux charges limites admises puis un déchargement complet du câble (+ 100 N). Il a été convenu que cette dernière charge résiduelle était nécessaire afin de ne pas introduire d'à coups/chocs dans le câble à partir de sa position « repos ».

Le spectre D2 correspond à un chargement qui va continuellement croissant afin de tenter de visualiser le comportement en rotation (dévissage sous montée en charge / revissage sous déchargement) d'un assemblage libre sans freinage. Il a été convenu d'appliquer un accroissement de 250 N par palier, sans aller au-delà de 2 500 N. Cette gamme d'essais a pour but principal de comparer les comportements de divers matériaux constituant le tendeur.

Résultats des essais

Les tableaux ci-dessous fournissent les résultats des essais.

N° d'essai	Type de ridoir		Freinage				Effort de rupture en kN	Remarque
	Matière	Gorge	Fil frein		Goupille			
			Câble long	Câble court	Câble long	Câble court		
1	laiton	non	oui	oui	non	non	9,8	Rupture du câble. Rupture du fil frein sans devissage total coté long. pas de rupture du fil frein coté court
2	laiton	non	oui	oui	non	non	7,6	Rupture du fil frein et devissage total coté long. Pas de rupture du fil frein coté court
3	laiton	non	oui	oui	non	non	7	Rupture du fil frein et devissage total coté long. Pas de rupture du fil frein coté court
4	laiton	oui	oui	oui	non	non	5,7	Rupture du fil frein et devissage total coté long. Pas de rupture du fil frein coté court
5	laiton	oui	oui	oui	non	non	5,6	Rupture du fil frein et devissage total coté long. Pas de rupture du fil frein coté court
6	laiton	oui	oui	oui	non	non	6,1	Rupture du fil frein et devissage total coté long. Pas de rupture du fil frein coté court
7	laiton	oui	oui	oui	non	non	6,1	Rupture du fil frein et devissage total coté long. Pas de rupture du fil frein coté court
17	alu	oui	non	oui	non	non	8	Rupture du fil frein et devissage total coté long. Pas de rupture du fil frein coté court
18	inox	oui	non	oui	non	non	9,7	Rupture du câble. Aucun devissage total coté long, pas de rupture du fil frein coté court

Résultats essais statiques

N° d'essai	Type de ridoir		Freinage				Solicitation	Nombre de cycles	Remarque
			Fil frein		Goupille				
	Matière	Gorge	Câble long	Câble court	Câble long	Câble court			
8	laiton	oui	oui	oui	non	non	Dynamique 1	61	Pas de rupture de fil frein. Essai arrêté volontairement.
9	laiton	oui	oui	oui	non	non	Dynamique 1	5293	Rupture du fil frein coté câble long détectée à 5287 cycles.
10	laiton	oui	oui, un brin coupé	oui	non	non	Dynamique 1	2004	Pas de rupture de fil frein. Essai arrêté volontairement.
11	laiton	oui	non	non	non	non	Dynamique 2	1	Dévisage complet coté câble long à 1,25 kN
12	laiton	oui	non	non	non	non	Dynamique 2	1	Dévisage complet coté câble long à 1,25 kN
13	laiton	oui	non	non	non	oui	Dynamique 2	2	Pas de rupture par dévisage total, mais phénomène de vissage/dévisage présent.
14	laiton	oui	non	oui	non	non	Dynamique 2	2	Pas de rupture par dévisage total, mais phénomène de vissage/dévisage présent.
15	alu	oui	non	oui	non	non	Dynamique 2	2,5	Pas de rupture par dévisage total, mais phénomène de vissage/dévisage présent.
16	inox	oui	non	oui	non	non	Dynamique 2	3	Pas de rupture. Aucun dévisage sous charge.

Résultats essais dynamiques

Conclusion

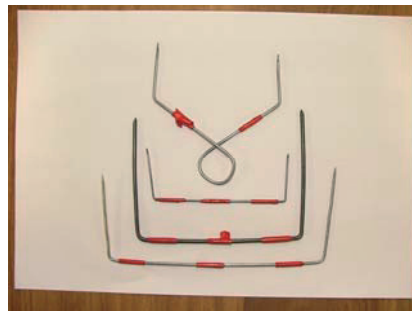
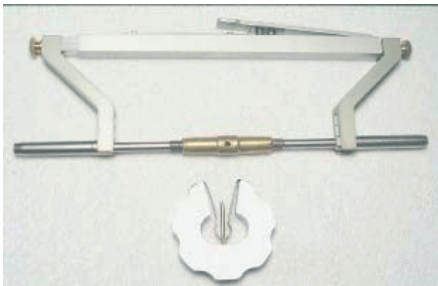
Les différents essais réalisés sur les câbles équipés de différents tendeurs ont permis de montrer :

- ❑ l'effort de rupture du câble sous un effort statique est diminué d'environ 25 % en moyenne quand le tendeur en laiton (tendeur équipant le F-BXHD) est muni d'une gorge et que l'assemblage est freiné avec du fil-frein par rapport au même assemblage sans aucun freinage (essais 1 à 7) ;
- ❑ les essais dynamiques ont permis de reproduire une désolidarisation lorsqu'un tendeur muni de gorges est uniquement freiné par du fil-frein (essais 9) ;
- ❑ après la rupture du fil-frein durant les essais dynamiques (cas de l'essai 9), 6 cycles supplémentaires suffisent à entraîner la désolidarisation complète ;
- ❑ le matériau constituant le tendeur influence le phénomène de vissage/dévissage. Dans les conditions des essais, les tendeurs en inox sans freinage n'ont pas montré de tendance au dévissage malgré des efforts appliqués supérieurs à 2 000 N.

annexe 4

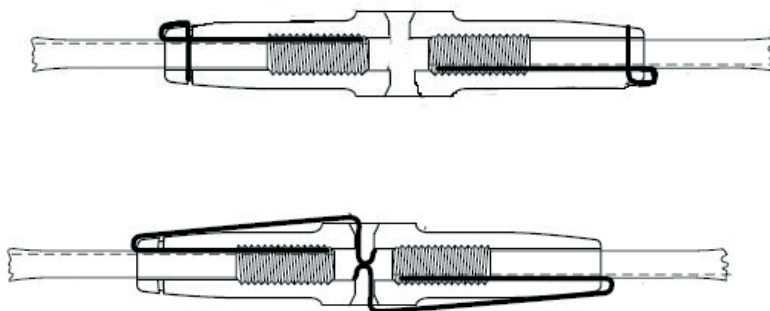
Rappel des pratiques, techniques et méthodes d'inspection et de réparation d'aéronef

Lors d'une opération sur la commande (ouverture pour dépose, ajustage de la tension des câbles...) l'opérateur bloque les câbles avant et arrière en rotation au moyen d'un outillage simple. Il peut ainsi tourner le tendeur en son centre et engager ou désengager simultanément les filets des embouts des câbles afin de les tendre ou détendre.



Lorsque le réglage est effectué, les embouts mâles filetés doivent être rentrés symétriquement de chaque côté du tendeur. L'opérateur est alors en mesure de bloquer l'assemblage au moyen d'un mécanisme de freinage. Pour cela, il dispose de goupilles ou épingles ou épingles de sécurité ainsi que de fil-frein. Le document AC 43.13-1B (chapitre 7 section 10) définit les usages concernant ces assemblages.

Il existe deux types d'épingles de freinage :

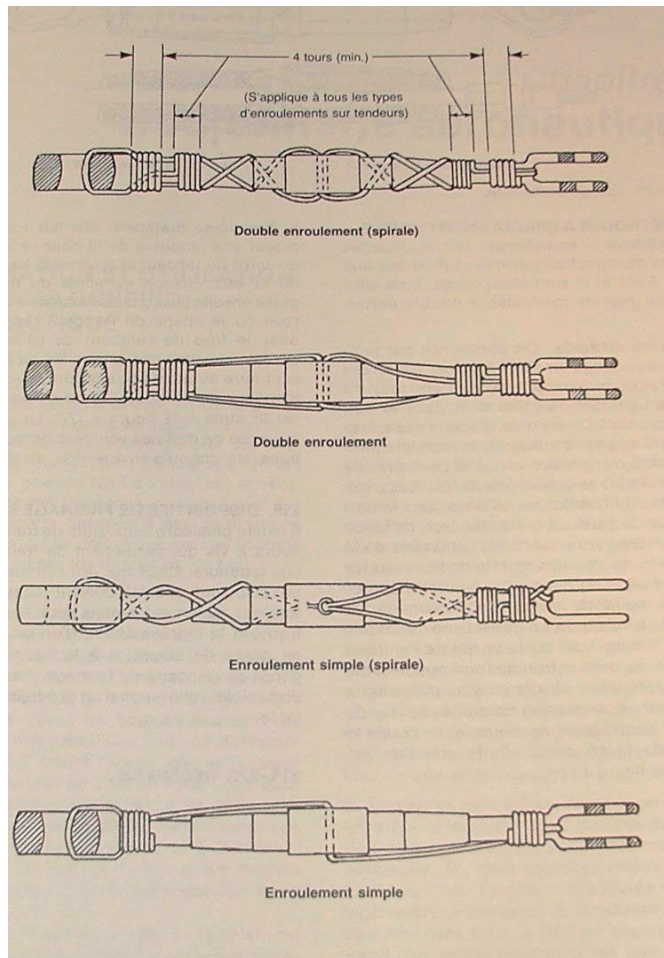


Dans le paragraphe relatif aux systèmes spéciaux de freinage (Section 10 paragraphe 7-183), il est mentionné l'existence de tendeurs conçus pour accueillir des épingles de sécurité. Dans ce paragraphe, il est précisé que si les épingles de sécurité sont indisponibles, l'utilisation de fil-frein est acceptable :

7-183. SPECIAL LOCKING DEVICES.

Several turnbuckle locking devices are available for securing turnbuckle barrels such as wire-locking clips. Persons intending to use a special device must ensure the turnbuckle assembly has been designed to accommodate such devices. A typical unit is shown in figure 7-26. When special locking devices are not readily available, the use of safety wire is acceptable.

Enfin, le fil frein est un fil d'acier de 0,6 ou 0,8 mm de diamètre. Il est torsadé autour des pièces de façon à empêcher ou limiter tout mouvement.



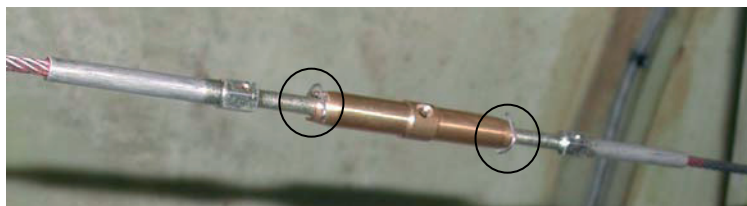
Lorsque le câble est fixé aux deux extrémités et que le système de freinage du tendeur est correctement réalisé, il ne peut tourner que des angles de liberté autorisés par les deux extrémités. Ces angles sont faibles, inférieurs à des valeurs angulaires de l'ordre de ± 15 degrés. Toute torsion sur une extrémité entraîne obligatoirement la rotation de l'autre.

annexe 5

Différents types de montage de commandes de profondeur

1. Montages sur CAP 10

Certains avions CAP 10 sont équipés d'assemblages sécurisés par du fil-frein sans épingles de sécurité. D'autres possèdent des montages différents sur le câble à cabrer et à piquer.

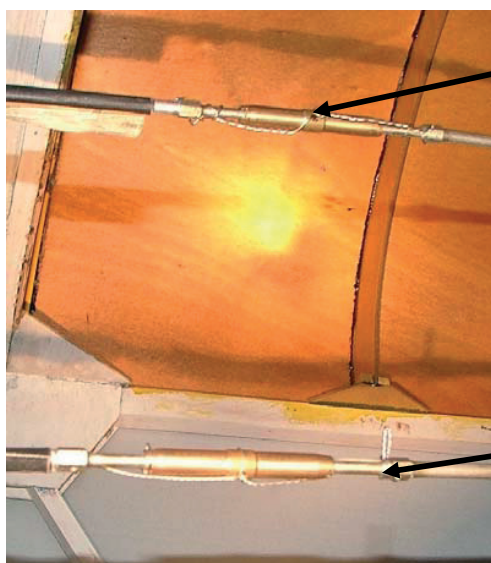


Assemblage du câble à cabrer : freinage réalisé par la présence de deux épingles



Assemblage du câble à piquer : embouts filetés différents, tendeur sans gorge et freinage réalisé par du fil-frein

Un autre CAP 10 C possède uniquement du fil-frein sur la commande à cabrer. La commande à piquer possède une seule épingle d'un côté et du fil-frein.

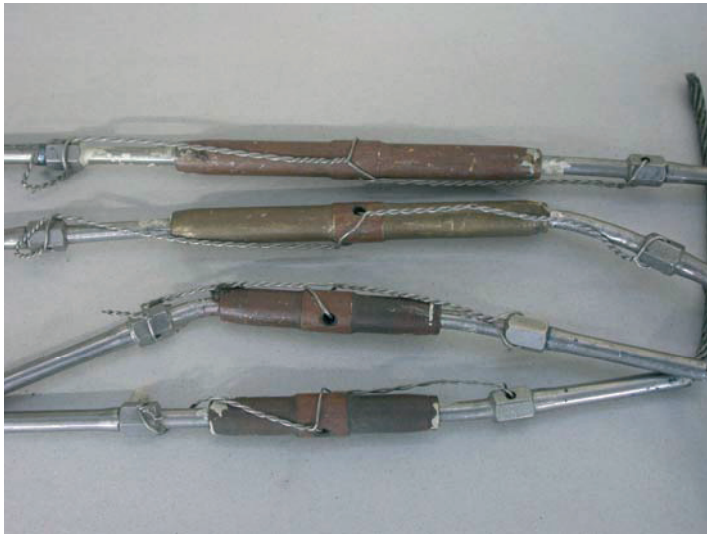


Assemblage du câble à cabrer : fil-frein mais pas d'épingle

Assemblage du câble à piquer : fil-frein et épingle mais seulement d'un côté

2. Observations d'autres commandes de profondeurs sur avion monomoteur

Lors de l'examen d'une épave de Cessna 177 Cardinal, il a été observé le montage suivant sur les commandes de direction et de profondeur.



Les tendeurs sont dépourvus de gorges. Le freinage des assemblages ne montre aucun endommagement malgré les déformations observées sur les sorties des câbles des sertissages des embouts filetés. Le freinage ne correspond pas aux « règles de l'art » comme définies dans l'AC 43.13.

BEA

Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

Zone Sud - Bâtiment 153
200 rue de Paris
Aéroport du Bourget
93352 Le Bourget Cedex - France
T : +33 1 49 92 72 00 - F : +33 1 49 92 72 03
www.bea.aero

N° ISBN : 978-2-11-098701-3

