

*Accident
survenu le 1^{er} novembre 1997
à Laon (02)
au Pilatus PC6/B2-H2
immatriculé F-GHXS*

RAPPORT
f-xs971101

A V E R T I S S E M E N T

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 à la Loi n° 99-243 du 29 mars 1999, l'analyse 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 ou incidents.

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

Table des matières

AVERTISSEMENT	2
GLOSSAIRE	5
SYNOPSIS	6
1- RENSEIGNEMENTS DE BASE	7
1.1 Déroulement du vol	7
1.2 Tués et blessés	7
1.3 Dommages à l'aéronef	7
1.4 Autres dommages	7
1.5 Renseignements sur le pilote	7
1.6 Renseignements sur l'aéronef	8
1.7 Conditions météorologiques	9
1.8 Aides à la navigation	9
1.9 Télécommunications	9
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	9
1.11 Enregistreurs de bord	10
1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact	10
1.12.1 Site de l'accident	10
1.12.2 Répartition de l'épave	10
1.12.3 Aile gauche	11
1.12.4 Aile droite	11
1.12.5 Hélice et groupe motopropulseur	11
1.12.6 Fuselage	11
1.12.7 Commande de stabilisateur de profondeur	11
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	12
1.14 Incendie	12
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	12

1.16 Essais et recherches	12
1.16.1 Expertise du vérin du stabilisateur de profondeur	12
1.16.2 Expertise des déclencheurs automatiques CYPRES	13
1.16.3 Exploitation des enregistrements vidéo	13
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	14
1.17.1 Centre Ecole Régional Parachutiste de Picardie	14
1.17.2 Organisme d'entretien	15
1.18 Renseignements supplémentaires	15
1.18.1 Observations	15
1.18.2 Volets hypersustentateurs du PC6 B2-H2	15
1.18.3 Les commandes de profondeur du PC6 B2-H2	16
1.18.4 Procédures et programme de qualification	19
2 - ANALYSE	20
2.1 La trajectoire de l'avion	20
2.2 Les actions sur la manivelle du stabilisateur	20
2.3 Scénario de l'accident	20
2.4 Formation et expérience du pilote	22
3 - CONCLUSIONS	23
3.1 Faits établis par l'enquête	23
3.2 Causes	23
4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE	24
LISTE DES ANNEXES	25

Glossaire

CDN	Certificat de Navigabilité
CEAT	Centre d'Essais Aéronautiques de Toulouse
daN	Décanewton
kt	Nœuds
PNT	Personnel navigant technique
QFU	Orientation magnétique de la piste
UTC	Temps universel coordonné

SYNOPSIS

Date de l'accident

Le samedi 1^{er} novembre 1997 à
11 h 40¹

Lieu de l'accident

Chambry (02)

Nature du vol

Travail aérien
Largage de parachutistes

Aéronef

Pilatus PC6 B2-H2
immatriculé F-GHXS

Propriétaire

Centre Ecole Régional
Parachutiste de Picardie

Exploitant

Centre Ecole Régional
Parachutiste de Picardie

Personnes à bord

PNT : 1
Passagers : 8

Résumé

L'avion décolle de l'aérodrome de Laon-Chambry pour effectuer un largage de huit parachutistes à 3 000 mètres. Peu après le décollage, des témoins le voient voler en palier à environ 1 000 pieds, à l'est du terrain. Puis il semble virer à droite en présentant une assiette de plus en plus à piquer et percute le sol pratiquement à la verticale à 1,5 km du terrain.

Conséquence

	Personnes			Matériel	Tiers
	Tué(s)	Blessé(s)	Indemne(s)		
Equipage	1	-	-	Détruit	-
Passagers	8	-	-		

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

1- RENSEIGNEMENTS DE BASE

1.1 Déroulement du vol

A la suite d'une visite cent heures, un vol de contrôle d'une durée de quinze minutes est effectué le 1^{er} novembre 1997, sur l'aérodrome de Laon, par le pilote accompagné du mécanicien. Le pilote effectue ensuite quatre vols de largage de parachutistes. A l'issue de ces vols, 150 litres de carburant sont ajoutés dans les réservoirs.

Un nouveau décollage a lieu à 11 h 40, en piste 35, avec huit parachutistes. Trois minutes plus tard, des personnels du club de parachutisme chargés de la surveillance des sauts entendent un message radio confus qu'ils attribuent au pilote du Pilatus. Ils constatent alors que l'avion, à l'est des installations, évolue lentement, en palier et semble virer à droite. Ils le voient ensuite prendre une assiette de plus en plus à piquer jusqu'à la verticale.

A quelques dizaines de mètres au-dessus du sol, l'avion perd une aile et s'écrase dans une zone marécageuse.

1.2 Tués et blessés

Tous les occupants de l'avion ont été tués.

1.3 Dommages à l'aéronef

L'appareil est détruit.

1.4 Autres dommages

Il n'y a eu aucun autre dommage.

1.5 Renseignements sur le pilote

- Le pilote, âgé de 61 ans, possédait une licence de pilote privé de 1978 valable jusqu'au 30 avril 1998. Il totalisait 1 192 heures de vol, dont 24 sur le type.
- Il était qualifié sur Cessna 205, Cessna 206 et Dornier 27.
- Il était titulaire d'une déclaration de niveau de compétence pour le largage de parachutistes en date du 25 juin 1995.
- Le 15 mai 1997, après une formation en vol d'une durée de sept heures, il avait acquis sa qualification de type PC6 B2-H4. Il avait ensuite effectué 4 h 20 min

de vol sur PC6 B2-H4.

- Du 15 au 24 août 1997, il avait réalisé vingt-quatre heures de vol en largages de parachutistes avec le PC6 B2-H2 F-GHXS. Il n'avait pas volé par la suite sur PC6, jusqu'au jour de l'accident.

Remarque : le Pilatus F-GHXS est un PC6 B2-H2, de moins de 2,7 tonnes de masse maximale au décollage. Il ne nécessite pas de qualification de type, mais la qualification de classe C (turbine), selon la réglementation en vigueur au jour de l'accident. Le PC6 B2-H4, sur lequel le pilote avait acquis sa qualification de classe C, dispose d'un système électrique de commande de volets et de stabilisateur, à la différence du PC6 B2-H2 qui dispose lui d'une commande manuelle.

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Cellule

- Constructeur : Pilatus Aircraft Ltd.
- Type : PC6 B2-H2.
- N° de série : 620.
- Certificat de navigabilité du 25 mars 1992, valide jusqu'au 12 février 1998.
- Année de mise en service : 1966.
- Heures de vol totales : 20 315.
- Heures de vol depuis la dernière grande visite : 2 619.

Moteur

- Constructeur : Pratt et Whitney Canada.
- Type : PT6A-27.
- Puissance : 725 ch.
- Numéro de série : PCE 50753.
- Heures de vol totales : 3 758.

Hélice

- Constructeur : Hartzell.
- Type : HC B3TN-3D.
- Numéro de série : BU15000.

Masse et centrage

D'après les données de masse des passagers et une estimation de la quantité de carburant on a pu déduire que la masse au décollage de l'avion était légèrement inférieure à la masse maximale au décollage avec un centre de gravité dans la plage de centrage, près de la limite arrière.

Performances

La vitesse de montée de l'avion indiquée par le constructeur est de 74 kt.

1.7 Conditions météorologiques

Le 1^{er} novembre 1997, à 12 h 00, la situation générale se caractérise par un courant anticyclonique d'est, centré sur la moitié nord de la France. Une forte humidité réside dans les basses couches avec de nombreux brouillards et stratus bas. L'isotherme 0 °C se situe à 2 500 mètres. La turbulence est faible. Les brouillards et stratus se sont dissipés dans la région de Laon dans la matinée.

L'observation réalisée à Saint-Quentin (dans le 310° de Laon pour 20 NM) fait état de la situation suivante :

- Vent : 030° pour 10 kt.
- Visibilité : 7 000 mètres.
- Nuages : ciel clair.
- Températures : + 6 °C, point de rosée + 1 °C
- QNH : 1025 hPa.

Les conditions météorologiques constatées sur l'aérodrome de Laon au moment de l'accident correspondent à l'observation ci-dessus.

1.8 Aides à la navigation

Les vols de largage sont de manière générale réalisés selon les règles de vol à vue. L'aérodrome de Laon n'est équipé d'aucune aide radio-électrique ou lumineuse.

1.9 Télécommunications

L'aérodrome de Laon est muni d'une fréquence auto-information qui n'est pas enregistrée. Les personnels de surveillance des sauts étaient à l'écoute de cette fréquence. Ils ont été alerté par un message en provenance du Pilatus.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

L'aérodrome de Laon est situé sur la plaine de Picardie. Il dispose de deux pistes en herbe, à une altitude de 256 pieds.

Une piste 17/35, d'une longueur de 985 mètres croise une piste 06/24 d'une longueur de 870 mètres. La piste 35 est le QFU préférentiel. Les circuits s'effectuent "main gauche" pour toutes les pistes (cf. annexe 3).

1.11 Enregistreurs de bord

La réglementation n'impose pas l'emport d'enregistreur de bord pour les avions du type Pilatus PC6. Le F-GHXS n'en était pas équipé.

Cependant, deux des occupants de l'appareil avaient des casques équipés d'une caméra vidéo 8 mm pour effectuer des prises de vue des baptêmes qui allaient être réalisés. Les caméras et les bandes ont été récupérées.

Des images du vol de l'accident ont ainsi été restituées. Une première caméra se trouvait à l'avant, à côté du pilote. Elle a enregistré cinquante secondes du vol à partir du décollage, puis a été arrêtée. On nommera cette caméra la caméra avant.

L'autre caméra se trouvait à l'arrière de l'appareil. L'enregistrement débute peu après le décollage et se poursuit jusqu'à l'impact. Il dure une minute cinquante et une secondes. La prise de vue est orientée vers l'avant de l'appareil. On voit donc le pilote de dos, le parachutiste à droite du pilote ainsi que les autres parachutistes dans le champ de la caméra. A certains moments, la caméra filme le plafond et vers la fin, du fait de l'endommagement de la bande, des informations sont perdues. Cette caméra sera appelée la caméra arrière.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 Site de l'accident

L'avion s'est écrasé à l'est de l'aérodrome, à une distance d'environ 1 500 m de celui-ci. L'épave a été retrouvée dans un petit étang au sein d'une zone marécageuse, à la lisière d'un bosquet d'arbres. Les arbres environnants, distants d'une dizaine de mètres du point d'impact, ont une hauteur de 5 à 15 mètres. L'avion a piqué dans l'étang sans les heurter. Seule l'aile gauche, qui s'est détachée avant l'impact, a été retenue par un arbre dont elle a cassé des branches.

1.12.2 Répartition de l'épave

L'ensemble du fuselage accompagné de l'aile droite gît sur le dos, partiellement immergé dans l'étang.

A vingt mètres au nord, l'extrémité de l'aile gauche, isolée, est appuyée contre un arbre. Les deux demi-volets de cette aile se trouvent à soixante mètres au sud, au-delà du bosquet d'arbres.

1.12.3 Aile gauche

L'aile est cassée au quatre cinquième de sa longueur, entre deux nervures, au droit de la commande des volets. Le revêtement est en bon état. Le vérin à vis de commande de volets est en butée plein rentré. Les deux demi volets sont arrachés avec un mouvement de torsion vers le fuselage. L'aileron et son guignol de commande sont intacts et libres. Une partie de l'aile, comprenant le réservoir, est restée accrochée au fuselage. Le hauban est rompu en son milieu par flambage.

1.12.4 Aile droite

L'aile droite est cassée en deux au même endroit que l'aile gauche. Elle est entièrement comprimée du fait de l'impact avec le sol. Le revêtement est froissé et décollé des nervures. Le vérin des volets est en butée plein rentré.

1.12.5 Hélice et groupe motopropulseur

Les trois pales sont tordues vers l'arrière près de l'emplanture et l'une d'elle a une extrémité spiralée. Le carter du moyeu hélice présente des stries en spirale. D'après la position du boulon de réglage des butées, l'hélice semble calée entre plein petit pas et drapeau.

Le moteur est complètement déformé par compression.

Tous les accessoires ont été arrachés. Il n'est pas possible de déterminer la position des commandes moteur.

1.12.6 Fuselage

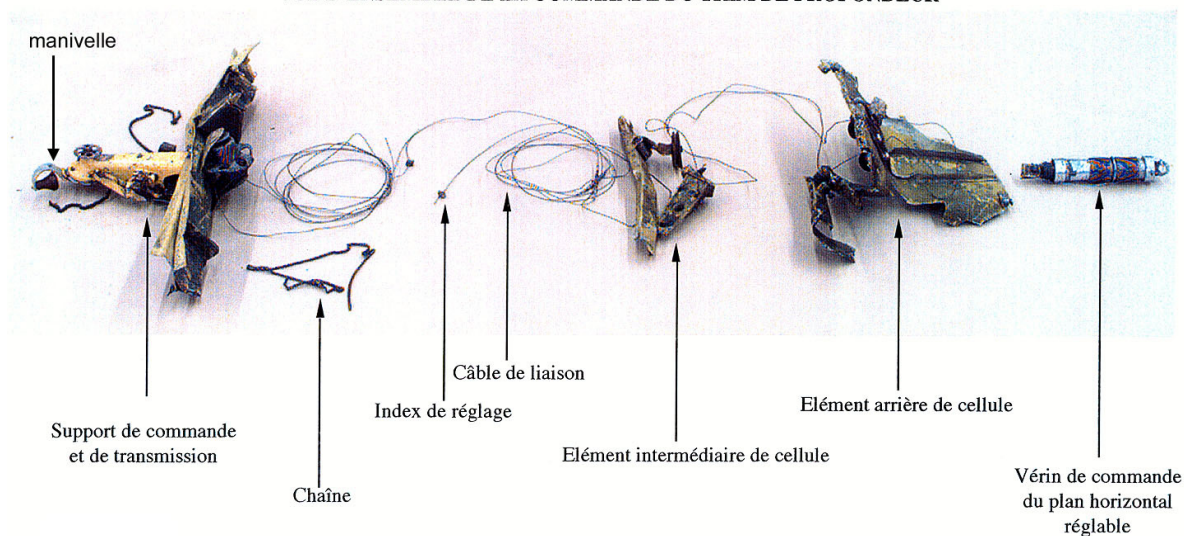
La moitié avant du fuselage est entièrement détruite. Les câbles des commandes de vol sont encore accrochés par leurs extrémités. Les instruments sont détruits et ne présentent pas d'indication exploitable.

1.12.7 Commande de stabilisateur de profondeur

Les câbles de commande du stabilisateur de profondeur ne sont pas rompus. On constate que :

- le curseur de position du stabilisateur indique plein piquer. La chaîne d'entraînement du curseur est cassée ;
- le câble est entièrement enroulé sur le tambour de commande du bas ;
- le vérin qui agit sur la surface de stabilisateur est bloqué et complètement rentré, ce qui correspond à une position plein piquer.

VUE D'ENSEMBLE DE LA COMMANDE DU TRIM DE PROFONDEUR



1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Au moment de l'impression de ce rapport ces renseignements n'étaient pas disponibles.

1.14 Incendie

Il n'y a pas eu d'incendie.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

Compte tenu du choc, aucun des occupants de l'appareil ne pouvait survivre à l'accident.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Expertise du vérin du stabilisateur de profondeur

Le vérin du stabilisateur de profondeur (cf. annexe 1) a été retrouvé bloqué en butée plein piquer sur l'épave. L'expertise de la chaîne du stabilisateur de profondeur a été réalisée au CEAT à Toulouse.

L'expertise a débuté par l'ouverture du vérin. Cette opération n'a pas révélé de rupture des pièces constitutives du vérin. On a cependant constaté qu'un des tubes de guidage du vérin était légèrement flambé, occasionnant un point dur quand on manœuvre le corps du vérin. Ce point dur est situé à 1,25 tours de vis de la butée plein piquer, ce qui correspond à une position de l'index vers la graduation 4 DOWN.

A partir de ces constatations, un programme de test a été établi afin de construire un tableau représentant les efforts à exercer pour manœuvrer le vérin en fonction de la charge appliquée sur le plan horizontal réglable (cf. annexe 2). Les valeurs de charges qui ont été appliquées sont celles qui ont été prises en compte lors de la certification de l'avion.

Il résulte des essais que, lorsque le vérin travaille en compression, le pilote doit exercer un effort variant de 0 à 7 daN pour des forces appliquées sur le vérin variant de 0 à 600 daN. Le passage du point dur nécessite parfois un surplus d'effort à la manivelle entre 1 et 2 daN. Il n'implique en aucun cas le déploiement d'une force exagérée.

Même lorsque les efforts exercés sur le vérin sont importants, tout en restant dans l'intervalle de valeurs utilisées pour la certification, le supplément d'énergie dépensé pour passer le point dur n'est pas sensible. Cette anomalie n'est donc pas à prendre en compte dans l'explication de l'événement.

1.16.2 Expertise des déclencheurs automatiques CYPRES

Un dispositif CYPRES a pour fonction de commander l'ouverture automatique du parachute en descente à partir d'une altitude déterminée. Certains parachutes en étaient équipés.

Trois déclencheurs automatiques, retrouvés, ont été analysés pour déterminer les valeurs d'altitude et les temps de vol enregistrés par ces appareils.

Les trois capsules indiquent que la dernière altitude enregistrée est 277 m et que la durée du vol est comprise entre une minute et demie et trois minutes (cf. annexe 4).

1.16.3 Exploitation des enregistrements vidéo

Les images de la caméra avant montrent le pilote de profil au moment du décollage. On le voit actionner la manivelle des volets dans le sens de la rentrée. Puis le parachutiste oriente la caméra vers l'arrière de l'appareil qu'il filme pendant vingt-cinq secondes avant d'arrêter l'enregistrement.

L'enregistrement de la caméra arrière coïncide pour quelques secondes avec celui de la caméra avant, puisque l'on voit dans les premières images le parachutiste à droite du pilote qui filme ce dernier, ce qui correspond à la prise de vue de la caméra avant.

La chronologie décrivant l'enregistrement de la caméra arrière se trouve en annexe 6.

On voit le pilote agir sur la manivelle de stabilisateur. Son action sur celle-ci débute après la rentrée des volets. Jusqu'à ce moment, le pilote paraît détendu et ne semble pas rencontrer de problème dans la conduite de l'avion.

On ne peut déterminer de façon exacte quelle est la première action du pilote sur la manivelle de stabilisateur car entre le moment où on le voit poser sa main sur celle-ci et celui où on le voit l'actionner, le parachutiste filme pendant deux secondes avec un cadrage qui ne fait pas apparaître le pilote.

Le premier mouvement de la manivelle du stabilisateur que l'on observe est effectué dans le sens à dévisser, soit une compensation à piquer, pour trois quarts de tour. Après quoi, le pilote semble forcer et repart dans le sens à visser sur un peu plus d'un demi-tour, puis effectue des aller-retour avec la manivelle du stabilisateur. Après une vingtaine de secondes, on le voit manœuvrer à nouveau la manivelle des volets. A peu près au même moment on observe un virage à gauche.

Par la suite, on voit par intermittence le pilote manœuvrer la manivelle du stabilisateur dans les deux sens pendant quarante secondes. A partir de ce moment, le parachutiste assis à côté de lui porte la main sur la manivelle. On le voit tout d'abord la tourner en dévissant sur trois quarts de tour, soit un mouvement du stabilisateur à piquer.

L'image est perdue pendant trois secondes. Lorsqu'on le voit à nouveau, le parachutiste pose sa caméra et se lève pour actionner la poignée de stabilisateur avec les deux mains. Sur les dernières images exploitables de l'enregistrement, soit une dizaine de secondes avant l'arrêt de la caméra, on voit le parachutiste penché sur la manivelle du stabilisateur, semble-t-il en train d'observer le mécanisme.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Centre Ecole Régional Parachutiste de Picardie

1.17.1.1 Cadre réglementaire

Le largage de parachutistes est une activité particulière au sens de l'Arrêté du 24 juillet 1991 relatif aux conditions d'utilisation des aéronefs civils en aviation générale. Dans ce cadre, le Centre dispose d'un manuel d'activités particulières, déposé auprès du district aéronautique. Ce document décrit les règles et procédures utilisées par le centre, notamment pour la formation, le contrôle et le maintien des compétences des pilotes. Il ne comporte pas de mention particulière relative au pilotage du PC6 B2-H2 et renvoie au manuel de vol pour l'utilisation de cet avion.

1.17.1.2 Organisation du Centre

Le Centre fonctionne dans un cadre associatif. L'encadrement se compose d'un directeur technique dont le rôle est de superviser les sauts et d'un chef pilote qui assure les fonctions d'encadrement des pilotes largueurs.

1.17.2 Organisme d'entretien

Le F-GHXS était entretenu, sur l'aérodrome de Laon, par la société DB Aéroservice selon le programme du constructeur. DB Aéroservice est une Unité d'Entretien Agréée. Dans ces conditions, le CDN était renouvelé tous les ans.

1.18 Renseignements supplémentaires

1.18.1 Observations

Le directeur technique du Centre est rentré après le décollage de l'avion dans le local situé à proximité du point d'observation des opérations de largage. Quelques minutes après, il a entendu un message à la radio qui est située à l'extérieur à côté des lunettes binoculaires servant à suivre l'évolution des parachutistes après leur largage. Il a cru reconnaître la voix du pilote du Pilatus et a levé les yeux pour repérer l'avion dans le ciel. C'est alors qu'il l'a vu au nord des installations, évoluant lentement en palier, à faible hauteur et virant à droite en direction du terrain. Ensuite, il l'a vu prendre une assiette à piquer, de plus en plus prononcée. Lorsque l'avion a atteint pratiquement la verticale, il a vu un morceau, puis l'aile s'en détacher.

Un autre membre du Centre a fait sensiblement les mêmes observations.

1.18.2 Volets hypersustentateurs du PC6 B2-H2

1.18.2.1 Description

L'avion, à aile haute, dispose de volets de courbure de type à fente. Ces volets, situés près de l'emplanture de l'aile, sont commandés par une manivelle située au plafond du cockpit, à droite du pilote.

La position des volets est indiquée sur une tige témoin qui sort du bord d'attaque de l'aile gauche.

La rentrée des volets s'effectue par une action "à dévisser" (rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) sur la manivelle de commande. Cela correspond à un mouvement de la manivelle vers l'avant quand celle-ci passe du côté du pilote.

1.18.2.2 Utilisation

Le manuel de vol, dans sa partie PROCEDURES, précise que les volets doivent être braqués dans la position 28° avant le décollage (cf. annexe 5).

Après l'envol, ils doivent être rentrés vers la position 0°. Ceci nécessite d'effectuer

huit tours de manivelle en "dévissant".

1.18.2.3 Particularités

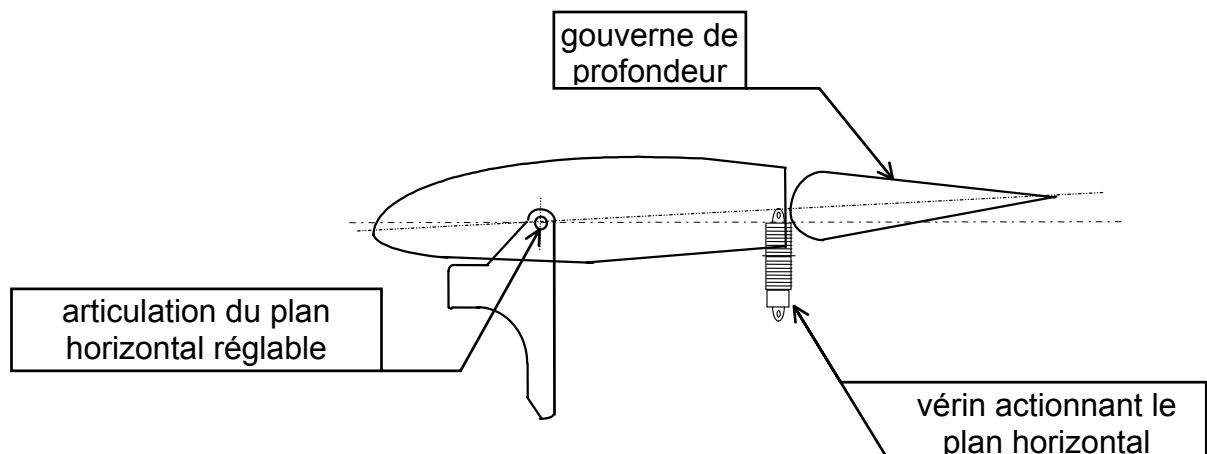
De par la conception de l'avion, aile haute et plan horizontal bas, la rentrée des volets en vol induit un couple piqueur que le pilote doit contrer au moyen de la commande de profondeur, puis du stabilisateur.

1.18.3 Les commandes de profondeur du PC6 B2-H2

1.18.3.1 Description

La gouverne de profondeur est liée au manche par un système de câbles, leviers, tringles et poulies. La compensation est effectuée à l'aide d'un plan horizontal réglable, appelé aussi stabilisateur, sur lequel s'articule la gouverne de profondeur.

Le stabilisateur est commandé par une manivelle concentrique avec celle des volets et de plus petite taille. Cette manivelle entraîne une chaîne qui fait tourner le tambour de commande sur lequel s'enroule un câble. Ce câble chemine jusqu'à l'arrière de l'avion et actionne le tambour d'un vérin à vis sur lequel est fixé le stabilisateur. Le calage du stabilisateur est déterminé par l'allongement du vérin à vis. Lorsque le vérin est complètement vissé, le stabilisateur induit un couple à piquer maximal pour l'avion.



La position du stabilisateur est indiquée par un index sur une réglette située à droite au-dessus de la tête du pilote. Cette réglette est graduée de 7 UP (cabrer) à 5 DOWN (piquer). Le débattement du stabilisateur va de 2° vers le haut à 10° vers le bas. Le tableau suivant donne les positions relatives de l'index et du stabilisateur, conformément au Manuel de Vol.

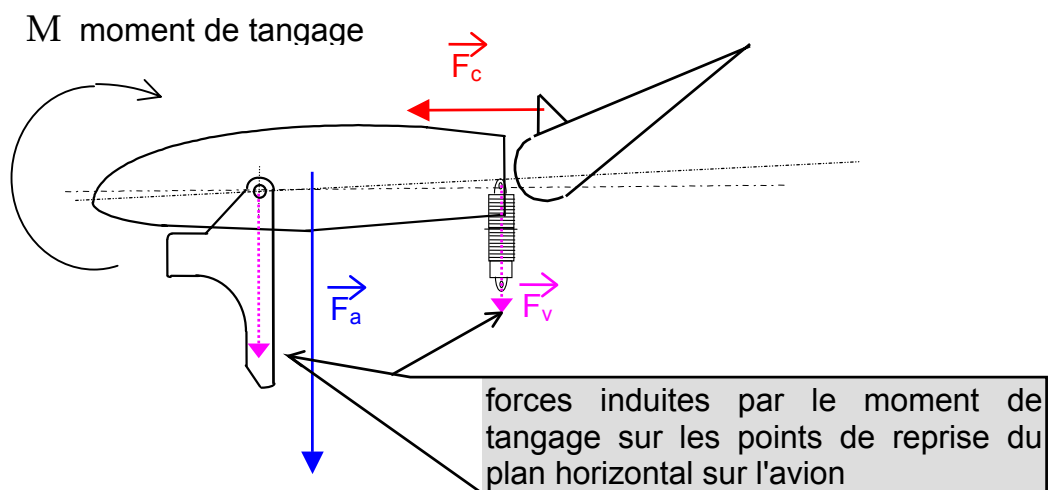
Position du stabilisateur	Position de l'index
-10°	7 UP
0°	3 UP
+2°	5 DOWN

1.18.3.2 Fonctionnement

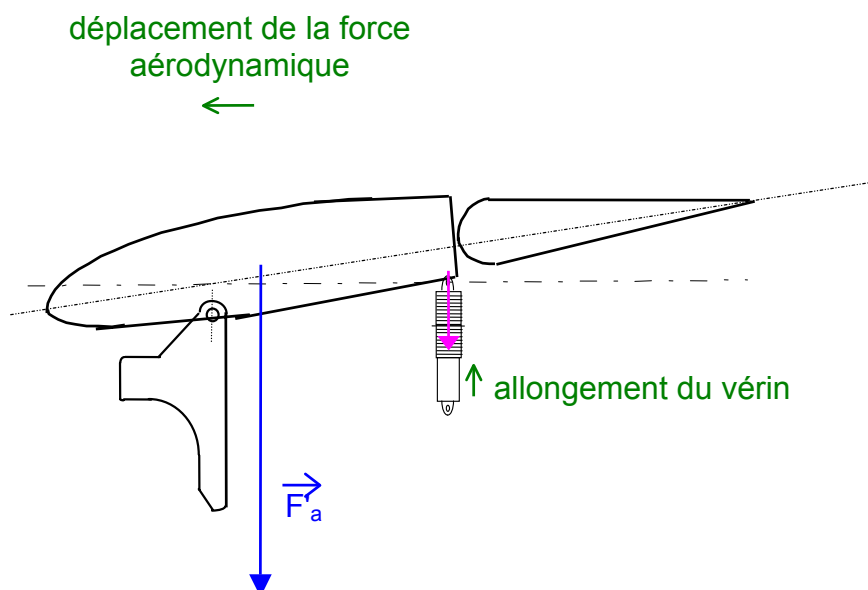
L'écoulement de l'air sur l'empennage horizontal crée une force aérodynamique orientée vers le bas destinée à assurer la stabilité en tangage de l'avion. La composante verticale de cette force est appelée portance. Par une action sur la gouverne de profondeur ou sur le stabilisateur, le pilote peut modifier l'intensité de la portance.

Le système de compensation est destiné à réduire les efforts sur la commande de profondeur par une modification du calage de l'empennage horizontal.

Pour faire cabrer l'avion, le pilote peut appliquer un effort \vec{F}_c sur la gouverne, au travers de la commande de profondeur. Il augmente ainsi l'intensité de la portance \vec{F}_a sur l'empennage horizontal. Cela a également pour effet de faire croître le moment de tangage tendant à faire pivoter l'empennage dans le sens horaire. Il en résulte une intensification de la force verticale \vec{F}_v agissant sur le vérin (vérin en compression).



Le pilote peut également agir sur la manivelle du stabilisateur pour allonger le vérin. Le calage du stabilisateur ainsi modifié assure une portance \vec{F}_a équivalente à celle obtenue par le braquage de la gouverne de profondeur mais annulant le moment de charnière de cette gouverne. Cette opération se fait en général dans un deuxième temps, après l'action sur la gouverne, pour installer l'avion dans une nouvelle position d'équilibre et permettre de relâcher l'effort sur la commande de profondeur. Le moment de tangage aura diminué au cours de cette opération, entraînant la réduction de la force verticale \vec{F}_v agissant sur le vérin.



La force aérodynamique qui s'exerce sur le plan horizontal dépend également de l'importance du souffle de l'hélice. Plus la puissance délivrée par le groupe motopropulseur est importante, plus grande est la force aérodynamique.

D'autre part, la compensation se fait en général aux alentours d'une position d'équilibre. Par conséquent, les efforts à exercer sur la manivelle sont a priori de faible intensité. Il n'en est pas de même si la gouverne de profondeur et le stabilisateur sont dans des positions antagonistes (par exemple avec un stabilisateur à piquer et une commande de profondeur à cabrer).

1.18.3.3 Utilisation

Le stabilisateur doit être réglé avant le décollage sur une position neutre ou légèrement à piquer en fonction du centrage de l'appareil. Lorsque l'avion emporte plusieurs parachutistes, le centrage est arrière et il faut par conséquent régler le stabilisateur légèrement à piquer.

Après le décollage, il faut régler le stabilisateur à cabrer pour annuler le couple piqueur dû à la rentrée des volets. Ce réglage à cabrer s'effectue en "vissant" (cf. annexe 1). Cela correspond à un mouvement de la manivelle en arrière quand celle-ci passe du côté du pilote.

1.18.3.4 Particularités

On a vu qu'après une action à cabrer sur le manche, l'augmentation du moment de tangage faisait croître la force F_v s'exerçant sur le vérin. Les efforts sur la manivelle du stabilisateur sont importants en début de compensation à cause de

cette force \vec{F}_v qui s'oppose au déplacement du vérin. Au fur et à mesure que la compensation intervient, le braquage de la gouverne diminue, entraînant une réduction du moment de tangage et donc de la force \vec{F}_v .

Lors de la compensation à cabrer, l'allongement du vérin est de sens opposé à la force qui s'exerce sur lui.

On peut par erreur positionner le stabilisateur vers le piquer alors qu'on veut compenser un effort à cabrer. Si l'on maintient la gouverne de profondeur dans une position à cabrer la force s'exerçant sur le vérin à vis augmente. La commande manuelle du stabilisateur peut alors devenir impossible à manœuvrer dans le sens "à cabrer", à cause de la force qui s'exerce sur le vérin. Le système paraît alors bloqué au pilote. Ce phénomène sera appelé dans la suite du rapport, "blocage aérodynamique". En revanche, dans ce même cas, un mouvement du stabilisateur "à piquer" reste possible, car il est facilité par la force qui s'exerce sur le vérin. Il faut également noter que si l'on relâche la pression sur le manche ou si l'on diminue le souffle sur l'empennage, on a des chances de pouvoir manœuvrer à nouveau la commande du stabilisateur.

1.18.3.5 Evaluation des efforts sur les commandes de vol

Il n'y a pas de données concernant précisément la configuration et les conditions du vol de l'accident. Les données d'essais en vol se rapprochant le plus de cette configuration sont fournies par le constructeur et donnent les valeurs suivantes, pour des essais en vol effectués sur un PC6 B2-H4 (dont la masse maximale au décollage est plus importante) :

avec le stabilisateur réglé sur une position 5 DOWN, une masse au décollage de 1 700-2 000 kg, les volets en position décollage, la puissance de montée et une vitesse de 77 kt, il faut exercer une force de 30 daN à tirer sur le manche pour maintenir l'attitude de montée et la vitesse.

Il faut noter que la valeur de 30 daN est la limite acceptée par les règlements de certification pour des efforts temporaires.

1.18.4 Procédures et programme de qualification

Des procédures de récupération de situation hors-trim sont décrites dans le manuel de vol du PC6 B2-H4 et leur étude est prévue dans la qualification de type de cet avion. Ces procédures s'appliquent en cas de blocage du vérin du stabilisateur de profondeur dans une position extrême.

Il n'y a pas d'équivalent dans la documentation ou la formation relative au PC6 B2-H2. Le stabilisateur n'est pas mû électriquement et, par conséquent, l'hypothèse d'un déroulement de trim ou de blocage du vérin à la suite d'une panne du moteur électrique n'est pas prise en compte.

2 - ANALYSE

2.1 La trajectoire de l'avion

Il ressort des paragraphes précédents que la durée du vol est d'un peu moins de deux minutes à la vitesse de montée présumée de l'ordre de 74 kt. Trente-deux secondes après le décollage, l'avion entreprend un virage à gauche. Il a alors parcouru environ un kilomètre dans l'axe de la piste. Le virage le ramène vers le terrain. Ce changement de cap, d'environ 270° et réalisé à approximativement 30° d'inclinaison, dure une trentaine de secondes. Ensuite, en un peu moins d'une minute de vol rectiligne en quasi palier, l'avion parcourt environ 1 500 m puis se met brusquement en fort piqué.

2.2 Les actions sur la manivelle du stabilisateur

L'enregistrement vidéo montre des difficultés dans le maniement du stabilisateur qui apparaît comme bloqué vers la fin.

On a vu au paragraphe 1.18 que les efforts sur la manivelle du stabilisateur sont décroissants au fur et à mesure de la compensation. Une erreur dans le sens de rotation de la manivelle sera d'autant plus facile à commettre qu'elle demandera moins d'effort que l'action à compenser. De plus, au fur et à mesure de l'action dans le mauvais sens, le retour en arrière sera plus difficile et, à la limite (du fait du phénomène de blocage aérodynamique), impossible.

Pour les volets comme pour le stabilisateur, le sens de l'action sur la commande n'est pas en rapport avec le mouvement du dispositif ni avec l'effet escompté sur l'attitude de l'avion. Les commandes de volets et de stabilisateur sont actionnées par deux manivelles de longueurs différentes qui tournent autour du même axe. Alors que la rentrée des volets nécessite huit tours de grande manivelle dans le sens "à dévisser", la phase de compensation qui en découle nécessite une action sur la petite manivelle dans le sens "à visser".

De plus, il est difficile de trouver une logique simple et naturelle pour lier des mouvements s'effectuant autour d'axes différents. Pour un mouvement sur l'axe de tangage, on manipule la commande en la tournant vers la droite ou vers la gauche autour d'un axe vertical.

Enfin, la position des manivelles au-dessus de la tête du pilote perturbe chez celui-ci la représentation mentale de ses actions sur les commandes.

2.3 Scénario de l'accident

Le pilote décolle vraisemblablement avec les volets en position décollage (28°) et le stabilisateur de profondeur réglé vers 2 DOWN, conformément aux procédures décrites dans le manuel de vol. En effet on peut supposer que la position du stabilisateur au décollage était correcte car le pilote ne paraît pas faire d'effort

particulier sur les commandes pendant la rotation. Après avoir quitté le sol, il rentre partiellement les volets, ce qui produit un couple piqueur qu'il contre au manche.

Il agit immédiatement après sur la manivelle du stabilisateur. Il est possible qu'il désire poursuivre la rentrée des volets qu'il a interrompue pour une raison inconnue. Dans ce cas, il aurait saisi la mauvaise poignée et aurait poursuivi sur la commande du stabilisateur le mouvement qu'il avait débuté sur celle des volets. On peut également émettre l'hypothèse qu'il a sciemment saisi la poignée du stabilisateur après la rentrée partielle des volets pour commencer à compenser l'avion et qu'il a agi sur cette commande en poursuivant machinalement le geste qu'il n'avait pas terminé sur la commande des volets, soit une manœuvre à dévisser.

Dans les deux cas, le mouvement sur la commande du stabilisateur se traduit par un calage "à piquer" plus important, qui a pour conséquence un accroissement des efforts au manche si l'on conserve l'assiette de montée.

Perturbé par cette situation inhabituelle et du fait de l'ergonomie particulière de la commande du stabilisateur, le pilote essaie plusieurs sens de manœuvre sans parvenir à réduire les efforts. Lors du passage du stabilisateur vers une position à piquer, l'effort au manche pour contrôler l'avion en tangage devient important et se répercute sur le vérin du stabilisateur, ce qui a pour effet de durcir les deux commandes. Le blocage aérodynamique peut apparaître alors. Ainsi, face à une situation de plus en plus singulière, le pilote agit sur le stabilisateur de manière désordonnée, sans parvenir à déterminer le sens de rotation adéquat.

Compte tenu des forces croissantes qui se répercutent sur le vérin, la compensation à cabrer devient de plus en plus difficile tandis que celle à piquer se trouve facilitée. On peut dès lors penser qu'au cours de ces va-et-vient sur la commande du stabilisateur, le résultat en terme de compensation est une aggravation de la tendance à piquer rendant le contrôle de l'avion plus difficile.

Le pilote entame alors un virage à gauche, sans doute pour revenir se poser. Il est probable qu'il pense que les problèmes qu'il rencontre avec le stabilisateur ont une origine mécanique. Ceci se confirme par la suite, quand on voit le parachutiste à côté du pilote se lever et observer les manivelles.

Le pilote finit de rentrer les volets, aggravant ainsi le couple piqueur de l'avion. L'effort qu'il exerce sur le manche pour contrôler l'avion augmente encore, ce qui conduit à un accroissement de la force exercée sur le vérin du stabilisateur. Le phénomène de blocage aérodynamique, de plus en plus certain, ne permet que des déplacements du stabilisateur vers la position "plein piquer".

Dans le but d'assister le pilote, le parachutiste à sa droite agit à son tour sur le stabilisateur, dans le seul sens possible, c'est à dire "à piquer", aggravant la situation. Il le bloque sur la butée "plein piquer".

Dans cette configuration, la force à exercer sur le manche pour maintenir le contrôle de l'avion en tangage devient extrême. A ce moment, soit le pilote rend

un peu la main pour essayer de corriger la situation et perd le contrôle car la position du stabilisateur engage l'avion dans un piqué très rapide, soit il perd le contrôle d'un seul coup tant les efforts au manche sont importants et entraînent l'avion vers le piqué. L'assiette et la vitesse augmentent. L'avion, incontrôlable, casse en vol juste avant de percuter le sol.

2.4 Formation et expérience du pilote

Les connaissances théoriques que le pilote avait de la machine provenaient de sa qualification de type sur PC6 B2-H4, équipé de volets et d'un stabilisateur électriques. De même sa formation en vol s'était faite sur cette machine.

Les difficultés liées au maniement du stabilisateur que l'on a mises en évidence n'apparaissent pas sur PC6 B2-H4.

Sur le PC6 B2-H2, le pilote avait effectué, entre le 15 août 1997 et le 24 août 1997, un vol de lâcher et vingt-quatre heures de vol. Entre le 24 août 1997 et le jour de l'accident, il n'avait pas volé sur PC6 B2-H2. Son expérience sur cet appareil était donc limitée et il n'avait pas eu le temps d'acquérir une connaissance approfondie de la machine. Il n'avait sans doute pas rencontré au cours de ces vols de situation l'amenant à découvrir la possibilité de blocage aérodynamique du stabilisateur, car dans une plage normale d'utilisation le maniement de la commande ne nécessite pas d'effort importants. De plus, son instruction s'étant déroulée sur un appareil à volets et stabilisateur électriques, il n'était pas sensibilisé aux particularités liées à l'utilisation du système manuel de volets et du stabilisateur.

3 - CONCLUSIONS

3.1 Faits établis par l'enquête

- Le pilote possédait les brevets, licences et qualifications requises en état de validité
- Il avait acquis sa qualification de classe sur un PC6 équipé de volets et d'un stabilisateur électriques.
- L'aéronef était en état de navigabilité. Il était équipé de volets et d'un stabilisateur à commandes manuelles.
- Le pilote a interrompu sa manœuvre de rentrée des volets après le décollage.
- Le pilote puis le parachutiste se trouvant à côté de lui se sont concentrés sur la manipulation de la manivelle du stabilisateur.
- Les actions sur le stabilisateur ont amené ce système dans une position ne permettant plus au pilote de compenser l'avion à cabrer.
- Le stabilisateur de profondeur se trouvait en position plein piquer au moment de l'impact.
- La combinaison des positions du stabilisateur, de la commande de profondeur, des volets et de la puissance affichée a provoqué un accroissement très important des efforts au manche.

3.2 Causes

- L'accident est consécutif à une perte de contrôle en tangage de l'avion consécutive à l'apparition d'efforts extrêmes sur la commande de profondeur provoqués par la mise sur la position plein piquer du stabilisateur de profondeur.
- Les actions du pilote sur les commandes de vol ont conduit à cette situation de blocage aérodynamique de la commande du stabilisateur de profondeur, vraisemblablement interprété comme un blocage mécanique du système. Ce phénomène, spécifique aux avions équipés d'un tel système de stabilisateur de profondeur et lié à l'importance des forces mises en jeu, n'était semble-t-il pas connu du pilote.
- La formation sur PC6 B2-H4 qu'avait suivie le pilote ainsi que sa faible expérience sur PC6 B2-H2, associées à l'ergonomie du système manuel de volets et de stabilisateur, sont des facteurs contributifs.

4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE

1 - Le pilote a rencontré des difficultés pour manœuvrer le stabilisateur de profondeur dont le sens de maniement n'est ni réflexe ni logique. Le manuel de vol n'explique pas les difficultés liées à l'utilisation du stabilisateur de profondeur et ne fournit pas de technique ou de procédure pour résoudre le blocage aérodynamique du stabilisateur.

En conséquence le BEA recommande :

- **que le constructeur complète le manuel de vol du PC6 B2-H2 afin de mettre en garde les utilisateurs sur les risques de blocage aérodynamique du stabilisateur de profondeur et indique les procédures à mettre en œuvre pour récupérer la fonctionnalité de la commande.**

2 - Le pilote avait obtenu la qualification de type PC6 B2-H4 en même temps que la qualification de classe C. Le pilotage du PC6 B2-H2 nécessite la qualification de classe C, mais ne requiert pas de qualification de type. Il n'y a donc pas de programme minimum de formation pour cet avion.

En conséquence, le BEA recommande :

- **que les manuels d'activité particulière prévoyant l'utilisation du PC6 B2-H2 intègrent un programme de formation en vol spécifique sur ce type d'appareil mettant en évidence les risques liés à certaines manipulations du stabilisateur de profondeur.**

Liste des annexes

ANNEXE 1

Schéma descriptif du stabilisateur

ANNEXE 2

Rapport d'expertise du stabilisateur

ANNEXE 3

Plan de l'aérodrome

ANNEXE 4


Expertise des capsules Cyprès

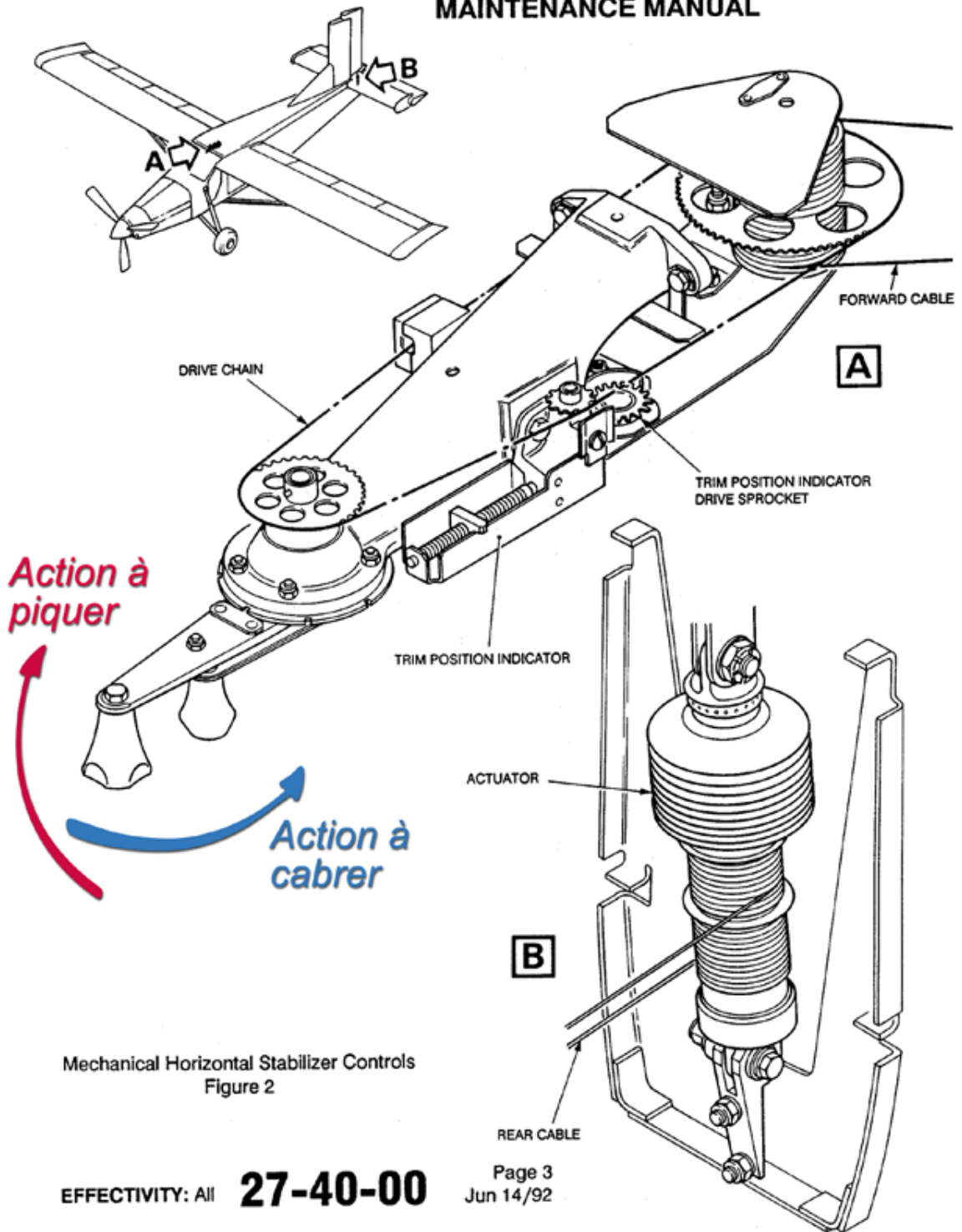
ANNEXE 5

Procédures normales issues du manuel de vol

ANNEXE 6

Enregistrement vidéo de la caméra arrière


PC-6
MAINTENANCE MANUAL

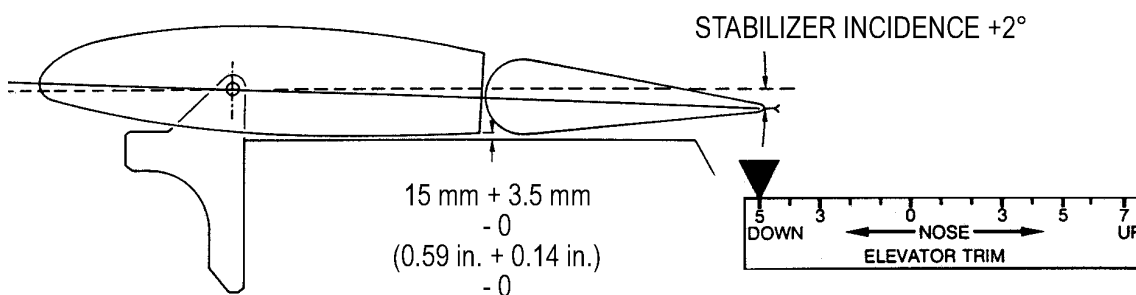
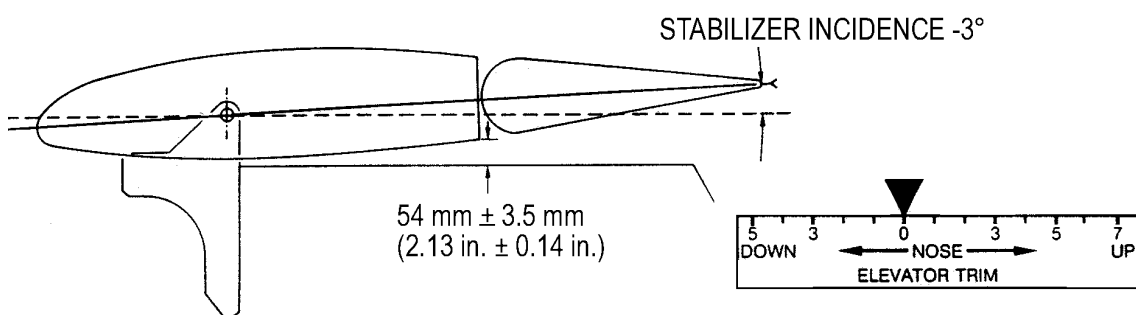
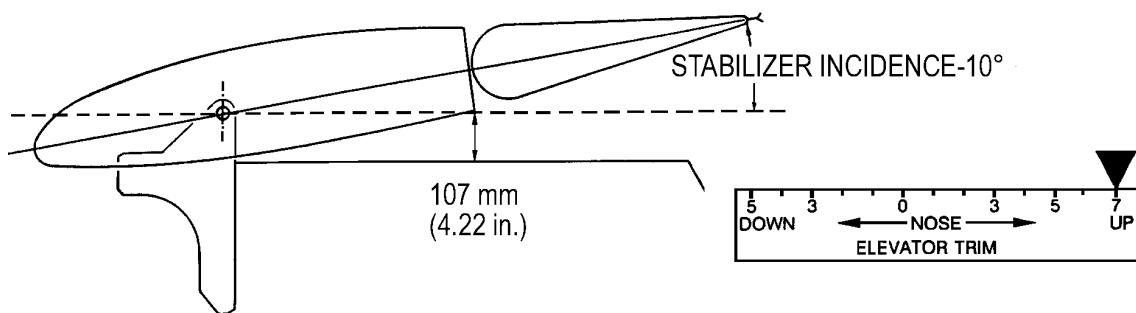


Mechanical Horizontal Stabilizer Controls
Figure 2

EFFECTIVITY: All **27-40-00**

Page 3
Jun 14/92

PILATUS
PC-6
MAINTENANCE MANUAL



Horizontal Stabilizer - Range of Movement
Figure 501

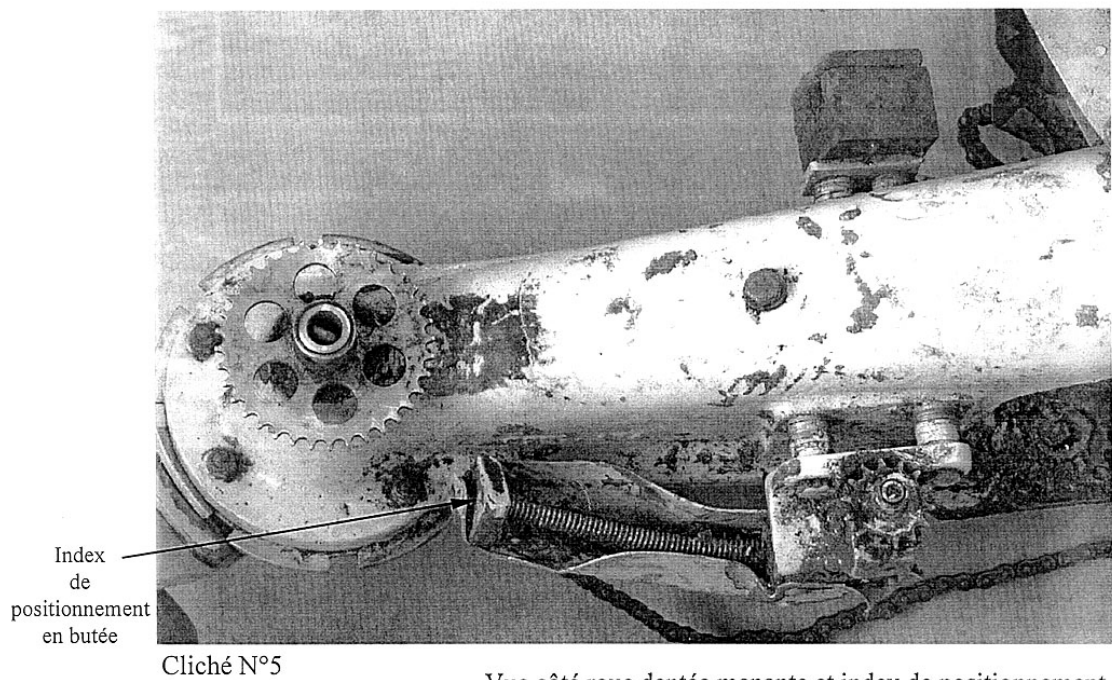
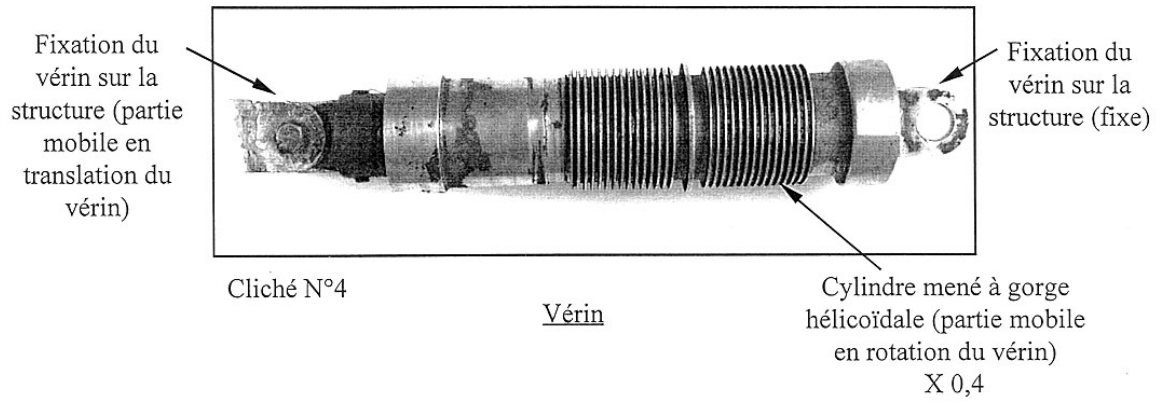
EFFECTIVITY: Aircraft with mechanical stabilizer trim

CONFIG 2
Page 504
Mar 14/95

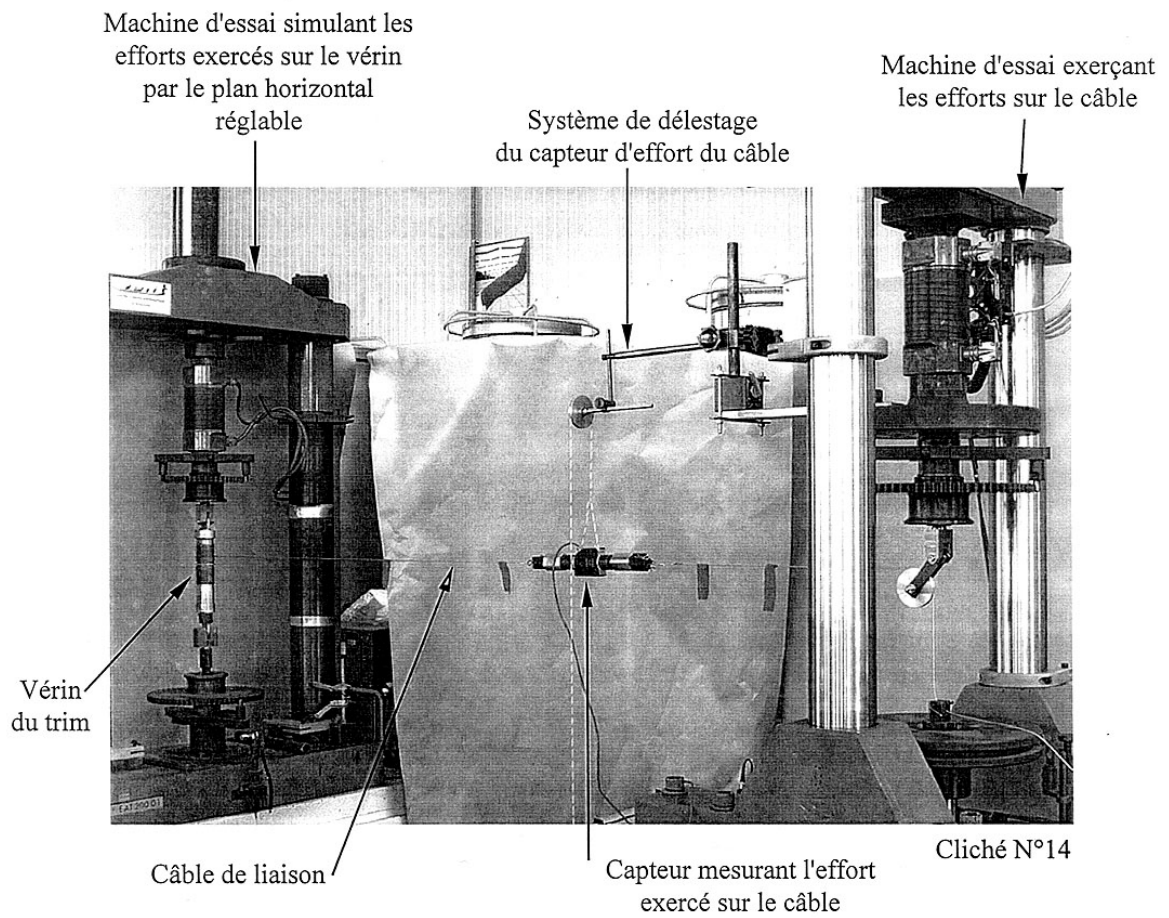
2-374

27-40-00

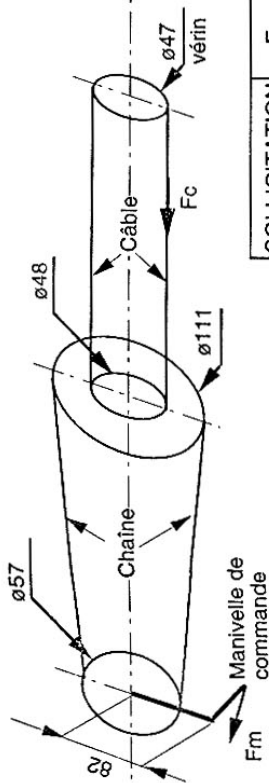
EXAMEN MORPHOLOGIQUE DE LA COMMANDE DE TRIM



MONTAGE D'ESSAI DE MESURE D'EFFORTS EXERCES SUR LE CÂBLE



RESULTATS DES ESSAIS DE COMMANDE DU VERIN DE TRIM DE PROFONDEUR

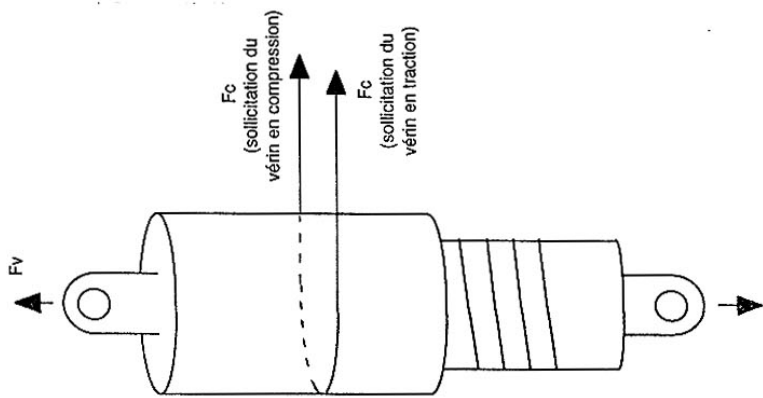


SOLLICITATION VERIN	Fv (kN)	Complètement vissé (-1 tour)		Point "dur"***		Complètement dévissé (-1 tour)	
		Fc (daN)	Fm*** (daN)	Fc (daN)	Fm*** (daN)	Fc (daN)	Fm*** (daN)
TRACTION*	0	5	1	4	1	/	/
	1	12,5	2	15,5	2	/	/
	2	26,5	4	32	5	/	/
	3	31,5	5	50	7	/	/
	4	43	6	70	10	/	/
	5	57	9	89,5	13	/	/
COMPRESSION*	6	68	10	67,5	10	/	/
	0	0	0	10	1	2,5	0
	-1	/	/	/	/	11,5	2
	-2	17,5	3	23,5	4	20	3
	-3	/	/	/	/	27,5	4
	-4	25,5	4	39	6	39,5	6
-5	/	/	/	/	45	7	
-6	47	7	48,5	7	52	8	

* : Les sens de rotation du vérin sont à dévisser pour une sollicitation en traction et à visser pour une sollicitation en compression.

** : La position initiale du vérin était la position du point "dur" moins 0,25 tour pour la sollicitation en traction (dévisseage du vérin), et la position du point "dur" plus 0,25 tour pour la sollicitation en compression (visseage du vérin).

*** : Effort estimé exercé sur la manivelle dans la cabine de pilotage, compte tenu du rapport de réduction calculé à partir des diamètres des roues dentées menantes et menées ($\approx 1/6,7$).



ATTERRISSAGE A VUE

Ouvert à la CAP

01 LAON CHAMBRY LFAF

Visual landing

Public Air Traffic

95 11 09

ALT en pieds

LAT : 49 35 45 N

LONG : 003 37 54 E

DÉC 2°W (95)

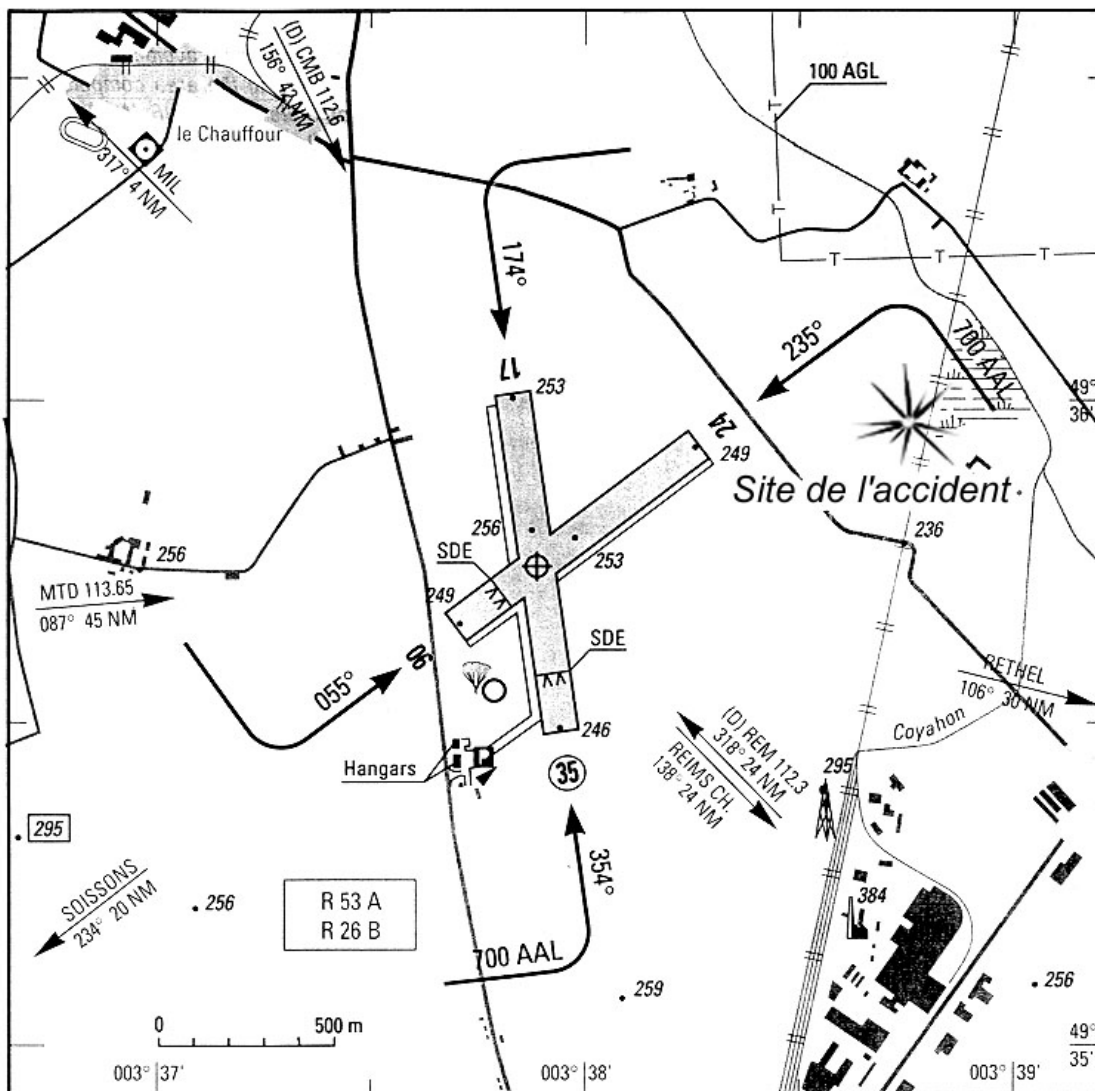
ALT AD : 256 (9hPa)



APP : NIL

A/A LAON 123.35

TWR : NIL



RWY	QFU	Dimensions Dimension	Nature Surface	Résistance Strength	TODA	ASDA	LDA
17	174	985 x 100	Non revêtue	-	985	985	985
35	354		Non coated				
06	055	870 x 100	Non revêtue	-	870	870	700
24	235		Non coated				

Aides lumineuses : NIL

Lighting Aids : NIL

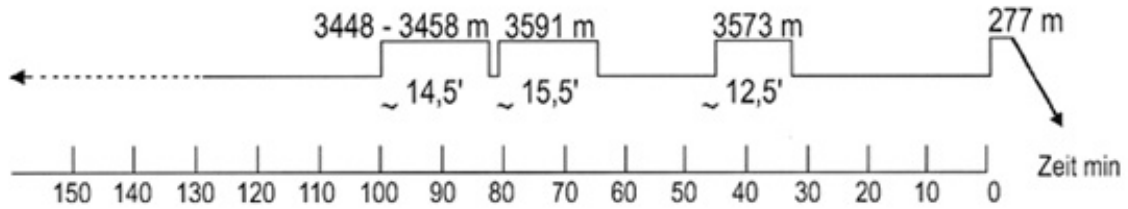


FRANCE

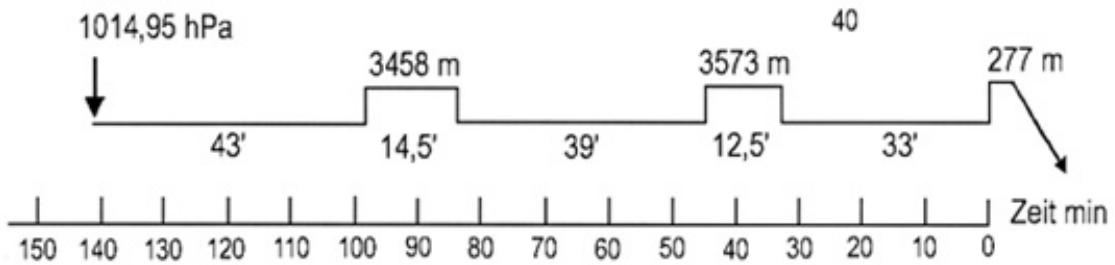
CORRECTIONS : Nouvelle présentation

© SIA

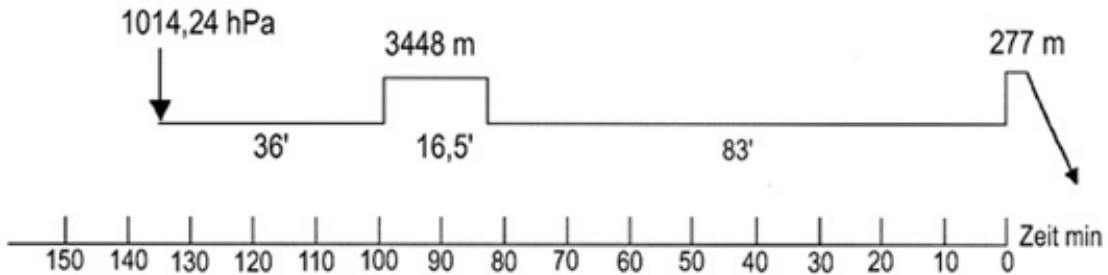
Graphik
kumulierte Auswertung



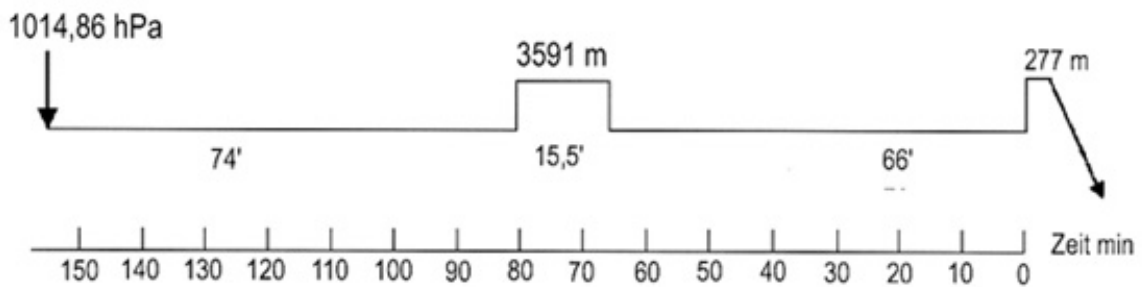
Graphik 1
SeNr 4121A6615ECA0210



Graphik 2
SeNr 5071A565ECA02 40



Graphik 3
SeNr 2020556159C402 60



Manuel de vol du PC6 B2-H2, procédures normales

Avant le décollage

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 - Avion dans la position de décollage,
roue de queue | - bloquée |
| 2 - Volets de courbure | - 28° |
| 3 - Stabilo | - position "0" (ou selon désirs) |
| 4 - Tab de direction | - 3° à droite |
| 5 - Cde. du volet d'air pour
refroidissement de l'huile
(Oil Cooler) | - selon besoins |
| 6 - Manette de régime | - poussée (nombre de tours maxi) |
| 7 - Sélecteur ralenti | - HIGH IDLE |

Décollage

- | | |
|---------------------|----------------------------------|
| 1 - Puissance | - couple selon "torque computer" |
| 2 - Température ITT | - observer |

Après le décollage

- | | |
|------------------------|-----------------------------------|
| 1 - Volets de courbure | - rentré |
| 2 - Stabilo | - trimer pour environ 70 kts |
| 3 - Cde "Oil Cooler" | - selon la température de l'huile |
| 4 - Pompe de gavage | - arrêtée |

Temps (min.s)	Type de vue	Actions ou remarques
00.00 00.01	Balayage de l'extérieur gauche vers la place droite	Le pilote a la main droite sur la poignée des volets Il effectue 3,25 tours en dévissant La poignée stabilisateur se trouve à gauche Le pilote est filmé par le parachutiste à sa droite
00.02	Extérieur droit	L'avion est en l'air avec un hameau visible en lisière à 50° avec une séparation linéaire (sentier ?) entre un champs labouré et du vert pâturage
00.04 00.05 00.06 00.07 00.08 00.09 00.10 00.11 00.12 00.13 00.14 00.15	Balayage de l'extérieur droit vers le pilote	Le pilote a la main sur la poignée du stabilisateur. La poignée des volets est à gauche. Le parachutiste à droite du pilote filme l'arrière de l'avion Perte d'informations Le pilote effectue trois quarts de tour en dévissant puis arrivé en position arrière (il force) De la position arrière il visse pour atteindre 300°. On l'entend dire "Oh" Il dévisse jusqu'en position arrière Force en vissant à partir d'une position arrière Poignée en position arrière puis perte d'information Position avant puis demi tour en dévissant puis des aller-retour
00.16 00.17		De la position arrière il visse Un tour complet en vissant
00.18 00.19 00.20 00.21		Le parachutiste à droite du pilote arrête de filmer vers l'arrière Poignée en position arrière tente de visser en forçant, semble bloqué ? Pousse vers l'avant (vissage) ne dépasse pas 0°
00.22	Vue extérieur droit puis du toit	Perte d'image
00.30	Devant	Le pilote a la main sur la poignée des volets, en position avant, dévisse au moins un demi tour, la manivelle de stabilisateur est à 60°
00.31	Plafond	
00.32	Devant	Le pilote lâche la poignée des volets Le parachutiste à droite de lui regarde le pilote poignée des volets en position avant droite Un virage à gauche est notable

00.35		Poignée des volets (dans son cran ?) le pilote cherche puis met la main sur la poignée du stabilisateur Le parachutiste regarde le pilote
00.36		Le pilote dévisse le stabilisateur sur un demi tour puis visse jusqu'à 300°
00.38		Redévisse jusqu'en position arrière (200°)
00.39		Le pilote force (sens ?)
00.41		Visse en forçant sur trois quarts de tour jusqu'à 300°
00.43		Force en vissant avec coude levé
00.44	Plafond	
00.45	Devant	Le pilote lâche la poignée du stabilisateur qui semble repartir vers la droite jusqu'à 45° ?
00.46		Le parachutiste lève le bras puis met la main sur la poignée du stabilisateur il force en position arrière en dévissant
00.47	Plafond	
00.48	Devant	Le parachutiste toujours la main sur le stabilisateur pose la caméra
00.51		Après s'être levé il porte les deux mains sur la poignée du stabilisateur. Il force le corps en avant. Il semble pousser en dévissant
00.52	Plafond	
00.57		On entend " force pas...", sans doute dit par le parachutiste qui filme
01.23	Perte d'image	
01.32	Devant	Vue du parachutiste levé dans le coin gauche de l'image perte d'image Le parachutiste a le bras gauche sur la poignée du stabilisateur et semble regarder de l'avant le dessus des poignées le pilote le regarde
01.37	Bande endommagée avec quelques images	
01.42		le parachutiste est au centre du poste de pilotage il est penché vers l'avant
01.45	perte d'image	
01.51	Fin d'enregistrement	