

Etude

Pertes de contrôle sur monoturbopropulseur rapide

Cas du Socata TBM 700

Mise à jour 1991 - 2010

BEA

Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie

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

Table des matières

GLOSSAIRE	3
INTRODUCTION	5
1 - APERÇU GÉNÉRAL DES OCCURRENCES	6
1.1 Origine des données	6
1.2 Répartition des occurrences	6
1.3 Caractéristiques et conséquences des accidents	7
1.4 Répartition des dix-neuf pertes de contrôle	7
1.4.1 Selon l'environnement météorologique	7
1.4.2 Selon les phases de vol	8
1.5 Faits établis relatifs aux six pertes de contrôle étudiées	8
1.6 Vol de démonstration	10
1.7 Conclusion partielle	10
2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES	11
2.1 Le TBM 700	11
2.2 Caractéristiques techniques du TBM 700	11
2.3 Différentes versions de TBM	13
2.4 Réglementation relative à la formation sur TBM 700	13
2.4.1 La réglementation française	13
2.4.2 A l'étranger, exemple des Etats-Unis	14
2.5 Programme de formation en vue de la délivrance de la qualification de classe TBM	15
2.5.1 Le constructeur	15
2.5.2 Les autres organismes ou écoles	15
2.6 Remarque sur l'instruction en vol	16
3 - ANALYSE DES SIX PERTES DE CONTRÔLE ÉTUDIÉES	17
3.1 Phénomènes relatifs au vol à faible vitesse	17
3.1.1 Phénomènes liés à une augmentation de puissance sur un monomoteur	17
3.1.2 Comparaison de l'effet des gouvernes d'un TBM 700 et d'un TB	19
3.1.3 Comparaison de l'effort aux commandes en roulis entre les TBM 700 B et N	19
3.1.4 Conclusion partielle	19
3.2 Désorientations d'origine vestibulaire en vol	20
3.2.1 Les illusions somatogyres	20
3.2.2 Les illusions somatograviques	21
3.2.3 Cas de l'étude	21
3.3 Conditions d'utilisation du TBM 700	21
3.4 Confrontation à une situation inhabituelle	22
4 - CONCLUSION	24
LISTE DES ANNEXES	25

Glossaire

AMSL	Above Mean Sea Level Au-dessus du niveau moyen de la mer
ATPL	Airline Transport Pilot Licence Licence de pilote de ligne
CFR	Code of Federal Regulations
CPL	Commercial Pilot Licence Licence de pilote commercial
CRI	Class Rating Instructor Instructeur de qualification de classe
EADI	Electronic Attitude Director Indicator
EASA	European Aviation Safety Agency Agence Européenne de la Sécurité Aérienne (AES)
EFIS	Electronic Flight Instrument System Système d'instruments de vol électroniques
EHSI	Electronic Horizontal Situation Indicator
FAA	Federal Aviation Administration
FAR	Federal Aviation Regulations
FCL	Flight Crew Licensing
FI	Flight Instructor Instructeur de vol
FL	Flight Level Niveau de vol
FTO	Flight Training Organisation Organisme de formation au vol
GPS	Global Positioning System Système mondial de localisation
HPA	High Performance Aircraft Avion hautes performances
IFR	Instrument Flight Rules Règles de vol aux instruments
ILS	Instrument Landing System Système d'atterrissement aux instruments
IMC	Instrument Meteorological Conditions Conditions météorologiques de vol aux instruments
IR	Instrument Rating Qualification de vol aux instruments
JOEB	Joint Operations Evaluation Board
lb	Pound Livre
MDH	Minimum Descent Height Hauteur minimale de descente
PFD	Primary Flight Display
PPL	Private Pilot Licence Licence de pilote privé

POH	Pilot's Operating Handbook
TRTO	Type Rating Training Organisation Organisme approuvé pour la formation aux qualifications de type
VFR	Visual Flight Rules Règles de vol à vue
VMC	Visual Meteorological Conditions Conditions météorologiques de vol à vue
VMO	Maximum Operating Velocity

INTRODUCTION

Le TBM 700 a été conçu par la SOCATA à la fin des années 1980. Avion mono-turbopropulseur pressurisé dont les performances sont comparables à celles d'un biréacteur léger, il rencontre un certain succès auprès des pilotes privés.

Il a été certifié en 1990.

Depuis 2006, une nouvelle version est disponible, le TBM 850 ; elle ne diffère de la précédente que par une puissance accrue en altitude.

Le BEA a recensé trente-six accidents de TBM 700 entre le début de l'année 1991 et mars 2010. Six d'entre eux sont relatifs à des pertes de contrôle en roulis vers la gauche lors de l'arrivée. Ils combinent généralement une vitesse faible, une configuration « atterrissage » ainsi qu'une augmentation rapide de puissance. Cette étude a pour but d'en proposer des facteurs explicatifs.

Une perte de contrôle en vol⁽¹⁾ est une manifestation extrême de la déviation de la trajectoire par rapport à celle prévue. Le terme « perte de contrôle » qualifie ici des événements au cours desquels l'attitude et/ou la trajectoire de l'avion ne sont plus contrôlés par le pilote. Cela ne signifie pas nécessairement que l'avion soit devenu incontrôlable.

D'autres constructeurs produisent des monoturbopropulseurs. Le BEA ne disposait cependant pas d'informations suffisantes pour mener une étude comparative. Le TBM 700 est le seul monoturbopropulseur de cette classe produit par un constructeur français.

⁽¹⁾Source OACI
ADREP.

1 - APERÇU GÉNÉRAL DES OCCURRENCES

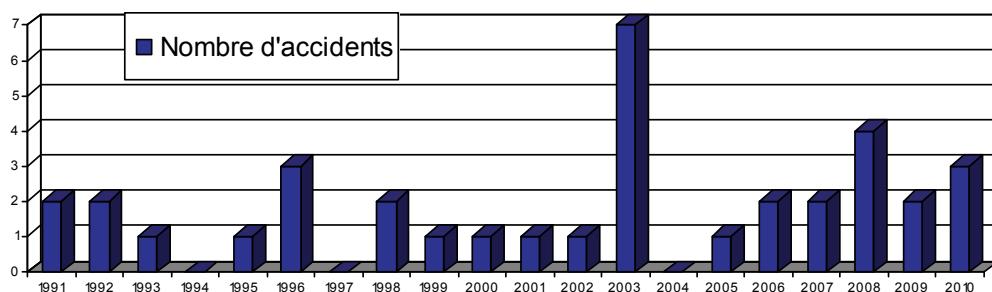
1.1 Origine des données

L'étude ne porte que sur les accidents de TBM 700 notifiés au BEA. Les éléments présentés sont issus de sa base de données. Ils proviennent :

- soit d'accidents survenus en France ;
- soit d'accidents survenus à l'étranger, pour lesquels des renseignements ont été fournis au BEA par les organismes qui ont conduit les enquêtes.

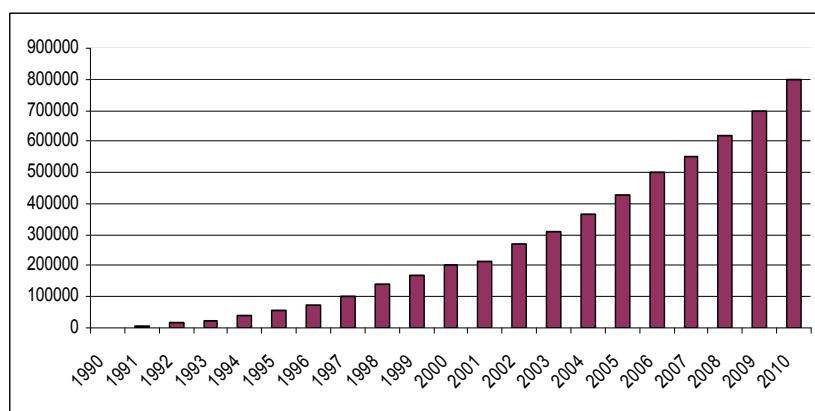
1.2 Répartition des occurrences

Entre le 2 août 1991 et le 1^{er} mars 2010, trente-six accidents ont été recensés, répartis comme suit :



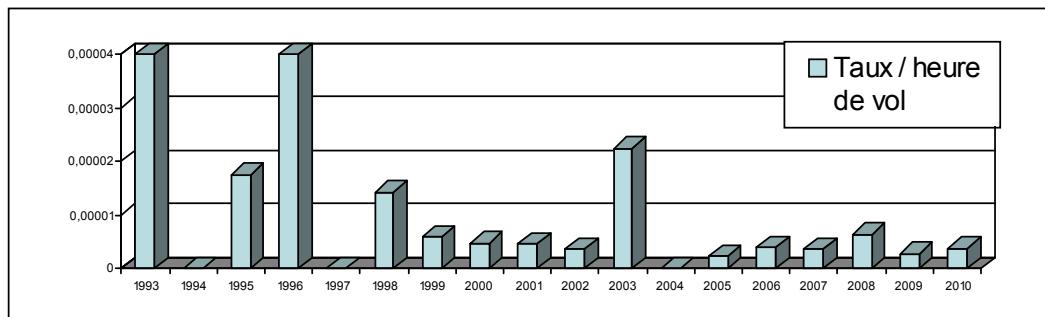
Ces accidents ont causé la mort de vingt-neuf personnes. Onze autres ont été blessées.

En augmentation continue depuis 1990, la flotte d'avions TBM 700 exploités dans le monde s'élevait à 550 exemplaires en 2010.



Les segments représentent le nombre cumulé d'heures de vol estimé de la flotte TBM 700 en exploitation à la fin de chaque année (données fournies par le constructeur).

Le nombre d'accidents par heure de vol diminue donc sensiblement depuis 1996.



Durant les premières années de production des TBM 700, la plupart des événements notifiés au BEA sont survenus en France. Depuis environ douze ans, ils surviennent essentiellement à l'étranger, particulièrement aux Etats-Unis où est vendue la grande majorité de ces avions.

1.3 Caractéristiques et conséquences des accidents

Sur les trente-six accidents recensés dans cette étude, dix-neuf ont pu être classés dans la catégorie des pertes de contrôle en vol sans anomalie technique. Ces pertes de contrôle se caractérisent par une attitude inappropriée de l'avion dans la phase de vol considérée ou par une trajectoire non maîtrisée. Cette dernière peut être la conséquence d'un contrôle insuffisant de l'attitude de l'avion. Quatorze personnes sont décédées et dix ont été blessées au cours de ces accidents.

Le tableau suivant présente les titres aéronautiques détenus par les pilotes de ces 19 avions accidentés :

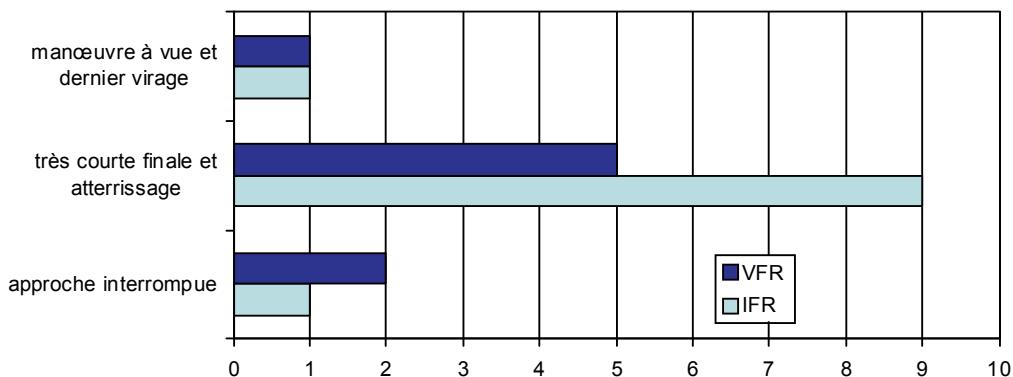
Composition de l'équipage de conduite	Nombre d'accidents
Pilote privé seul	6
Pilote privé accompagné d'un nageant professionnel	4
Nageant professionnel (CPL ou ATPL)	5
Inconnu	4

1.4 Répartition des dix-neuf pertes de contrôle

1.4.1 Selon l'environnement météorologique

Dans la majorité des cas, le vol était conduit aux instruments dans des conditions météorologiques défavorables au vol à vue : plafonds et/ou visibilités inférieures aux minima opérationnels, brouillard, givrage fort, etc. Certains accidents sont survenus de nuit.

1.4.2 Selon les phases de vol



- quatre accidents ont eu lieu à la suite d'un décrochage à basse vitesse lors de l'atterrissage ;
- deux accidents sont consécutifs à des désorientations spatiales entraînant la perte de contrôle de l'avion ;
- un accident est consécutif à un atterrissage dans un banc de brouillard ;
- un accident est survenu lors d'une remise des gaz en passant mille pieds en montée ;
- deux accidents sont liés à une prise en compte insuffisante du vent traversier lors de l'atterrissage ;
- un accident est dû à un atterrissage dur ;
- deux pertes de contrôle sont survenues lors de l'approche sans que l'enquête technique ne parvienne à en déterminer la cause. Les enquêtes ont avancé l'hypothèse d'augmentation de puissance pour revenir sur le plan ou d'une distraction du pilote dans un cas et celle d'un défaut de stabilisation de l'avion dans la procédure aux instruments dans l'autre cas.

Les six autres pertes de contrôle se sont produites en finale d'approche, près du sol, lorsque la vitesse est relativement faible. Les données dont dispose le BEA ne mettent pas en évidence d'anomalie technique. Les circonstances de ces occurrences sont précisées ci-après.

1.5 Faits établis relatifs aux six pertes de contrôle étudiées

D'une manière générale, les conditions suivantes doivent être remplies simultanément pour provoquer une perte de contrôle en roulis par la gauche :

- vitesse inférieure à celle spécifiée par le manuel de vol pour la configuration retenue ;
- application rapide de la puissance du ralenti aux pleins gaz.

L'absence d'enregistreur de vol rend généralement difficile l'établissement précis des circonstances qui ont contribué à la perte de contrôle. Les enregistrements radar et les témoignages ont cependant fourni des éléments utiles à l'enquête. Dans quelques cas, le pilote a survécu et a été en mesure de relater la fin de son vol.

Les enquêtes n'ont pas mis en évidence de facteurs relatifs :

- à un défaut d'ajustement du compensateur de roulis pendant l'approche ;
- à un malaise du pilote ;
- à un déséquilibre du carburant dans les réservoirs ;
- à une influence du vent traversier ;
- à une influence du givrage.

En revanche, un certain nombre de points communs ont été mis en évidence.

Ces accidents sont survenus alors que le pilote agissait sur les commandes avec le pilote automatique déconnecté.

L'observation des sites et des épaves a révélé une inclinaison importante à gauche au moment de l'accident. L'impact a parfois été précédé d'une déviation de la trajectoire vers la gauche. Lorsque des témoins ont assisté à l'accident, ils ont confirmé ce mouvement de l'avion avant l'impact.

Ces pertes de contrôle sont survenues avec une vitesse faible et une puissance en augmentation. Les extraits de rapports suivants appuient cette constatation :

- 1^{er} événement.* Alors que la visibilité est inférieure au minimum requis et dans le but de vérifier cette visibilité, le pilote réalise une approche finale en configuration lisse, suivie d'un passage à faible hauteur au-dessus de la piste. Ne voyant pas cette dernière, il effectue une remise de gaz. Au moment de la montée en puissance de la turbine, l'avion fait une embardée vers la gauche. L'aile gauche et l'hélice entrent en contact avec la piste. Le pilote réduit la puissance, l'avion rebondit sur la piste et s'écrase 400 mètres plus loin.

Résumé du rapport d'accident du F-GLBC du 15 novembre 1991 à Epinal - France.

- 2nd événement.* Lors d'un vol de démonstration, le pilote en place droite réalise une approche à vue. Alors que la vitesse en finale est faible et l'assiette élevée, la rapide montée en puissance de la turbine provoque un effet de roulis à gauche que le pilote ne parvient pas à contrôler. L'aile gauche entre en contact avec la piste, l'avion sort latéralement de la piste puis s'embourbe.

Résumé du rapport d'accident du F-GLBD du 10 décembre 1992 à Oxford - Royaume-Uni.

- 3^{ème} événement.* Au cours d'une troisième tentative d'approche classique réalisée aux instruments, le pilote acquiert le visuel de la piste à l'altitude minimale de descente. Alors qu'il se rapproche de la piste, il constate que l'avion descend trop rapidement. Il actionne la commande de puissance mais est surpris par le temps de montée en puissance de la turbine, qu'il rapporte comme étant anormalement long. Au moment de l'apparition de la puissance, l'avion part en roulis à gauche et l'aile gauche heurte le sol.

Résumé du rapport d'accident du N45PM du 15 décembre 2000 à Harrisburg – Etats-Unis.

- 4^{ème} événement.* « ... l'approche se déroule normalement et avec une vitesse de 85 kt, train sorti et pleins volets. Peu avant l'arrondi, estimant qu'il va « être un peu court », il [le pilote] effectue une action à cabrer en augmentant légèrement la puissance. Jugeant que l'assiette devient trop importante, il remet les gaz. L'avion s'incline à gauche. Le saumon de l'aile gauche touche la raquette du seuil de piste. L'avion sort de piste par la gauche et percute violemment le sol... ».

Extrait du rapport d'accident du N700AR du 13 mai 2002 à Moulins - France.

- **5^{ème} événement.** Au cours d'un vol d'instruction, en courte finale, l'élève éprouve des difficultés à contrôler l'avion dans une zone de turbulences. Au début de l'arrondi, l'avion part en roulis à gauche avec un taux de descente important. L'instructeur reprend les commandes de l'avion en augmentant la puissance, mais l'aile gauche heurte la piste

Résumé du rapport d'accident du N700GJ du 15 février 2003 à Aspen – Etats-Unis.

- **6^{ème} événement.** Au cours de l'arrondi, l'avion rebondit légèrement, part en lacet puis en roulis par la gauche malgré l'action du pilote sur les palonniers. Ce dernier décide d'interrompre l'atterrissement et avance la commande de puissance. L'avion prend alors une forte assiette à cabrer et l'aile gauche heurte le sol. L'avion sort de la piste.

Résumé du rapport d'accident du N700VA du 24 octobre 2003 à River Tay – Scotland.

1.6 Vol de démonstration

Dans le cadre de l'enquête sur une perte de contrôle⁽²⁾ en finale survenue le 6 décembre 2003 à Oxford (Royaume-Uni), un vol de démonstration a été effectué par l'AAIB en présence du constructeur. Ce vol, conduit parfois selon des procédures non préconisées par le POH, avait mis en évidence :

- une tendance à un départ en roulis à gauche⁽³⁾ lors du décrochage ;
- une tendance à un mouvement de roulis à gauche, contrôlable, lors d'une remise de gaz à des vitesses égales ou supérieures à 70 kt et à partir d'un couple moteur totalement réduit ou réglé à 20 % ; le mouvement est d'autant plus prononcé que la vitesse est faible.

NB : pendant ce vol, les conditions pouvaient s'éloigner sensiblement des conditions d'utilisation nominales de l'avion et des circonstances rencontrées par les pilotes accidentés, telles que la proximité du sol, des conditions météorologiques médiocres, la fatigue, etc.

1.7 Conclusion partielle

Les enseignements de ce vol (cf. 1.6) indiquent que les six pertes de contrôle étudiées ne semblent pas liées à un comportement aérodynamique anormal de l'avion. Celui-ci reste contrôlable dans le domaine de vol certifié, en particulier à proximité de la vitesse de décrochage.

En conséquence, l'étude s'est orientée vers les conditions d'utilisation de l'avion pouvant conduire à de telles pertes de contrôle.

⁽²⁾Cet événement ne fait pas partie des pertes de contrôle étudiées car l'enquête technique n'a pas permis de mettre en évidence une remise des gaz conduisant à cette perte de contrôle.

⁽³⁾Un départ à gauche lors d'un décrochage est un phénomène connu sur les monomoteurs, d'autant plus marqué que la dissymétrie du vol est prononcée. La réglementation de certification l'accepte et se contente de spécifier des limites à cette abattée (FAR Part 23.201 (e) et (f)) et le TBM700 est conforme à cette réglementation.

2 - RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

2.1 Le TBM 700

Conçu dans les années 1980, le TBM 700 était destiné aux navigateurs non professionnels amenés à voyager fréquemment sur de longues distances. Ceux-ci utilisaient déjà d'autres avions (Socata TB 20, Cessna 310, etc.) pour leurs déplacements privés.

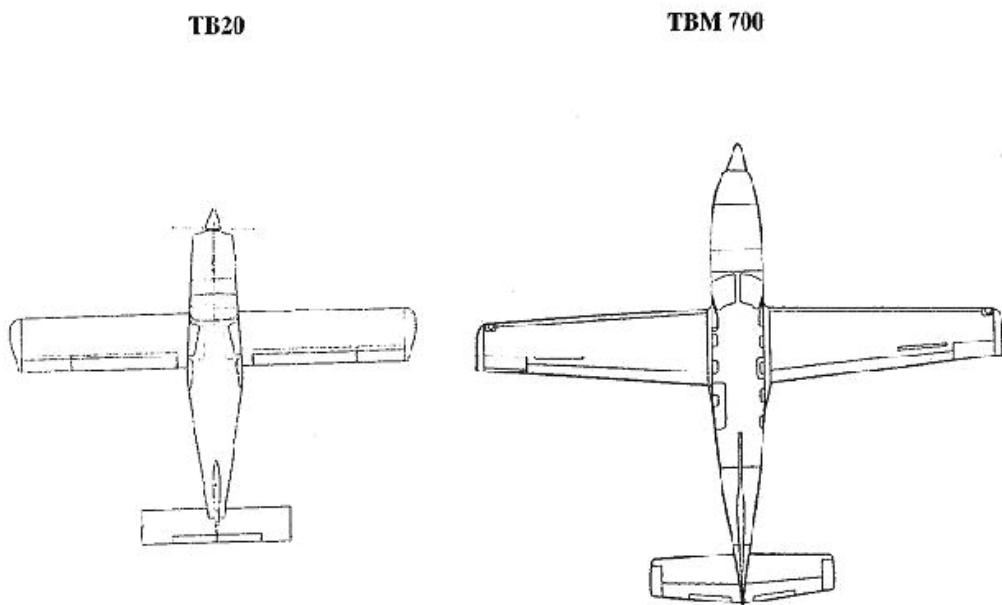
Une majorité de propriétaires de TBM 700 a suivi leur formation de pilote VFR puis IFR sur des avions de voyage conventionnels de type monomoteur à pistons. Beaucoup d'entre eux ont acquis une expérience importante sur de tels avions.

Le TBM 700 est peu utilisé par des entreprises de transport aérien. Très peu d'accidents ont été répertoriés dans le cadre d'une exploitation commerciale.

Le ministère français de la défense dispose d'une flotte de TBM 700. L'utilisation par les militaires présente beaucoup d'analogies avec une exploitation professionnelle civile en France : équipages constitués de deux pilotes qualifiés ayant pour activité essentielle le pilotage du TBM 700, etc. Aucun accident mortel n'est survenu au sein de cette flotte.

2.2 Caractéristiques techniques du TBM 700

Les vues ci-dessous représentent à la même échelle un TB 20 et un TBM 700.



Des atténuateurs de portance et amplificateurs de traînée (spoilers) sont positionnés aux deux tiers des ailes du TBM 700. Leurs mouvements sont conjugués avec ceux des ailerons. Cet avion est généralement équipé d'un radar météo dont le radôme forme une excroissance recouvrant une partie du bord d'attaque de l'aile gauche.

Le tableau suivant permet de comparer les principales caractéristiques d'un TB 20, pris comme modèle d'un avion de voyage répandu, et celles d'un TBM 700.

Caractéristiques	TB 20	TBM 700
Motorisation	Moteur à pistons	turbo-propulseur
Puissance maximale au décollage	250 ch	700 ch
Couple maxi au décollage (C moteur = C résistant)	681 N.m	2 457 N.m
Envergure	9,77 m	12,56 m
Vitesse de décrochage Vso (configuration atterrissage)	59 kt	53 à 65 kt
Vitesse préconisée en finale (configuration atterrissage)	75 kt	80 à 85 kt
Vitesse préconisée pour le décollage	67 à 76 kt	77 à 90 kt
Niveau de vol maximal utilisé en IFR, ordre de grandeur	FL 120	FL 310
Vitesse indiquée maximale de croisière, ordre de grandeur	135 kt	205 kt
Vitesse maximale en opération (Vmo)	150 kt	266 kt
Vitesse propre maximale, ordre de grandeur	200 kt	320 kt
Masse maximale au décollage	1 400 kg	3 354 kg
Masse maximale à l'atterrissage	1 335 kg	3 186 kg
Pressurisation	non	oui

La valeur maximum du couple appliquée par le moteur, ou couple de renversement, est plus importante sur le TBM 700 que sur le TB 20.

Considérant le couple s'exerçant lors d'une phase de vol stabilisée à puissance maximum :

- sur un TB 20, il est équivalent à celui qu'exercerait une charge d'environ 30 kg appliquée au milieu de l'aile gauche ;
- sur un TBM 700, il correspondrait à une charge d'environ 80 kg au milieu de l'aile gauche.

Ces valeurs s'appliquent toutefois à des cas de vols stabilisés et ne peuvent être transposées directement aux phases de vol qui, comme la remise de gaz, impliquent des variations rapides de puissance.

Par ailleurs une demande de puissance importante et rapide sur un moteur à pistons produit un résultat quasiment immédiat. Dans le cas d'un groupe turbopropulseur, les mécanismes de régulation peuvent en retarder les effets. Une action ferme mais progressive sur la manette de puissance permet de faire disparaître ce retard. Elle est préconisée dans le POH qui précise par ailleurs :

"Avant atterrissage"

« Le domaine de vitesse que permet le TBM 700 peut parfois conduire certains pilotes expérimentés à des approches décélérées avec puissance sur IDLE. Ce type d'approche doit être conduit suffisamment tôt de façon à assurer avant l'atterrissage une vitesse stabilisée et un torque non inférieur à 10 % (de façon à obtenir immédiatement, si nécessaire, une augmentation de puissance). »

2.3 Différentes versions de TBM

Depuis 1990, le TBM a été modernisé. Les versions successives et leurs modifications majeures sont décrites ci-dessous :

- TBM 700 A :
Moteur PRATT et WHITNEY Canada : PT6A 64 - 700 ch
Cockpit « classique – instruments électromécaniques »
- TBM 700 B :
Instruments EFIS pour EADI (horizon) et EHSI (plateau de route) uniquement
Porte passagers élargie motorisée
- TBM 700 C1 :
Deux GPS GARMIN GNS 530 de série
- TBM 700 C2 :
Extension des masses maximales au décollage, à l'atterrissement et à vide sans carburant.
- TBM 700 N (appellation commerciale : « TBM 850 ») :
Moteur PRATT et WHITNEY Canada : PT6A 66D – 850 ch
- TBM 700 N équipé GARMIN G1000 (appellation commerciale : « TBM 850 G1000 ») :

2.4 Réglementation relative à la formation sur TBM 700

2.4.1 La réglementation française

2.4.1.1 Cadre réglementaire

Jusqu'en 1999, l'arrêté de 1981 relatif aux brevets, licences et qualifications des navigateurs non professionnels de l'aéronautique civile exigeait que le titulaire d'un brevet et d'une licence de pilote privé avion suive un programme défini en vue de la délivrance d'une qualification de classe C (turbopropulseur). Dispensé au cours d'une semaine environ, le programme contenait des cours au sol, environ cinq heures de vol et une épreuve en vol.

L'arrêté du 29 mars 1999 relatif à la délivrance des licences et qualifications de membres d'équipage de conduite d'avion (FCL 1, annexe 2), ainsi que les principaux textes complémentaires ou modificatifs, constituent désormais la référence réglementaire applicable en France.

2.4.1.2 Qualification de classe TBM

Le pilotage d'un avion TBM 700 requiert une qualification de classe, conformément aux dispositions du FCL 1.215 (a) fixant cette exigence pour tous les avions monopilote équipés d'un turbopropulseur. Cette qualification regroupe toutes les variantes du TBM. Aucune formation à leurs différences⁽⁴⁾ n'est réglementairement exigée.

Les conditions d'obtention d'une qualification de classe sont fixées par le FCL 1.240 (a) (3). Aucune durée minimale de formation en vol n'est notamment requise. Elle peut réglementairement être dispensée par un FI ou un CRI hors FTO / TRTO, donc selon un programme non approuvé.

⁽⁴⁾La formation aux différences doit comprendre au minimum un vol avec un instructeur ainsi que des cours théoriques. Elle doit être mentionnée sur le carnet de vol.

Une qualification de type peut être requise pour certains avions monomoteur à turbopropulseur monopilote, selon certains critères établis par le FCL 1.220 (a). La liste des qualifications de type d'avions est fixée par instruction.

2.4.1.3 Classification avion à hautes performances

Depuis la publication de l'arrêté du 27 juillet 2006 modifiant le FCL 1, le TBM 700 est classé comme avion de haute performance (HPA ou High Performance Aircraft) (FCL 1.221).

En application de ce texte, le candidat à la qualification de classe TBM doit avoir accompli au moins deux cents heures de vol⁽⁵⁾. Il doit de plus détenir soit l'ATPL(A) théorique, soit l'ATPL(A) (ou licence nationale de pilote de ligne) en état de validité, soit un CPL(A)-IR (ou licence nationale de pilote professionnel) en état de validité, soit avoir suivi une formation HPA.

Le but de la formation HPA est de fournir au candidat une connaissance générale suffisante sur l'utilisation des avions volant à grande vitesse et à haute altitude ainsi que sur les systèmes embarqués. Elle doit être approuvée par l'Autorité. Elle est dispensée par un organisme homologué FTO ou TRTO et est délivrée après succès à un examen écrit sous forme de questionnaire à choix multiple.

Cette formation se fait généralement sur vingt-cinq heures bien qu'aucune durée ne soit réglementairement imposée. La partie Performance Humaine comporte les aspects relatifs aux bases de la physiologie en vol et à l'environnement de haute altitude.

⁽⁵⁾Il n'est pas exigé, pour les avions monomoteurs, que ces 200 heures aient été réalisées comme commandant de bord.

2.4.2 A l'étranger, exemple des Etats-Unis

Aux Etats-Unis, la référence réglementaire applicable en matière de licences et qualifications est la FAR (Federal Aviation Regulation) 61 des CFR (Code of Federal Regulations).

En particulier, la FAR 61.31 :

- fixe les aéronefs pour lesquels une qualification de type est requise ;
- définit une formation additionnelle pour les aéronefs dits « complexes » (train rentrant, volets et hélice à pas variable) (au sol et en vol) ;
- définit une formation additionnelle pour les aéronefs à hautes performances (aéronef équipé d'un moteur dont la puissance dépasse les 200 cv) (au sol et en vol) ;
- définit une formation additionnelle pour les avions pressurisés capables de voler à haute altitude (au-dessus de 25 000 ft AMSL) (au sol et en vol).

Le TBM 700, dont la masse est inférieure à 12 500 lb, ne nécessite pas de qualification de type. Il rentre dans la catégorie des monomoteurs terrestres. Pour chacune des trois qualifications additionnelles précitées, nécessaires au pilotage du TBM 700, aucune durée minimale n'est requise. Elles doivent être délivrées par un instructeur possédant lui-même la qualification souhaitée. Les programmes de formation développés par le constructeur peuvent servir de base aux écoles et utilisateurs.

Le fait que la FAA n'impose pas de règle stricte en matière d'expérience ne signifie pas que la formation des pilotes détenteurs d'une licence américaine soit insuffisante. En effet, la plupart des compagnies d'assurances américaines exigent de leurs adhérents des conditions de formation allant au-delà du minimum requis par la réglementation. Ces conditions sont toutefois limitées aux assurés américains.

2.5 Programme de formation en vue de la délivrance de la qualification de classe TBM

2.5.1 Le constructeur

Des formations en vue de la délivrance de la qualification de classe TBM 700 sont effectuées par les instructeurs de la SOCATA depuis janvier 1990. Le constructeur a homologué un seul autre organisme dédié à sa clientèle de la zone « Amérique du Nord ». Basé à Orlando, cet organisme initialement nommé « Flight Safety » a été rebaptisé « SIMCOM ». Le constructeur inclut deux formations destinées aux pilotes pour chaque livraison d'avion neuf.

Les pilotes ont le choix entre une formation sur le site français du constructeur ou sur celui de SIMCOM. A titre exceptionnel, le constructeur a organisé des formations dans certains pays étrangers sur demande du client et en accord avec les autorités locales.

Depuis 1990, le constructeur requiert d'un candidat à la formation :

- qu'il totalise cinq cents heures de vol comme pilote aux commandes et détienne la qualification de vol aux instruments en état de validité ;
- qu'il détienne un module HPA ou l'ATPL théorique.

A l'issue de la formation et réussite à l'examen en vol, une qualification de classe (licence EASA ou autres sauf FAA) ou une attestation (licence FAA) est délivrée.

Le programme d'entraînement et de renouvellement préconisé par le constructeur est consigné dans le rapport JOEB TBM 700, approuvé par l'EASA.

Depuis 1991, le programme initial a évolué en fonction de l'expérience acquise et des nouveaux systèmes installés. Les formations en vol sont toutes effectuées sur l'avion appartenant au client. Aucun simulateur n'est disponible en Europe.

A l'origine la formation durait trois jours et demi. Un jour et demi était consacré à la formation théorique et deux jours à la formation pratique, au cours de quatre vols d'une durée totale de cinq heures.

Actuellement, la formation dure huit jours. Un module spécifique, lié à l'apprentissage du système intégré Garmin G1000 doit être effectué avant le début de la formation théorique. Les connaissances des stagiaires sont vérifiées au début de formation théorique. La durée des cours au sol a été étendue à quatre jours. La formation pratique dure également quatre jours au cours desquels sept vols sont réalisés, d'une durée totale de huit heures.

2.5.2 Les autres organismes ou écoles

Compte tenu du nombre croissant d'avions en service et des reventes d'occasion, de nombreuses délivrances de qualification de classe sont faites par des organismes ou écoles sans relation avec le constructeur.

C'est ainsi qu'une école de pilotage française homologuée FTO et TRTO propose une formation complète. En plus de la formation théorique supplémentaire HPA, l'instruction des stagiaires se répartit en dix heures de cours théoriques, quatre heures d'explications pratiques et quatre heures de vol. Un certificat est délivré après succès à un examen en vol.

2.6 Remarque sur l'instruction en vol

L'essentiel de l'instruction en vol est effectuée en conditions de vol VFR, l'objectif étant de familiariser les futurs pilotes avec le maniement de l'avion. Les stagiaires sont donc rarement confrontés à des conditions météorologiques dégradées. De plus, l'instruction en vol est généralement dispensée au cours d'un stage continu auquel les pilotes consacrent tout leur temps.

Le constructeur sensibilise ses stagiaires aux procédures normales et d'urgence suivantes :

- vol lent et décrochages ;
- remise des gaz en courte finale (VMC) ;
- utilisation du pilote automatique ;
- panne moteur simulée en vol et après le décollage ;
- perte de puissance (panne de la régulation de carburant) simulée en vol et après le décollage ;
- dépressurisation en vol (simulée à partir du FL280) – procédure complète avec utilisation des masques à oxygène ;
- panne électrique ;
- déroulement intempestif d'un des trims électriques ;
- vol avec perte d'écran pilote (PFD 1) – utilisation en mode dégradé ;
- navigations IFR à hautes altitudes ;
- vol en conditions givrantes réelles ou simulées et utilisation des différents systèmes associés ;
- approches aux instruments en mode dégradé (panne du PFD 1) ;
- approches aux instruments interrompues en modes normal et dégradé (panne du PFD 1), en conditions IMC simulées.

3 - ANALYSE DES SIX PERTES DE CONTRÔLE ÉTUDIÉES

Le premier accident avec perte de contrôle en roulis par la gauche en finale est survenu en France en 1991. Il s'agissait d'une collision avec le sol lors d'une remise de gaz à très basse hauteur de nuit dans le brouillard (F-GLBC du 15 novembre 1991).

Le pilote avait été surpris par le mouvement de roulis vers la gauche induit lors de la remise en puissance du moteur. L'aile gauche avait touché la piste et l'avion s'était disloqué. A la suite de cet accident, le BEA a émis deux recommandations :

- la première concernait la description du brouillard en couche mince ;
- la seconde préconisait que des exercices de remise de gaz en référence instrumentales figurent explicitement dans le programme de formation des pilotes sur TBM 700.

Cinq autres accidents survenus après 1991 présentaient des similarités avec cet événement : perte de contrôle de l'avion en roulis à gauche en finale alors que le pilote augmentait la puissance et que la vitesse était faible.

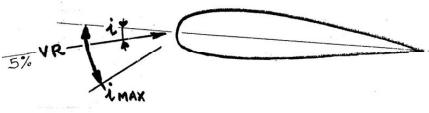
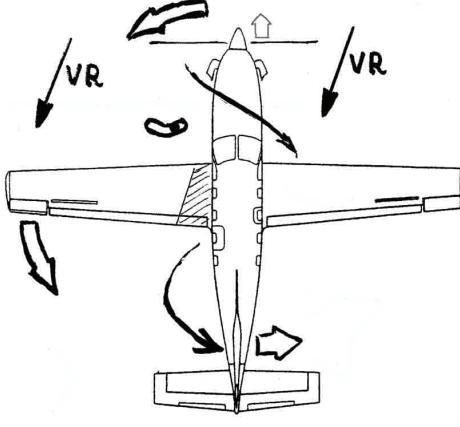
L'analyse qui suit propose des facteurs explicatifs de ces six pertes de contrôle.

3.1 Phénomènes relatifs au vol à faible vitesse

Les explications relatives à la mécanique du vol s'appuient sur des illustrations généralement utilisées pour la formation des pilotes privés. Elles ne constituent pas une analyse approfondie des effets aérodynamiques en jeu.

Les phénomènes décrits caractérisent tous les monomoteurs dont le moteur est situé à l'avant. L'amplitude de certains de ces phénomènes dépend de la masse de l'avion et de la puissance du moteur.

3.1.1 Phénomènes liés à une augmentation de puissance sur un monomoteur

<p>Lorsque l'avion évolue à une vitesse proche de celle recommandée en finale (par exemple $1,3 \times V_{so}$), l'incidence reste sensiblement inférieure à i_{MAX} (figure 1).</p>	 <p>Figure 1 : schéma du profil de l'aile gauche, vers l'extrémité, au droit de l'aileron</p>
<p>Lorsque le pilote agit sur la commande de puissance, l'effet peut être retardé de quelques secondes. Lorsque le moteur délivre effectivement la puissance attendue, l'augmentation du souffle hélicoïdal provoque un mouvement de lacet à gauche. Comme l'incidence est relativement importante, la pale descendante de l'hélice, c'est-à-dire la pale droite, exerce une traction plus importante que la pale montante. Ces deux phénomènes s'ajoutent. Le nez de l'avion part vers la gauche, ce qui induit un dérapage à droite (figure 2).</p>	 <p>Figure 2</p>

La portance de l'aile droite augmente et celle de l'aile gauche diminue. Elle s'enfonce légèrement, ce qui provoque localement une augmentation d'incidence. Simultanément, un accroissement de puissance a pour effet de faire cabrer l'avion, l'incidence augmente encore (figure 3).

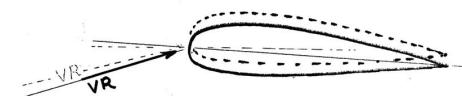


Figure 3

Enfin, l'accroissement de la puissance intensifie le couple de renversement du moteur, ce qui provoque un roulis à gauche (voir section 2.2). L'aile gauche s'enfonce encore et, pendant ce mouvement, l'incidence de cette aile augmente (figure 4).

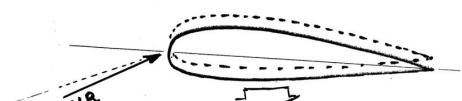


Figure 4

Lorsque l'avion s'incline à gauche, la trajectoire s'incurve vers la gauche. La composante verticale de la portance ne compense plus le poids de l'avion, ce dernier descend en l'absence d'action à cabrer du pilote (figure 5).

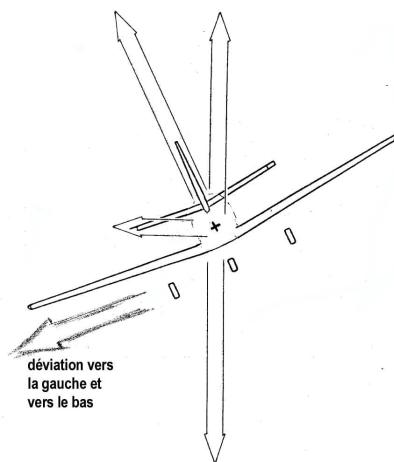


Figure 5

Actions de pilotage

Pour contrer ces mouvements de l'avion, le pilote peut avoir tendance à agir avec le manche en roulis à droite au lieu d'agir principalement sur les palonniers. L'aileron gauche alors braqué vers le bas peut ne pas suffire à contrer le mouvement en roulis de l'avion. En parallèle, l'abaissement du bord de fuite de l'aileron modifie le profil de l'aile et augmente l'incidence de cette partie de l'aile (figure 6). Cette action a pour effet secondaire d'augmenter la traînée de l'aile gauche.

L'augmentation de l'incidence de l'aile gauche peut aller jusqu'à i_{MAX} et se traduire par un décrochage. Le pilote perd alors le contrôle de son avion qui s'incline fortement à gauche avant de toucher le sol.

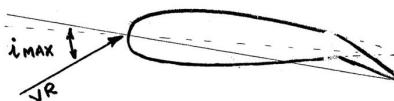


Figure 6

Certains de ces effets peuvent apparaître de manière amplifiée lors d'une interruption de l'approche.

3.1.2 Comparaison de l'effet des gouvernes d'un TBM 700 et d'un TB 20

Le contrôle de l'attitude de l'avion par le pilote dépend de l'efficacité des gouvernes. L'étude a cherché à comparer celle d'un monoturbopropulseur rapide tel que le TBM 700 avec celle d'un monomoteur à piston conventionnel tel que le TB 20. Les vitesses d'approche considérées étaient celles préconisées par le constructeur.

Sur ces deux modèles, les commandes de vol sont liées mécaniquement aux gouvernes. Toutefois, le système de contrôle en roulis du TBM 700 fait appel à une conjugaison des mouvements des ailerons et des atténuateurs de portance. Une comparaison précise des caractéristiques de contrôlabilité à basse vitesse sortirait du cadre de la présente étude.

Cependant, le taux de roulis dépend du moment d'inertie intrinsèque de l'avion, donc de sa masse. La réglementation en tient compte pour imposer que l'efficacité des ailerons soit démontrée. Les valeurs des taux de roulis observées dans le cadre d'essais en vol effectués, sont proches de 20 °/s pour le TBM 700 et 30 °/s pour le TB 20, dans les conditions suivantes :

- variation d'inclinaison de - 30° à + 30°, en utilisant le débattement maximal aux commandes ;
- configuration atterrissage ;
- vitesse d'approche ;
- moteur réduit pour une approche stabilisée.

Cette différence d'efficacité en roulis peut surprendre un pilote principalement expérimenté sur monomoteur à pistons léger, sans pour autant l'inciter à avoir un comportement différent aux commandes.

3.1.3 Comparaison de l'effort aux commandes en roulis entre les TBM 700 B et N

La conception des TBM n'a pas significativement évolué au cours de son développement. Or le nombre de pertes de contrôle en roulis par la gauche lors d'une remise de gaz à faible vitesse est plus élevé sur les variantes A, B et C que sur la variante N. La réponse en roulis de chacune de ces deux variantes a donc été mesurée afin de vérifier si elle était significativement différente.

Les tests en vol ont été réalisés dans les conditions suivantes :

- installation d'essais identique ;
- variation d'inclinaison de - 45° à + 45°, en utilisant le débattement maximal aux commandes ;
- configurations croisière, approche et atterrissage ;
- vitesses 150 kt, 100 kt, 85 kt ;
- moteur réduit ou puissance nécessaire pour tenir le palier.

Les résultats de ces essais ont montré que les efforts à appliquer aux commandes pour contrer la perte de contrôle en roulis étaient identiques sur les versions B et N, malgré une masse différente (efforts compris entre 10 et 14 daN en configuration « atterrissage »).

3.1.4 Conclusion partielle

Il n'a pas été possible de lier les accidents considérés dans l'étude à un manque d'efficacité des ailerons ou aux efforts à produire aux commandes suivant l'axe de roulis sur certaines variantes du TBM 700.

3.2 Désorientations d'origine vestibulaire en vol

Le paragraphe qui suit est extrait d'un mémoire de Diplôme Universitaire du BEA relatif à l'UTILISATION DES DONNEES DES ENREGISTREURS DE VOL POUR LA RECHERCHE DE DESORIENTATIONS SPATIALES DANS LE CADRE DES ENQUETES AU BEA.

La désorientation spatiale représente l'incapacité pour l'être humain de percevoir correctement la position, l'attitude ou le mouvement par rapport à la surface terrestre et à la verticale gravitationnelle. En vol, elle peut prendre différentes formes, selon la phase de vol et la réaction des pilotes face à ce genre de situation. La désorientation spatiale résulte de lacunes d'interprétation et d'intégration des informations, parfois altérées dans certaines conditions, provenant des récepteurs sensoriels (yeux, appareil vestibulaire, récepteurs proprioceptifs principalement) par le système nerveux central qui fournit une perception de la situation. Les réponses à ces perceptions dépendent de la personnalité, de l'état physique et mental et de l'expérience de chaque personne. Elles sont limitées par les caractéristiques des tâches à réaliser par les pilotes ainsi que par l'environnement dans lequel ces tâches doivent être effectuées.

En l'absence de références visuelles extérieures et sans surveillance suffisante des instruments de bord, des illusions perceptives liées à l'appareil vestibulaire peuvent survenir. En fonction des organes fonctionnels de l'appareil vestibulaire qui les génèrent, ces illusions se regroupent en deux grandes classes.

3.2.1 Les illusions somatogyres

Une illusion somatogyre correspond à une sensation erronée de rotation (ou d'absence de rotation) qui provient de la non-perception de l'amplitude ou de la direction d'une rotation par les canaux semi-circulaires de l'oreille interne qui ne sont sensibles qu'aux accélérations. Par conséquent, lorsqu'un pilote s'engage dans une manœuvre incluant des rotations durables avec peu ou pas de variation de vitesse (virage, tonneau, vrille, spirale), il se place dans des conditions favorables à l'apparition de ce type d'illusion. Lors d'une telle manœuvre, les informations données par les canaux semi-circulaires s'estompent progressivement au cours des vingt premières secondes suivant l'arrêt de l'accélération angulaire. A ce moment, seules les données visuelles, celles fournies par le monde extérieur ou par l'instrumentation, permettent au pilote de percevoir la rotation. L'illusion peut persister pendant un temps prolongé et le pilote poursuivant le contrôle de son avion aux instruments, est alors l'objet d'un conflit sensoriel, source de tension et de fatigue.

Illusion somatogyre d'inclinaison due à la sensibilité des canaux semi-circulaires

Une illusion somatogyre peut survenir lorsqu'il y a un décalage entre les vitesses de rotation réelle et perçue du fait des seuils de sensibilité des canaux semi-circulaires. Ce type d'illusion somatogyre peut survenir lors d'un mouvement rapide de roulis suivi d'un retour lent à la position horizontale. Le premier mouvement est perçu et le pilote a la sensation, non erronée, d'être penché. Par contre, le retour progressif à l'horizontale n'est pas perçu et le pilote continue à ressentir la première inclinaison, alors qu'elle n'existe plus. Dans ce cas également, il éprouvera le désir d'incliner l'avion pour faire cesser cette impression.

L'effet de Coriolis

L'illusion de Coriolis survient au cours d'un virage à vitesse constante lorsqu'un pilote exécute un mouvement de la tête dans un plan perpendiculaire au plan de rotation de l'avion. C'est l'une des illusions les plus dangereuses ressenties par les pilotes puisqu'elle intervient de manière soudaine et inattendue, à un moment où l'attention du pilote est focalisée sur une autre tâche. Cette illusion est d'autant plus dangereuse qu'elle peut survenir plus facilement lors des phases de décollage ou d'approche. L'effet d'un simple mouvement de la tête vers l'avant au cours d'un virage à vitesse constante génère une stimulation des canaux semi-circulaires des axes de roulis et de lacet, donnant naissance à une sensation bizarre de changement de vitesse angulaire en roulis et en lacet.

3.2.2 Les illusions somatograviques

A la surface de la terre, l'homme est habitué à vivre dans un champ de pesanteur, toujours constant, qui procure une référence stable de verticalité. Au cours d'un vol, l'organisme est soumis, du fait des mouvements de l'avion, à des forces d'inertie et de pesanteur. Ces forces se décomposent en une résultante gravito-inertielle équivalente à une variation en intensité et/ou direction du vecteur champ de pesanteur terrestre. Ces forces peuvent interférer sur la perception de l'orientation de notre corps par rapport à la verticale gravitationnelle. Ainsi, lorsqu'un avion subit une accélération linéaire ou radiale (ou décélération) pendant plusieurs secondes, le fonctionnement de l'oreille interne ne permet pas de distinguer l'accélération gravitationnelle des autres accélérations. Par exemple, une accélération de l'avion peut donner la même impression qu'une inclinaison arrière, autrement dit, une perception d'aéronef en montée. La référence de verticalité prise en compte par le système nerveux central du pilote n'est plus la force de gravité terrestre mais la force d'inertie gravitationnelle résultante, somme de la force de gravité terrestre et des forces d'inertie. L'illusion somatogravique entraîne donc une mauvaise perception de l'orientation du corps dans l'espace. Dans des phases de remise de gaz ou de décollage dans des conditions de visibilité réduite, lors de l'accélération de l'avion, un pilote peut essayer de contrecarrer sa perception de montée en abaissant le nez de l'appareil jusqu'à ce que le piqué contrebalance l'apparente inclinaison arrière causée par l'accélération, ce qui peut se terminer par un impact avec le sol.

3.2.3 Cas de l'étude

Deux tiers des événements étudiés ont eu lieu en condition de faible visibilité. Les effets associés à l'augmentation de puissance en monomoteur, lors d'une remise des gaz, sont de nature à provoquer l'une ou la combinaison de plusieurs des illusions sensorielles décrites ci-dessus. En l'absence de données de vol enregistrées, il n'est pas possible de déterminer si une ou des actions sur les commandes de vol ont été effectuées par le pilote en réaction à une illusion sensorielle.

3.3 Conditions d'utilisation du TBM 700

On dénombre très peu d'accidents au sein des structures d'exploitation professionnelles.

L'étude s'est donc intéressée aux pertes de contrôle survenues à des pilotes privés ou professionnels utilisant l'avion dans un cadre personnel.

La formation initiale des pilotes privés (club) est moins approfondie que celle des professionnels. La formation continue, incluant notamment des vols de contrôle avec un instructeur, est moins dense. Un navigant professionnel bénéficie généralement d'une formation initiale consistante et de séances régulières de maintien des compétences. Lorsqu'il travaille au sein d'une entreprise commerciale, les normes d'exploitation, telles que les limitations opérationnelles et les critères d'utilisation des avions (pilotage à deux, etc.), constituent des repères mentaux et des outils utiles à la prévention des accidents.

Les utilisateurs privés exploitent leur avion comme un moyen de transport avec les contraintes associées. De par leur fonction sociale, ils disposent souvent de peu de temps pour parfaire leurs compétences.

Leur expérience aéronautique se mesure généralement au nombre d'heures de vol, parfois important, effectuées sur divers types d'avion. En revanche, la réalité de leur expérience sur avions à turbine est difficile à évaluer car une grande partie des vols s'effectuent avec utilisation du pilote automatique. Le nombre d'heures de vol est ainsi peu représentatif du nombre d'interruptions d'approche ou d'atterrissements (sans pilote automatique) en conditions météorologiques marginales.

Lorsqu'un navigant professionnel utilise un avion dans un cadre privé, il ne prend plus nécessairement en compte les mêmes normes d'exploitation.

Les navigants professionnels accidentés détenaient parfois la qualification d'instructeur et accompagnaient un pilote privé. Les enquêtes n'ont pas permis de préciser leur rôle à bord.

3.4 Confrontation à une situation inhabituelle

Les quelques heures d'instruction dispensées lors de la qualification sur monoturbopropulseur rapide comportent des séances de pilotage de base incluant des approches interrompues. Toutefois, l'activité se résume généralement à de longs vols réalisés avec le pilote automatique au cours desquelles les pilotes ne consolident pas ce savoir faire.

En conséquence, confronté à une situation inhabituelle et soudaine, le pilote peut avoir tendance à réagir en fonction de ce qu'il a appris et pratiqué en instruction de base sur avion à pistons. Ainsi, lorsqu'il effectue une augmentation de puissance sur monoturbopropulseur à basse vitesse, il peut être surpris par le retard et l'intensité du couple moteur.

Dans ces conditions, des actions inappropriées sur les commandes pour corriger une trajectoire en finale ou interrompre une approche avec peuvent conduire à une perte de contrôle selon la séquence décrite en 3.1.

Dans les phases d'atterrissement ou d'interruption de l'approche, le contrôle de la trajectoire de l'avion demande une bonne disponibilité physique et mentale de la part du pilote. Un environnement inconnu ou des conditions météorologiques inattendues requièrent une mobilisation supplémentaire de ses ressources mentales et psychomotrices. Sa charge de travail en fin de vol est donc souvent importante. Or, dans un grand nombre d'accidents, les pilotes avaient effectué un vol éprouvant qui lui-même suivait parfois une journée de travail intense. La fatigue induite a probablement dégradé leur niveau de performance et a pu induire des difficultés à

comprendre une situation inhabituelle, à prendre et à exécuter la décision appropriée, à contrôler les paramètres de vol en finale ou à apporter les corrections nécessaires en temps opportun sur les commandes.

Bien que cette situation soit celle de toute fin de vol, elle se manifeste plus nettement lorsqu'un avion rapide est utilisé sur de longues distances dans le cadre d'obligations personnelles. Ce contexte particulier et les conséquences possibles sur la performance du pilote ne sont pas toujours explicitement mentionnés dans les programmes de formation ou de maintien des compétences, notamment pour les navigateurs privés. Le programme de formation HPA n'aborde pas ce point.

4 - CONCLUSION

Depuis la mise en service du TBM 700, le taux annuel d'accidents par heure de vol a été divisé par dix.

Avant 2003, six accidents sont survenus dans des phases d'approche (atterrissement ou interruption de l'approche) au cours desquelles le pilote a perdu le contrôle de son avion en roulis à gauche alors que sa charge de travail était importante.

Pour prévenir de tels accidents, la formation pourrait être approfondie dans divers domaines tels que :

- l'utilisation de l'avion à faible vitesse ;
- la dégradation du niveau de performance du pilote en fin de vol, aussi bien pour les navigateurs privés que pour les professionnels ;
- la sensibilisation du pilote à la gestion de ses ressources personnelles.

Liste des annexes

annexe 1

Liste des 36 accidents de TBM survenus entre 1991 et 2010

annexe 2

Programme HPA et extraits du FCL 1

annexe 1

Liste des 36 accidents de TBM survenus entre 1991 et 2010

- dommages corporels : M pour mort, B pour blessé.
- règles de vol : V pour VFR, I pour IFR, Y pour VFR, mvl pour approche indirecte.
- description succincte : Vw pour vent, arr ; pour arrrière.
- classement : PCA pour perte de contrôle de l'avion à l'arrivée, attitude ou trajectoire, avec départ à gauche (approche, atterrissage, approche interrompue), (pca) pour perte de contrôle à l'arrivée avec présomption d'un départ à gauche.

Date	Immat	Etat d'occurrence	Dommages corporels	Règles de vol	Description succincte	Type d'événement	Licences du pilote	Expérience du pilote	Rapport final
02/08/1991	F-GJTS	France	Aucun	VFR	Décollage, atterrissage dur sur un aéroport. Vent arrière : 5 kt.	Perte de contrôle à l'arrivée	CPL(A)	2 100 h dont 206 sur type	
15/11/1991	F-GLBC	France	2B	IFR	Perte de contrôle en roulis à gauche lors d'une remise de gaz dans une zone de brouillard mince, de nuit. Piste 09, vent 080° / 8 kt.	Perte de contrôle en roulis à gauche	PPL(A)	1 100 h dont 24 dans les 3 mois précédents	
22/08/1992	N339W	Etats-Unis	2B	IFR	Heurt de l'aile gauche avec la piste lors de l'atterrissage.	Perte de contrôle à l'arrivée	Pilote en place gauche : PPL américain Pilote en place droite : CPL américain + qualification d'instructeur	Pilote en place droite : 246 h	http://www.ntsb.gov/aviationquery/01001211X/54558tk&ev=1
10/12/1992	F-GLBD	Royaume-Uni	Aucun	VFR	Perte de contrôle en roulis à gauche lors d'une remise de gaz, au cours d'un vol de démonstration, à l'approche de la nuit. Piste 20, vent 230° / 5 kt.	Perte de contrôle en roulis à gauche	Pilote en place gauche : PPL Pilote en place droite : inconnu	Pilote en place gauche : 100 h	http://www.aaiib.gov.uk/publications/01001211X/54558tk&ev=1
02/04/1993	OE-EDU	Allemagne	6M	VFR	Collision avec le relief par conditions météorologiques défavorables.	Autre	ATPL(A)	inconnu	
07/12/1995	OE-EHG	Allemagne	1B	IFR	Perte de contrôle en courte finale, de nuit, par conditions météorologiques défavorables. Piste 08, vent 100° / 20 kt.	Perte de contrôle à l'arrivée	Pilote en place gauche : PPL(A) Pilote en place droite : CPL(A)	Pilote en place gauche : 255 h Pilote en place droite : 1 900 h dont 400 sur type	http://www.ntsb.gov/aviationquery/01001208X/53898tk&ev=1
29/03/1996	N292RG	Etats-Unis	Aucun	VFR	Atterrissage avec le train rentré.	Autre	CPL américain	1 126 h dont 218 sur type	
26/04/1996	JA8896	Japon	6M	IFR	Collision avec le sol lors d'une approche aux instruments	Autre	inconnu	inconnu	
10/05/1996	N345RD	Danemark	Aucun	IFR	Rétraction du train principal gauche lors de l'atterrissage.	Autre	Licence de pilote privée	1 660 h dont 900 sur type	

13/03/1998	N345RD	Etats-Unis	4B	IFR, MVL	Perte de contrôle lors de l'approche, de nuit. Visibilité 2000 m, plafond 1700 ft.	Perte de contrôle à l'arrivée	CPL américain	2 088 h dont 1 200 sur type, 54 h sur type dans les 3 mois précédents	http://www.ntsb.gov/vaviationquery/bri_ef.aspx?ev_id=2001211X09714&ey=1
04/08/1998	N69BS	Etats-Unis	4M	IFR, MVL	Perte de contrôle lors de l'approche par conditions météorologiques défavorables. Brume et plafond bas.	Perte de contrôle à l'arrivée	PPL américain	3 150 h	http://www.ntsb.gov/vaviationquery/bri_ef.aspx?ev_id=2001211X09911&ey=1
13/03/1999	N700SP	Etats-Unis	Aucun	IFR	Atterrissage avec le train rentré.	Autre	PPL américain	1 680 h dont 207 sur type	http://www.ntsb.gov/vaviationquery/bri_ef.aspx?ev_id=2001205X00383&ey=1
15/12/2000	N45PM	Etats-Unis	Aucun	IFR	Perte de contrôle en roulis à gauche lors d'une remise de gaz, par conditions météorologiques défavorables, de nuit. Visibilité 3000 m, plafond 200 ft, vent calme.	Perte de contrôle en roulis à gauche	PPL américain	1 430 dont 54 sur type, toutes dans les 3 mois précédents	http://www.ntsb.gov/vaviationquery/bri_ef.aspx?ev_id=2001220X45451&ey=1
26/03/2001	N300WC	Etats-Unis	1M	IFR	Perte de contrôle lors de la montée initiale, collision avec le sol.	Autre	PPL américain	1 024 h dont 136 sur type, 37 h sur type dans les 3 mois précédents	http://www.ntsb.gov/vaviationquery/bri_ef.aspx?ev_id=20010328X00660&ey=1
13/05/2002	N700AR	France	Aucun	VFR	Perte de contrôle en roulis à gauche lors d'une remise de gaz, collision avec le sol. Piste 08, vent 130° / 10 kt.	Perte de contrôle en roulis à gauche	Licence de pilote privé	2 100 h dont 35 sur type, 70h dans les 3 mois précédents	
15/02/2003	N700GJ	Etats-Unis	Aucun	IFR	Perte de contrôle en roulis à gauche lors d'une remise de gaz, collision avec le sol, par conditions turbulentes, en instruction.	Perte de contrôle en roulis à gauche	Pilote en place droite : ATPL américain, qualification d'instructeur. Pilote en place gauche : PPL américain	23 592 h dont 445 sur type, 87 sur type dans les 3 mois précédents	http://www.ntsb.gov/vaviationquery/bri_ef.aspx?ev_id=20030221X00244&ey=1
13/02/2003	N700VA	Royaume-Uni	1B	non applicable	Roullement intempestif de l'avion au parking, blessure du pilote au sol.	Autre	ATPL américain	4 437 h dont 75 sur type	http://www.aaiib.gov.uk/publications/documents/august_2003/socata_023413.cfm
01/03/2003	N700PP	Etats-Unis	3M	IFR	Perte de contrôle en finale par conditions météorologiques défavorables, collision avec le sol. Visibilité 1200 m, plafond 300 ft. Piste 17, vent 140° / 5 kt.	Perte de contrôle à l'arrivée	Pilote en place gauche : PPL américain Pilote en place droite : ATPL américain	Pilote en place gauche : 730 h	http://www.ntsb.gov/vaviationquery/bri_ef.aspx?ev_id=20030310X00310&ey=1

24/04/2003	N705QD	Etats-Unis	1M	VFR	Déconnection de la commande de puissance du moteur lors de l'approche, arrêt volontaire du moteur, collision avec le sol avant la piste, incendie.	Autre	ATPL américain	10 000 h dont 408 sur type	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20030429X00591&key=1
24/10/2003	N700VA	Royaume-Uni	Aucun	VFR	Rebond lors de l'atterrissement, remise de gaz, perte de contrôle en roulis par la gauche, collision avec le sol.	Perte de contrôle en roulis à gauche	CPL britannique	3 170 h dont 65 sur type, 41 h dans les 3 mois précédents	http://www.aailb.gov.uk/publications/bulletins/february_2004/tbm_02/213.cfm
06/12/2003	N700QD	Etats-Unis	Aucun	IFR	Givrage de la cellule, atterrissage d'urgence peu après le décollage.	Autre	ATPL américain	6 500 h dont 2 000 sur type, 210 h sur type dans les 3 mois précédents	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20031209X02013&key=1
06/12/2003	N30LT	Royaume-Uni	3M	VFR	Perte de contrôle en finale, collision avec le sol. Piste 01, vent 030° / 16 kt.	Perte de contrôle à l'arrivée	CPL américain	1 573 h dont 500 sur type	http://www.aailb.gov.uk/publications/bulletins/may_2005/socata_tbm_700bn30lt.cfm
27/12/2005	N198X	Etats-Unis	2B	VFR	Difficultés de l'élève à maintenir l'inclinaison nulle, reprise tardive des commandes par l'instructeur, collision de l'aile droite avec la piste	Perte de contrôle à l'arrivée	Pilote en place droite : ATPL américain, qualification d'instructeur.	6 296 h dont 2 921 sur type	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20060120X00108&key=1
07/01/2006	N22WZ	Etats-Unis	Aucun	inconnu	Atterrissage dur.	Autre	inconnu	inconnu	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20060309X00280&key=1
04/02/2006	N755PG	Etats-Unis	Aucun	VFR	Atterrissage dur.	Autre	CPL américain	1 560 h dont 86 sur type	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20060309X00280&key=1
02/02/2007	N944CA	Etats-Unis	3M	IFR	Perte de contrôle lors d'une approche interrompue par conditions météorologiques défavorables, de nuit. Visibilité 1600 m, plafond 200 ft. Piste 05, vent 160° / 4 kt.	Perte de contrôle à l'arrivée	Pilote en place droite : CPL américain, qualification d'instructeur.	Pilote en place droite : 1 700 h Pilote en place gauche : 300 h	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20070222X00169&key=1
04/09/2007	F-GTJM	France	Aucun	inconnu	Signnalisation anomale de la position du train lors du décollage, rétraction du train avant lors de l'atterrissement.	Autre	PPL(A)	1 428 dont 898 sur type	www.bea.aero/doc_spbl/2007_f_im070904/pdf/f_im070904.pdf

27/03/2008	N700GY	Royaume-Uni	Aucun	inconnu	Rétraction du train avant lors de l'atterrissement.	Autre	ATPL(A)	17 400 h dont 150 sur type	http://wwwaaib.gov.uk/publications/bulletins/may_2009_leads_socata_tbm_700c1_n700qv.cfm
03/06/2008	N849MA	Etats-Unis	1M et 2B	IFR	Décollage avec du vent arrière, décrochage, collision avec le sol.	Autre	PPL américain	5 688 h dont 4138 sur type	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20080612X008368&k_ex=1
15/07/2008	N484RJ	Etats-Unis	1M	IFR	Perte de contrôle lors d'une manœuvre en "S" en approche finale, collision avec le sol.	Perte de contrôle à l'arrivée	PPL américain	975 h dont 44 sur type et 4 dans les 24 h précédentes, toutes sur type.	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20080720X10848&k_ex=1
22/12/2008	N70LR	Etats-Unis	Aucun	VFR	Atterrissage avec le train rentré.	Autre	CPL américain	5 510 h dont 525 sur type	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20091052X38008&k_ex=1
29/08/2009	N715V	Etats-Unis	Aucun	VFR	Perte de contrôle en courte finale, atterrissage dur et collision de l'aille droite avec la piste.	Perte de contrôle à l'arrivée	PPL américain	1 233 h dont 458 sur type	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20090831X41405&k_ex=1
13/12/2009	N850MT	Etats-Unis	Aucun	VFR	Perte de contrôle lors d'une remise de gaz de nuit, par conditions météorologiques défavorables, collision avec des arbres.	Perte de contrôle à l'arrivée	PPL américain	1 738 h dont 1 098 sur type et 41 dans les 3 mois précédents	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20091214X94945&k_ex=1
27/01/2010	N850VM	Etats-Unis	Aucun	VFR	Atterrissage avec le train rentré.	Autre	PPL américain	3 079 h dont 50 sur type	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20100204X610418&k_ex=1
01/03/2010	N700ZR	Etats-Unis	1B	VFR	Ecart à gauche lors du roulement à l'atterrissement, remise de gaz sans application de toute la puissance, perte de contrôle en vol, collision avec le sol.	Perte de contrôle à l'arrivée	ATPL américain, qualification d'instructeur	4 215 h dont 1 240 sur type	http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20100302X80100&k_ex=1
23/05/2010	N750AB	Etats-Unis	Aucun	VFR	Perte de puissance en croisière, sortie longitudinale de piste lors de l'atterrissement.	Autre	inconnu	inconnu	Rapport préliminaire : http://www.ntsb.gov/aviationquery/brief.aspx?ev_id=20100524X75523&k_ex=1

annexe 2
Programme HPA et extraits du FCL 1

Extrait de l'arrêté du 29 mars 1999, FCL 1, en vigueur au 31 décembre 2007
(Appendice 1 au FCL 1.251)

FCL 1.215 Qualifications de classe (Avion)

(a) Classification

Les qualifications de classe sont établies pour les avions monopilotes et pour les TMG n'exigeant pas de qualification de type, conformément à la classification suivante :

- 1) une classe pour tous les avions monomoteurs à pistons (terrestres) ;
- 2) une classe pour tous les hydravions monomoteurs à pistons ;
- 3) une classe pour tous les motoplaneurs à dispositif d'envol incorporé (TMG) ;
- 4) une classe pour chaque constructeur d'avions monomoteurs à turbopropulseur (terrestres) ;
- 5) une classe pour chaque constructeur d'hydravions monomoteurs à turbopropulseur ;
- 6) une classe pour tous les avions multimoteurs à pistons (terrestres) ;
- 7) une classe pour tous les hydravions multimoteurs à pistons.

(b) Listes des classes :

Les qualifications de classe d'avion sont délivrées conformément à la liste des qualifications de classe fixée par instruction.

Pour changer de type ou de variante à l'intérieur d'une même qualification de classe, un cours de familiarisation ou une formation aux différences est requis.

[...]

FCL 1.220 Qualifications de type (Avion)

(a) Critères

Pour la détermination d'une qualification de type distincte, pour des avions autres que ceux prévus par le FCL 1.215, les éléments suivants doivent être pris en considération :

- 1) Certificat de navigabilité de type.
- 2) Qualité de vol.
- 3) Équipage minimal de conduite certifié.
- 4) Niveau technologique.

(b) Classification

Une qualification de type d'avion est établie pour :

- 1) chaque type d'avion multipilote ;
- 2) chaque type d'avion monopilote multimoteur à turbopropulseurs ou à turboréacteurs ;
- 3) chaque type d'avion monopilote monomoteur à turboréacteur ;
- 4) chaque type d'avion pour lequel cela est considéré nécessaire.

(c) Listes

Les qualifications de type d'avion sont délivrées conformément à la liste des qualifications de type d'avions fixée par instruction. Pour changer de variante d'avion à l'intérieur d'une même qualification de type, un cours de familiarisation ou une formation aux différences est requis.

FCL 1.221 Avions monopilotes hautes performances

(Modifié par : Arrêté du 27 juillet 2006)

(a) Critères :

Pour la détermination de la classification haute performance (HP) d'une qualification de classe ou de type, les éléments suivants sont pris en compte :

- 1) type de motorisation ;
- 2) équipement et performance des systèmes ;
- 3) pressurisation de la cabine ;
- 4) capacités des systèmes de navigation ;
- 5) performances décollage, atterrissage et en route ;
- 6) maniabilité.

(b) Classifications :

Les avions hautes performances sont répertoriés dans l'instruction fixant la liste des classes et types d'avions, avec l'acronyme HPA.

FCL 1.240 Qualifications de type ou de classe - Conditions

(Modifié par : Arrêté du 30 novembre 2004)

(a) Généralités :

[...]

3) Tout candidat à une qualification de classe pour une classe d'avion doit remplir les conditions définies aux FCL 1.260, 1.261 (a), (b), (c) et 1.262(a) et, le cas échéant, au FCL 1.251 ;

[...]

(fin de l'amendement du : 30 novembre 2004)

[...]

FCL 1.251 Qualifications de classe ou de type d'avions monopilotes hautes performances - Conditions

(Se reporter à l'appendice 1 au FCL 1.251)

(a) Conditions préalables à la formation :

Tout candidat à une première qualification de classe ou de type d'avion monopilote de haute performance (HPA) doit :

- 1) avoir accompli au moins 200 heures de vol ;
- 2) avoir rempli les conditions du FCL 1.255 ou FCL 1.260 ; et
- 3) avoir subi de manière complète et satisfaisante dans un organisme FTO ou TRTO une formation théorique approuvée, conformément à l'appendice 1 au FCL 1.251 ;

ou

avoir satisfait aux exigences des connaissances théoriques ATPL(A) prévues au FCL 1.285 ;

ou

être titulaire :

- d'une licence ATPL(A) ou d'une licence nationale de pilote de ligne avion en état de validité, ou
- d'une licence CPL(A) ou d'une licence nationale de pilote professionnel avion en état de validité, associée à une qualification de vol aux instruments avec le bénéfice des connaissances théoriques de l'ATPL(A) ou du PL(A).

(b) Les pilotes détenant ou ayant détenu une qualification de classe ou de type relevant de la classification HPA sont réputés satisfaire aux conditions du paragraphe (a) (3) ci-dessus.

Appendice 1 au FCL 1.251

Cours de connaissances théoriques supplémentaires pour la délivrance d'une qualification de classe ou de type d'avions monopilotes de haute performance

Formation aux avions de haute performance (HPA)

(1) Le but du cours théorique est de fournir au candidat une connaissance générale suffisante concernant l'utilisation des avions volant à grande vitesse et à haute altitude ainsi que les systèmes avions.

[...]

Programmes de formation

(5) Il n'y a aucune durée minimum ou maximum obligatoire de formation théorique. Cette formation peut être délivrée à distance. Les matières qui doivent être enseignées et faire l'objet d'un examen écrit sont définies dans le tableau suivant. Les objectifs de connaissances sont ceux définis pour l'ATPL(A).

Les matières qui doivent faire l'objet d'un examen sont définies dans le programme suivant. Le contenu de l'examen doit couvrir tous les items se rapportant aux matières, indépendamment de leur pertinence concernant la classe ou le type d'avion spécifique.

[...]

(modifié par : Arrêté du 27 juillet 2006)

RÉFÉRENCE de la matière	CONTENU DU PROGRAMME
021 00 00 01	CELLULE ET SYSTÈMES, ÉLECTRICITÉ, MOTORISATION, ÉQUIPEMENT DE SECOURS - AVIONS.
021 02 02 01 à 021 02 02 03	Généralités – courant alternatif. Générateurs. Distribution de puissance alternative.
021 01 08 03	Pressurisation (moteurs à pistons – systèmes de conditionnement de l'air).
021 01 09 04	Pressurisation (avions à turboréacteur et turbopropulseur – systèmes de conditionnement de l'air).
021 03 01 06 021 03 01 07 021 03 01 08 021 03 01 09	Moteurs à pistons – performances moteur. Système d'augmentation de la puissance (suralimentation/turbo). Carburant. Mélange.
021 03 02 00 à 021 03 04 09	Moteurs à turbines.
021 04 05 00	Équipement en oxygène à bord de l'aéronef.
032 02 00 00	AVIONS MULTIMOTEURS – CLASSE DE PERFORMANCE B.
032 02 01 00 à 032 02 04 01	Performances des avions multimoteurs non certifiés selon les conditions du CS-25.
040 02 00 00	PERFORMANCE HUMAINE.
040 02 01 00 à 040 02 01 03	Bases de la physiologie en vol et Environnement de haute altitude.
050 00 00 00	MÉTÉOROLOGIE – VENTS ET PHÉNOMÈNES DANGEREUX EN VOL.
050 02 07 00 à 050 02 08 01	Courants-jets. Turbulences en ciel clair. Ondes stationnaires.
050 09 01 00 à 050 09 04 05	Phénomènes dangereux en vol. Givrage et turbulences. Orages.
062 02 00 00	PRINCIPES ÉLÉMENTAIRES DU RADAR.
062 02 01 00 à 062 02 05 00	Les principes élémentaires du radar. Radar météo de bord. Radar de surveillance secondaire.
081 00 00 00	AVIONS – PRINCIPES DE VOL.
081 02 01 00 à 081 02 03 02	Aérodynamique transsonique. Nombre de Mach/ondes de choc. Marge de buffeting/plafond de sustentation.

(fin de l'amendement du : 27 juillet 2006)

FCL 1.261 Qualification de type et de classe - Formation théorique et en vol

[...]

(a) Formation théorique et contrôle de connaissances

1) Tout candidat à une qualification de classe ou de type d'avions monomoteur ou multimoteur doit avoir suivi l'instruction théorique requise (se reporter à l'appendice 1 FCL 1.261(a)) et démontrer le niveau de connaissance requis pour piloter en toute sécurité le type d'avion considéré.

[...]

(b) Formation en vol

1) Tout candidat à une qualification de classe ou de type d'avions monopilote monomoteurs et multimoteurs doit avoir suivi de manière complète et satisfaisante un programme de formation au vol correspondant à l'épreuve pratique d'aptitude, en vue de la délivrance de ladite qualification de classe ou de type.

[...]

(c) Modalités d'exécution des programmes de formation

1) Les formations définies en vue des objectifs mentionnés ci-dessus doivent être dispensées par un FTO ou un TRTO. Lorsque ces formations ne peuvent être dispensées par un FTO ou un TRTO, elles peuvent, sur accord de l'Autorité, être dispensées dans un établissement, en sous-traitance ou non, relevant d'un exploitant ou d'un constructeur ou, dans des circonstances spéciales, par un instructeur autorisé agissant à titre individuel.

2) Ces formations doivent être approuvées par l'Autorité et ces établissements doivent être conformes aux conditions pertinentes de l'appendice 2 au FCL 1.055, ainsi que déterminées par l'Autorité. (se reporter à l'appendice 1 au FCL 1.261 (c) (2))

3) Nonobstant les paragraphes (c)(1) et (2) ci-dessus, la formation en vue de la délivrance des qualifications de classe avions monomoteur ou de classe TMG peut être dispensée par un FI ou par un CRI.

[...]

BEA

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

200 rue de Paris
Zone Sud - Bâtiment 153
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

