



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Büro für Flugunfalluntersuchungen BFU
Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation BEAA
Ufficio d'inchiesta sugli infortuni aeronautici UIIA
Uffizi d'inquisiziun per accidents d'aviatica UIAA
Aircraft accident investigation bureau AAIB

Rapport final no. 2011 du Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation

concernant l'accident
de l'avion Piper PA-28-181, HB-PHB
survenu le 4 octobre 2005
dans le Haut-Atlas,
à 32 NM au sud-est de Marrakech,
Royaume du Maroc

Ursachen

Der Unfall ist auf eine Kollision mit dem Gelände zurückzuführen, weil die Besatzung in einem engen Tal eine Flughöhe wählte, die bei den herrschenden Wetterbedingungen weder eine Umkehrkurve noch ein sicheres Überqueren des niedrigsten Bergkammes erlaubte.

Die folgenden Faktoren haben die Entstehung des Unfalles möglicherweise begünstigt:

- Die Besatzung war mit den Eigenheiten des Hohen Atlas nicht vertraut.
- Die Leistungsfähigkeit des Flugzeuges war durch hohe Masse und grosse Dichtehöhe eingeschränkt.
- Die Beurteilung des Flugweges gegenüber dem Gelände war durch die tiefstehende Sonne erschwert.

Remarques générales sur le présent rapport

Le présent rapport exprime les conclusions du BEAA sur les circonstances et les causes de cet accident.

Conformément à l'art. 3.1 de la 9^{ème} édition, applicable dès le 1^{er} novembre 2001, de l'annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale du 7 avril 1944 (OACI, Annexe 13) et à l'article 24 de la loi fédérale sur l'aviation, l'enquête sur un accident ou un incident grave a pour seul objectif la prévention de futurs accidents ou incidents. L'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances d'un accident ou d'un grave incident. Le présent rapport ne vise donc nullement à établir les responsabilités ni à élucider des questions de responsabilité civile.

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

La version de référence de ce rapport est rédigée en langue allemande.

Sauf indication contraire, toutes les heures indiquées dans ce rapport le sont en heure universelle coordonnée (*co-ordinated universal time* – UTC). Au moment de l'accident, l'heure normale pour le Royaume du Maroc (*local time* – LT) correspondait à heure universelle coordonnée.

Pour des questions de protection des données et de simplification du texte, ce rapport est exclusivement rédigé au masculin générique.

Index

Synopsis	6
Sommaire	6
Enquête	6
1 Renseignements de base	7
1.1 Déroulement du vol	7
1.1.1 Introduction.....	7
1.1.2 Préambule	7
1.1.3 Vol de l'accident	9
1.2 Tués et blessés	10
1.3 Dommages à l'aéronef	10
1.4 Autres dommages	10
1.5 Renseignements sur le personnel	11
1.5.1 Siège avant droit – instructeur de vol	11
1.5.2 Siège avant gauche – Pilote A	12
1.5.3 Passagers	12
1.6 Renseignements sur l'aéronef	13
1.7 Conditions météorologiques	14
1.7.1 Généralités	14
1.7.2 Situation générale	15
1.7.3 Conditions météorologiques locales au moment de l'accident	15
1.7.4 Azimut du soleil.....	16
1.8 Aides à la navigation	16
1.9 Télécommunications	17
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	17
1.11 Enregistreurs de bord	17
1.12 Renseignements sur l'épave, l'impact et le lieu d'accident	17
1.12.1 Epave	17
1.12.2 Impact.....	18
1.12.3 Lieu de l'accident	18
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	19
1.14 Incendie	19
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	19
1.15.1 Généralités.....	19
1.15.2 Balise de détresse.....	19
1.15.3 Alerte et sauvetage.....	19
1.16 Essais et recherches	19
1.16.1 Examen du moteur	19
1.16.2 Examen des instruments	20
1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion	20
1.17.1 Groupe de vol à moteur Pro Altenrhein	20
1.17.2 Ecole de vol à moteur Granges	20

1.18 Renseignements supplémentaires	21
1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces.....	21
1.19.1 Vol de reconstitution	21
2 Analyse.....	22
2.1 Aspects techniques.....	22
2.2 Aspects opérationnels et humains	22
3 Conclusions.....	24
3.1 Faits établis	24
3.1.1 Aspects techniques.....	24
3.1.2 Equipage	24
3.1.3 Déroulement du vol.....	24
3.1.4 Conditions générales	24
3.2 Causes.....	25

Rapport final

Propriétaire	Fluggruppe pro Altenrhein, CH-9423 Altenrhein
Exploitant	Fluggruppe pro Altenrhein, CH-9423 Altenrhein
Type d'aéronef	Piper PA-28-181
Pays d'immatriculation	Suisse
Immatriculation	HB-PHB
Lieu de l'accident	Haut-Atlas, 32 NM au sud-est de Marrakech, Maroc
Date et heure	4 octobre 2005, vers 07:10 UTC

Synopsis

Sommaire

Le 4 octobre 2005 à 06:44 UTC, l'équipage de l'avion Piper PA-28-181, immatriculé HB-PHB, décolle de l'aéroport de Marrakech au Maroc pour un vol à vue à destination d'Ouarzazate. L'équipage est constitué d'un pilote accompagné d'un instructeur de vol. Deux autres pilotes sont assis sur la banquette arrière. Le HB-PHB suit un itinéraire correspondant quasiment à une ligne droite reliant Marrakech à Ouarzazate. Marrakech est située au nord de la chaîne de l'Atlas alors qu'Ouarzazate est au sud.

Vers 07:08 UTC, l'appareil s'engage dans une vallée remontant en direction de l'est et située au sud d'Azgour et, peu après, entre en collision avec le versant nord de la vallée.

Les occupants de l'avion sont tous mortellement blessés et l'avion est détruit.

Enquête

L'accident a eu lieu le 4 octobre 2005 vers 07:10 UTC. Le Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation (BEAA) en a été informé le jour même vers 10:00 UTC.

A la demande des autorités marocaines, deux enquêteurs suisses du Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation (BEAA) se sont déplacés sur les lieux de l'accident le 17 octobre 2005 et ont examiné l'épave. D'entente avec les autorités marocaines, le Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation a poursuivi l'enquête et rédigé le présent rapport.

L'accident est dû à une collision avec le terrain car, dans une vallée étroite, l'équipage a choisi une altitude de vol qui, en raison des conditions météorologiques qui régnaient, ne permettait ni d'effectuer un demi-tour, ni de passer la crête la moins élevée en toute sécurité.

Facteurs susceptibles d'avoir joué un rôle dans l'accident:

- L'équipage n'était pas familier avec les particularités du Haut-Atlas.
- Les performances de l'avion étaient limitées en raison de la masse et de l'altitude-densité élevées.
- Le soleil, qui était assez bas, rendait difficile l'évaluation du chemin de vol par rapport au terrain.

1 Renseignements de base

1.1 Déroulement du vol

1.1.1 Introduction

La description des faits qui ont précédé le vol de l'accident ainsi que du déroulement du vol se base sur des photos prises par les occupants de l'avion, les informations fournies par des témoins, ainsi que les données obtenues lors des vols de reconstitution.

Le vol s'est déroulé selon les règles de vol à vue.

1.1.2 Préambule

Le groupe de vol à moteur Pro Altenrhein stationne chaque année un avion durant le semestre d'hiver sur la Grande Canarie (E), à El Berriel, afin de bénéficier pour la formation de conditions météorologiques plus clémentes que celles régnant en Suisse à cette saison. C'est pourquoi, l'avion Piper PA-28-181, immatriculé HB-PHB, doit être acheminé de St.Gallen-Altenrhein à El Berriel. Cette mission est confiée à un instructeur de vol qui prépare le vol et propose à plusieurs pilotes d'en effectuer une partie. Par la même occasion, l'instructeur de vol propose de seconder ces pilotes et de les former au besoin.

Le 19 septembre 2005, le HB-PHB décolle de St.Gallen-Altenrhein et, avec différents pilotes aux commandes, rejoint le Maroc par la France et l'Espagne. Les pilotes se relaient pour effectuer les différentes étapes. L'instructeur de vol reste à bord durant tout le vol comme accompagnateur et formateur.

Le 1^{er} octobre 2005 à 13:15 UTC, l'avion atteint finalement l'aérodrome de Marrakech. Le pilote A assis sur le siège avant gauche est aux commandes, l'instructeur occupe le siège avant droit et le pilote B est passager sur la banquette arrière. Peu après l'atterrissage, l'avion est avitaillé de 57 l d'AVGAS 100 LL, si bien que les réservoirs sont remplis jusqu'aux alentours du *filler neck*. Cela correspond à une quantité de carburant d'environ 34 USG, soit d'environ 128 l.

Le 2 octobre 2005, les pilotes A et B ne volent pas, profitant de cette journée pour visiter Marrakech. En revanche, l'instructeur de vol entreprend un long circuit aérien avec les pilotes C et D qui deviennent l'équipage de l'avion depuis Marrakech.

A 06:35 UTC, le HB-PHB, avec le pilote C aux commandes et secondé par l'instructeur de vol décolle pour un vol à destination d'Ouarzazate. Depuis la banquette arrière, le pilote D prend de nombreuses photos du paysage tout au long du vol. Comme il a été possible de le reconstituer par la suite, l'itinéraire part de Marrakech en direction du sud-est au-dessus de la localité d'Had-Abdallah-Rhiate, à quelque 10 NM au sud d'Aït-Ourir. Puis, un cap est-sud-est permet d'atteindre finalement la vallée 'Oued Zate. Cette vallée remonte de Aït-Ourir par Arba Talast presque directement en direction du sud. L'avion HB-PHB suit cette vallée jusqu'à la localité d'Azgour en direction du sud. Comme on a pu le reconstituer par la suite, l'appareil vole à une altitude d'environ 9000 ft AMSL dans une vallée qui par la suite s'oriente vers l'est. Le côté sud de la vallée est limité par le flanc d'une montagne dont le point le plus bas se trouve à environ 8600 ft AMSL. Cette crête est survolée vers la fin de la vallée en virant légèrement vers la droite, alors que l'altitude de vol est toujours d'environ 9000 ft AMSL. Selon les observations rapportées par le pilote C, on n'y sent ni vent ni turbulence.

Les photos prises par le pilote D montrent de bonnes conditions de visibilité et un ciel presque sans nuages (cf. illustration 1).



Illustration 1: Région au sud d'Azgour, en direction du sud, photo prise le 2 octobre 2005 à bord du HB-PHB à une altitude d'environ 9000 ft AMSL.

A 07:17 UTC, le HB-PHB atterri à Ouarzazate et est avitaillé avec 83 l de carburant. Une heure plus tard, l'avion décolle en direction de Zagora avec le pilote D aux commandes et le pilote C comme passager. L'instructeur de vol accompagne le pilote depuis le siège avant droit comme c'est le cas habituellement.

A Zagora, le pilote C s'installe sur le siège avant gauche et pilote l'appareil le long de l'Anti-Atlas, passant près d'Agadir et le long de la côte en direction du Nord jusqu'à Essaouira. Après une durée de vol de 3:05 h, il avitaille entre 38 et 50 l de carburant AVGAS 100 LL. La quantité exacte de carburant qui est versée dans le réservoir ne peut pas être déterminée car, selon les dires du personnel d'avitaillement, la pompe à essence manuelle d'Essaouira n'est pas étalonnée.

Puis, le pilote C ramène l'aéronef à Marrakech. Aucun carburant n'y est rajouté, car le vol suivant doit s'effectuer avec quatre personnes à bord de l'avion. Si l'on se réfère aux valeurs de consommation correspondant aux vols précédents, il doit à ce moment-là encore y avoir entre 60 et 75 l de carburant dans les réservoirs du HB-PHB.

Le 3 octobre 2005 est un jour de repos pour l'instructeur de vol et tous les pilotes. Comme le pilote C a terminé son entraînement, il prend congé de ses collègues le soir du 3 octobre 2005 et poursuit sa route par voie terrestre.

Le prochain vol à partir de Marrakech est initialement planifié avec l'instructeur et les pilotes A et B. Le pilote D souhaite parcourir le Maroc par la route pendant quelques jours pour ensuite rejoindre le groupe avant le vol sur l'océan atlantique à destination de Cran Canaria. Il prévoit de remplacer le pilote B qui souhaite également passer quelques jours au Maroc. Comme le planning de voyage du pilote D se révèle être trop serré, le groupe décide d'emmener le pilote D jusqu'à Ouarzazate d'où il pourra poursuivre son voyage par la route.

1.1.3 Vol de l'accident

Le matin du 4 octobre 2005, avant le lever du jour, l'instructeur de vol se rend en compagnie des pilotes A, B et D à l'aéroport de Marrakech. Un plan de vol est déposé et le HB-PHB quitte sa place sur le tarmac à 06:40 UTC pour un vol à destination de Ouarzazate. Le pilote A est assis sur le siège avant gauche et pilote l'appareil. L'instructeur de vol est assis sur le siège avant droit, le pilote B à l'arrière côté droit et le pilote D à l'arrière côté gauche. 40 kg de bagages sont également embarqués.

A 06:44 UTC, l'appareil décolle de l'aéroport de Marrakech en direction du sud-est. Vers 06:50 UTC, l'équipage quitte la fréquence de la tour de contrôle. Des prises de vue aériennes photographiées depuis l'appareil démontrent que le HB-PHB emprunte la même trajectoire que le 2 octobre 2005, suivant plus ou moins une ligne droite entre Marrakech et Ouarzazate.



Illustration 2: A gauche, une vue aérienne prise le 2 octobre 2005 au sud de Azgour à 06:57 UTC à bord du HB-PHB. A droite, une photo prise depuis le HB-PHB, le 4 octobre 2005 à 07:08 UTC, avec à peu près la même position géographique et la même direction.

A 07:08 UTC, l'instructeur de vol prend une photo qui montre que l'aéronef s'apprête à entrer, à une altitude inférieure à celle du 2 octobre 2005, dans la vallée qui remonte en direction de l'est, au sud d'Azgour.

Peu après, l'appareil heurte, à une altitude de 8500 ft AMSL le versant nord de la vallée. Les occupants sont mortellement blessés. L'avion est détruit.

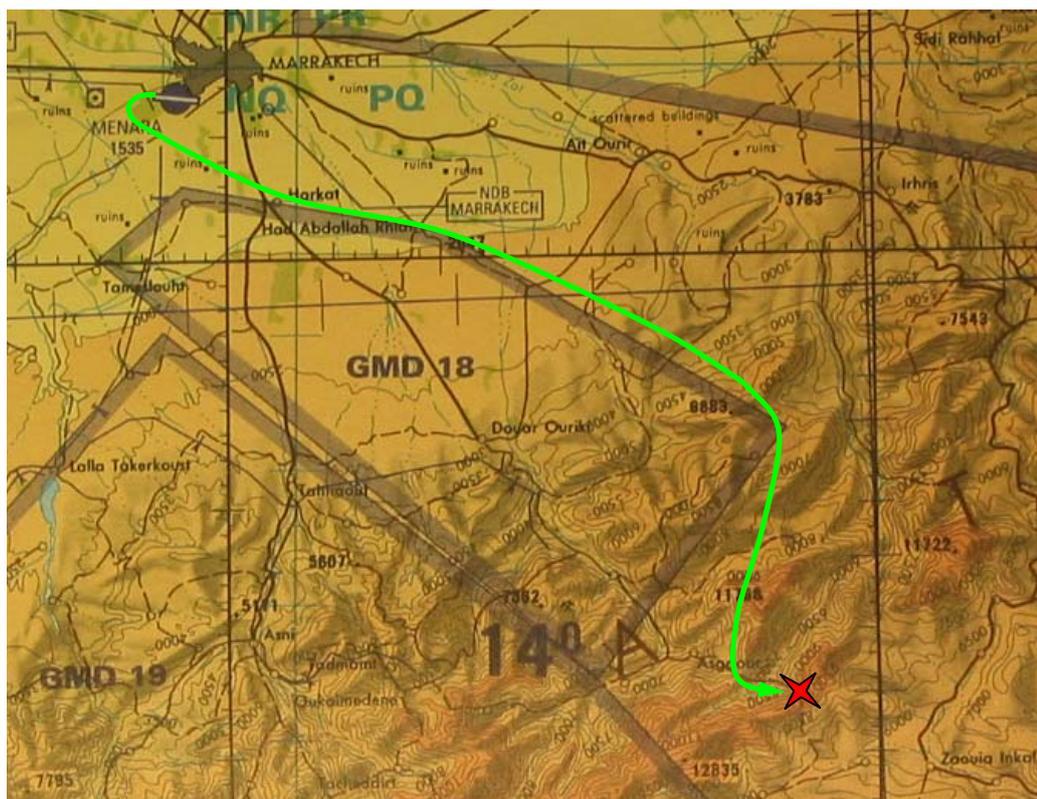


Illustration 3: Reconstitution de la trajectoire de vol du HB-PHB le 4 octobre 2005.

1.2 Tués et blessés

Blessures	Membres d'équipage	Passagers	Nombre total de personnes à bord	Tiers
Mortelles	2	2	4	---
Graves	---	---	---	---
Légères	---	---	---	---
Aucune	---	---	---	---
Total	2	2	4	---

1.3 Dommages à l'aéronef

L'avion a été détruit lors de l'accident.

1.4 Autres dommages

Aucun autre dommage n'a été occasionné.

1.5 Renseignements sur le personnel

1.5.1 Siège avant droit – instructeur de vol

Données personnelles	Citoyen suisse, année de naissance 1980
Licence	Licence de pilote professionnel avion (<i>commercial pilot licence aeroplane – CPL(A)</i>) selon <i>joint aviation requirements</i> (JAR), délivrée la première fois par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) le 06.05.2003, valable jusqu'au 06.06.2010. Examen théorique de pilote de ligne réussi, <i>frozen ATPL(A) (air transport pilot licence (aeroplane))</i>
Qualifications valables	Qualification de classe pour avions multimoteurs à piston (<i>multi engine piston – MEP</i>), valable jusqu'au 24.06.2006 Qualification de classe pour avions monomoteurs à piston (<i>single engine piston – SEP</i>) valable jusqu'au 13.6.2007 Instructeur de vol (<i>flight instructor aeroplane – FI(A)</i>), valable jusqu'au 27.05.2007 Radiotéléphonie internationale pour vol à vue et aux instruments RTI (VFR/IFR) Vol de nuit NIT
Qualification de vol aux instruments	Vol aux instruments (<i>instrument rating aeroplane - IR(A)</i>), catégorie I, prorogée la dernière fois le 09.05.2005, valable jusqu'au 24.06.2006.
Certificat médical	Classe 1, sans restriction, valable jusqu'au 22.11.2005
Dernier examen médical	05.11.2004
Début de la formation aéronautique	1997

1.5.1.1 Expérience de vol

Total	1361:13 h
Sur le type en cause	environ 300 h
Au cours des 90 derniers jours	224:09 h
Sur le type en cause	64:35 h
Sur avions à moteur	1361:13 h
En tant que commandant	1293:59 h
En tant qu'instructeur de vol	813:53 h

1.5.2	Siège avant gauche – Pilote A	
	Données personnelles	Citoyen suisse, année de naissance 1983
	Licence	Licence de pilote privé avion (<i>private pilot licence aeroplane</i> – PPL(A)) selon <i>joint aviation requirements</i> (JAR), délivrée la première fois par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) le 23.08.2004, valable jusqu'au 26.08.2009 Licence d'élève pour le vol à voile (glider trainee) délivré la première fois par l'OFAC le 27.12.2000, valable jusqu'au 03.08.2006.
	Qualifications valables	Qualification de classe pour avions monomoteurs à piston (<i>single engine piston</i> – SEP) valable jusqu'au 23.08.2006 Radiotéléphonie internationale pour vol à vue et aux instruments RTI (VFR/IFR)
	Certificat médical	Classe 2, sans restriction valable jusqu'au 18.12.2005
	Dernier examen médical	18.12.2000
	Début de la formation aéronautique	2000
1.5.2.1	Expérience de vol	
	Total	79:46 h
	Sur le type en cause	environ 50 h
	Au cours des 90 derniers jours	4:35 h
	Sur le type en cause	4:35 h
	Sur avions à moteur	68:25 h
	Sur planeurs	11:21 h
	En tant que commandant	26:33 h
1.5.3	Passagers	
	Siège arrière droit – Pilote B	Citoyen suisse, année de naissance 1982 Titulaire d'une licence de pilote privé avion (PPL(A)) selon les JAR, délivré par l'OFAC le 23.10.2001, valable jusqu'au 26.08.2010
	Siège arrière gauche – Pilote D	Citoyen suisse, année de naissance 1983 Titulaire d'une licence de pilote privé avion (PPL(A)) selon JAR, délivré par l'OFAC le 26.03.2004, valable jusqu'au 01.02.2010

1.6 Renseignements sur l'aéronef

Immatriculation	HB-PHB
Type d'aéronef	Piper PA-28-181
Caractéristiques	Monomoteur de construction métallique, quadriplace, à aile basse, avec train d'atterrissage fixe à roue de pouce
Constructeur	Piper Aircraft Inc. USA
Année de construction	1981
Numéro de série	28-8190208
Propriétaire	Fluggruppe pro Altenrhein, 9423 Altenrhein
Exploitant	Fluggruppe pro Altenrhein, 9423 Altenrhein
Moteur	Constructeur: Textron Lycoming Div., USA Modèle: O-360-A4M, à pistons, 4 cylindres opposés (type Boxer), refroidissement à air Puissance: 180 CV Numéro de série: RL-31841-36A <i>Rebuilt:</i> 1988 Il ressort des documents de maintenance que le flotteur installé sur le carburateur <i>Marvel Schebler/Precision Airmotive</i> du moteur était métallique.
Hélice	Constructeur: Sensenich Propeller Manufacturing Co. Modèle: 76EM8S5-0-62, bipale à pas fixe Numéro de série: 35780K Année de construction: 2002
Equipement	VHF-COM/NAV King KX 175B VHF-COM King KY 92-01 Navigation VHF King KMA-20 Glide Slope King KN-75 Navigation Sat GPS Skyforce SKYMAP IIIC DME King KN-64 Transpondeur King KT-76A
Heures d'exploitation de la cellule	Nombre d'heures totales: 5605:16 h
Heures d'exploitation du moteur	Nombre d'heures totales: 3482:25 h, depuis la révision générale du moteur: 1460:26 h effectuée par Heliswiss le 03.02.1999.
Heures d'exploitation de l'hélice	Nombre d'heures totales: 821:25 h depuis installation à l'état de neuf, le 18.09.02.

Masse maximale au décollage	1157 kg (2550 lb)
Masse et centrage	Compte tenu du poids réel des passagers, de leurs bagages ainsi que de celui du contenu calculé des réservoirs, la masse du HB-PHB se situait au moment de l'accident entre 1110 kg et 1120 kg. Le centre de gravité se trouvait dans les limites prescrites.
Entretien	<p>Le dernier contrôle 50 h a été effectué le 19.09.2005 par Altenrhein Aviation Ltd, avec 5578:56 h <i>time since new</i> (TSN), soit 26:20 h avant l'accident.</p> <p>Un contrôle 1000 h a été effectué le 23.06.2005, avec 5526:46 h TSN, soit 79 h avant l'accident.</p>
Dernier examen périodique	Le dernier examen de l'OFAC a été effectué le 14.04.2005, avec 5474:14 h TSN.
Qualité du carburant	Essence aviation AVGAS 100LL
Quantité de carburant	<p>Le HB-PHB était équipé de deux réservoirs contenant chacun 24 USG de carburant utilisable, ce qui correspond à une capacité totale utilisable de 182 l.</p> <p>Au moment de l'accident, entre 43 et 58 l de carburant se trouvaient dans les réservoirs de l'appareil, ce qui correspond à une consommation de 40l/h et à un temps de vol situé entre 1h04 et 1h27.</p>
Certificat d'immatriculation	Etabli par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) le 09.08.2002.
Certificat de navigabilité	Etabli par l'OFAC le 08.09.1995, valable jusqu'à révocation.
Champ d'utilisation	<p>Catégorie standard, sous-catégorie: Normal</p> <p>Exploitation non commerciale: VFR de jour et de nuit</p> <p>Exploitation commerciale: VFR de jour</p>

1.7 Conditions météorologiques

1.7.1 Généralités

La reconstitution des conditions météorologiques était difficile parce que le lieu de l'accident se trouve dans une zone pour laquelle aucune donnée précise n'était disponible. Comme les observations météorologiques disponibles ne permettaient qu'un aperçu partiel de la situation générale et des particularités régionales, il a fallu recourir à une modélisation pour procéder à l'analyse.

1.7.2 Situation générale

Le 4 octobre 2005, le Maroc se trouvait en bordure d'une large dépression thermique centrée sur le sud de la Mauritanie et du Mali. Cette dépression occasionnait au Maroc des vents d'est à sud-est. Le long de la chaîne de l'Atlas, une crête caractéristique s'est formée dans le champ de pression et d'altitude géopotentielle. De plus, cette crête barométrique côté vent était soutenue par un anticyclone situé sur la moitié nord du Maroc. Un creux plat se situait le long de la côte atlantique marocaine. La large répartition de la pression engendre en automne des situations typiques de "leste" caractérisées par de l'air chaud et poussiéreux soufflant depuis le continent africain vers les Canaries. Le 4 octobre 2005, un courant anticyclonique venu des Açores a atténué l'effet à distance du leste. Les trajectoires qui revenaient d'Agadir et les vents à 850 hPa montrent néanmoins clairement qu'une situation de leste régnait sur le sud marocain, engendrant à Agadir vers 15 UTC une température de 36 °C. En raison de l'effet de frottement sur le relief, l'intensité des vents d'est dans le Haut-Atlas calculée au moyen de la modélisation est plus faible. Le flux le long du courant sud du haut-Atlas présente en outre la structure d'un courant de barrière dénommé *barrier jets*, ce qui engendre également un blocage de l'air à l'est de l'Atlas.

Le leste est semblable aux vents de Santa Ana qui soufflent sur les côtes californiennes à hauteur de Los Angeles et San Diego. Ces vents descendants turbulents et le *gapflow* sont dus à la pression atmosphérique élevée sur le désert des Mojaves. Le 4 octobre 2005 régnaient des conditions semblables le long de la chaîne montagneuse du Haut Atlas. L'analogie est fondamentale pour pouvoir évaluer la situation locale et régionale des vents. Ceci n'est toutefois possible qu'au moyen d'interpolations étant donné que la résolution spatiale des modélisations disponibles est trop grossière pour pouvoir représenter correctement les conditions locales.

La veille et durant la nuit du 3 au 4 octobre 2005, le temps était orageux et le ciel changeant avec des passages nuageux. Il faut admettre que le régime nocturne des vents de montagne n'avait pas ou que partiellement évolué, étant donné que les nuages ont atténué le rayonnement des longues ondes. La présence de ces nuages est confirmée par les observations des stations de Marrakech et de Ouarzazate, par des données résultant d'analyses effectuées par le *global forecast system model* du service météorologique américain et par des photographies prises lors du vol de l'accident.

La crête exposée de pression au sol et le champ géopotentiel ainsi que les vents montrent clairement qu'il y avait le long du Haut-Atlas des vents en provenance du sud. Il n'a pu être déterminé à quelle vitesse ces vents soufflaient et dans quelle mesure l'air gagnait de la vitesse en s'engouffrant dans les goulets topographiques.

1.7.3 Conditions météorologiques sur le lieu et à l'heure de l'accident

A l'est du Haut Atlas régnait une pression atmosphérique plus élevée que sur la côte atlantique et à Marrakech. Les surfaces isobares de 1000, 925 et 850 hPa confirment cette différence de pression. Il faut dès lors admettre qu'au passage des cols, le vent soufflait d'est à sud-est. La vitesse maximale du vent n'apparaissait pas dans le relief, mais en aval, c'est-à-dire en descendant dans la direction de Marrakech. Le radiosondage de Béchar du 4 octobre à 00 UTC ainsi que les prévisions de nuages des stations d'observation synoptiques de Marrakech et de

Ouarzazate indiquent que la couche de l'atmosphère ne présentait qu'une faible stabilité ce qui a favorisé l'apparition de vents descendants. L'évolution des températures à Béchar montrait une faible inversion à 3000 et une autre à 4000 m AMSL. Cela signifie que le vent d'est est apparu sous la forme d'un *hybrid gap flow*. D'une part, il soufflait en raison du phénomène d'étranglement dans le relief montagneux, d'autre part il est apparu sous forme de foehn le long des crêtes. Les trajectoires calculées confirment cette évaluation. Il en résulte que l'équipage du HB-PHB a très probablement commencé de ressentir des courants descendants canalisés le long de l'axe de la vallée ainsi que des vents descendants plus étendus. La force de ces vents descendants n'a pas pu être établie.

Le courant d'air chaud venant du Sahara a entraîné un écart positif par rapport à l'ISA. A 850 hPa (1560 m AMSL) cet écart était de 15 °C, à 770 hPa (2400 m AMSL) il n'était plus que de 12,5 °C. Cela correspond à une majoration de l'altitude-densité de 1800, respectivement de 1500 ft.

1.7.4 Position du soleil

Au moment de l'accident, le soleil se situait à 8.6° au-dessus de l'horizon astronomique et son azimut était de 100.5°.

1.8 Aides à la navigation

L'office national des aéroports du ministère marocain des transports publie une carte de navigation pour le vol à vue (*carte de cheminement VFR*) sur laquelle est marqué un itinéraire recommandé entre Marrakech et Ouarzazate. Cet itinéraire part de Marrakech en passant par Aït-Ouirir, Taddert, le col de Tizi-n-Tichka et Amerzgane pour rejoindre Ouarzazate (voir illustration 4).

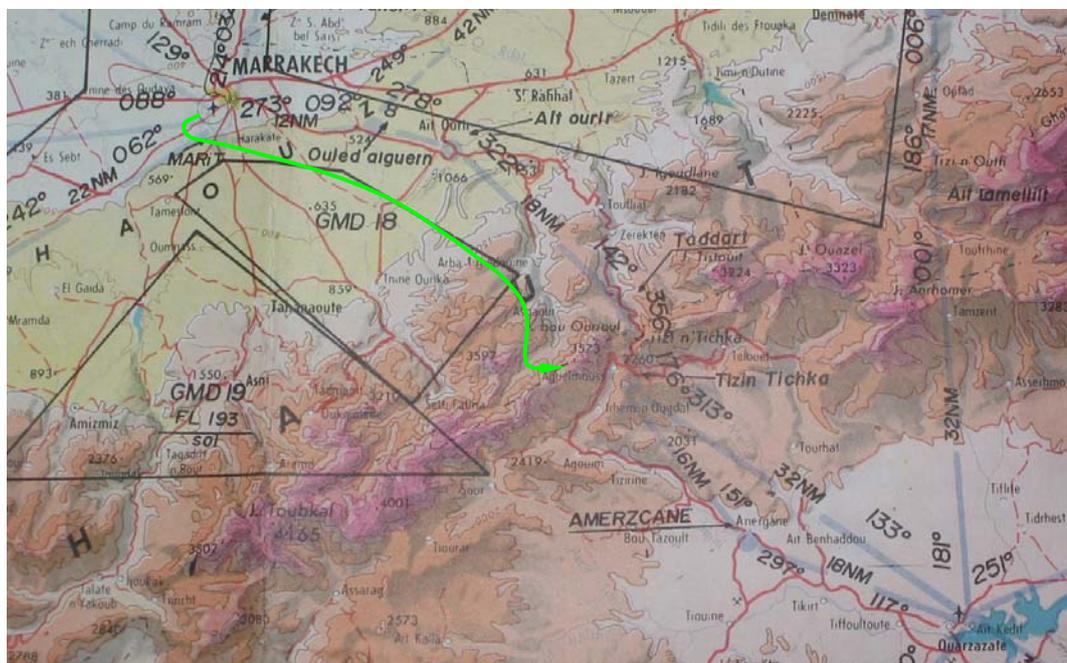


Illustration 4 : Extrait de la carte de cheminement VFR de l'office national des aéroports, avec un itinéraire recommandé pour le trajet entre Marrakech et Ouarzazate (ligne grise). A titre de comparaison, l'itinéraire reconstitué du HB-PHB (ligne verte).

1.9 Télécommunications

Les communications radio entre le pilote et la tour de contrôle de Marrakech se sont déroulées normalement et sans difficultés jusqu'au moment de quitter la fréquence de l'organe de contrôle. Rien n'indique que l'équipage du HB-PHB soit entré plus tard en contact avec un autre service d'information ou de contrôle aérien.

1.10 Renseignements sur l'aérodrome

Sans objet.

1.11 Enregistreurs de bord

Ni prescrits, ni installés.

Toutefois l'avion HB-PHB était équipé d'un GPS Skyforce SKYMAP IIIC qui avait disparu au moment de l'arrivée des enquêteurs.

1.12 Renseignements sur l'épave et sur l'impact

1.12.1 Epave

1.12.1.1 Cellule de l'avion

Les points suivants ont pu être constatés par les enquêteurs du BEAA sur le lieu de l'accident, 13 jours après l'accident:

- Sur la base des photos prises par la gendarmerie marocaine juste après l'accident, les enquêteurs suisses ont constaté que l'épave ne se trouvait plus dans la même position. En effet, les photos montrent l'épave du Piper retournée, le nez en direction de la vallée. A l'arrivée des enquêteurs, l'épave se trouvait en dessous du lieu d'impact, sur le ventre le nez en direction de la crête.
- L'habitacle a été fortement déformé lors de l'impact. Seul le siège avant gauche était encore en place. Les ailes étaient arrachées et les réservoirs éventrés.
- Le tableau de bord présentait de grandes déformations. La position de la manette des gaz et de la commande de mixture n'a pas pu être déterminée.
- Le réchauffage du carburateur était activé.
- La commande du sélecteur de réservoir était positionnée sur le réservoir droit.
- Les volets d'atterrissage étaient rentrés bien que le levier de commande était tiré, correspondant à la position entièrement "sortis".
- La clef pour la sélection des magnétos avait disparu. Le sélecteur était positionné sur "OFF".
- Aucune trace d'incendie n'a été décelée.
- Le contrôle visuel des connexions des gouvernes, des tiges de direction, des guignols, des câbles de transmission et des tendeurs, ainsi que des poulies n'a pas mis en évidence de défaillances techniques antérieures à l'accident.

1.12.1.2 Renseignements sur le moteur

- Les déformations des pales de l'hélice indiquent que lors de l'impact le moteur délivrait de la puissance.
- Sur le boîtier d'accessoires du moteur, les deux magnétos et le support du filtre à huile ont été brisés lors de l'impact. Il restait encore de l'huile dans le carter.
- Une faible quantité d'essence a été retrouvée dans la cuve du filtre à essence de la pompe électrique.
- Les commandes du papillon et du mélange étaient fixées correctement sur le carburateur. Suite aux dégâts dus à l'impact, le carburateur n'a pas pu être démonté.
- Les connexions sur les magnétos et des câbles d'allumage sur les bougies étaient correctes.
- Le filtre à air était correctement installé et propre.

1.12.2 Impact

Le degré de destruction du Piper atteste de la violence de l'impact.

1.12.3 Lieu de l'accident

Lieu de l'accident	Haut-Atlas, 32 NM au sud-est de Marrakech, 7 NM ouest-sud-ouest du col du Tizi-n-Tichka, Royaume du Maroc
Latitude	N 31°14'49"
Longitude	W 007°29'21"
Altitude	8500 ft AMSL
Emplacement	Environ 100 ft sous une crête plate orientée est-ouest En raison du terrain caillouteux et de la forte déclivité, un atterrissage forcé n'était quasiment pas réalisable.



Illustration 5: A gauche la situation sur les lieux de l'accident au moment de l'arrivée des secours. A droite, l'épave lors de la visite de la délégation suisse, le 17 octobre 2005.

1.13 Renseignements médicaux et pathologiques

Les corps de tous les occupants ont été soumis à une autopsie en Suisse. Aucune modification préalable notable d'organe qui aurait occasionné la mort n'a été relevée ni chez les pilotes A, B et D, ni chez l'instructeur de vol. Tous les examens toxicologiques portant sur des substances psychotropes ont révélé des résultats négatifs.

1.14 Incendie

Aucun incendie ne s'est déclaré.

1.15 Questions relatives à la survie des occupants

1.15.1 Généralités

En raison de la violence de la collision avec le terrain, il n'était pratiquement pas possible pour les occupants du quadriplace HB-PHB de survivre à l'accident.

1.15.2 Balise de détresse

L'avion était équipé d'une balise de détresse (*emergency location beacon aircraft* – ELBA) de type Serpe-lesm KANNAD 406 AF. L'appareil s'est détaché au moment de l'accident et émettait un signal repérable.

1.15.3 Recherche et sauvetage

Le 4 octobre 2005 à 07:11 UTC, le système de repérage par satellite COSPAS¹/SARSAT² a repéré le signal d'un émetteur *emergency location beacon aircraft* – ELBA, émettant sur 406 MHz sans pouvoir pour autant le localiser de manière précise. Etant donné que pour ce type d'émetteur de secours, l'immatriculation de l'aéronef est également communiquée, il est possible de procéder à des contrôles via le service de recherches et de sauvetage (*search and rescue* – SAR) de l'Etat d'immatriculation. Dans le cas présent, la centrale d'alerte du SAR suisse a été informée. A 07:20 UTC, elle a contacté l'exploitant du HB-PHB, lequel a indiqué que l'appareil se trouvait au Maroc à ce moment-là. Vers 07:39 UTC, le système COSPAS/SARSAT a procédé à un premier repérage de l'émetteur de secours et, à 08:34 UTC, les recherches de l'avion accidenté ont commencé au Maroc. Quelques heures plus tard, l'épave du HB-PHB a pu être localisée. Cependant, les passagers de l'avion ont été mortellement blessés lors de la collision avec le terrain.

1.16 Essais et recherches

1.16.1 Analyse du moteur

- L'examen du moteur n'a pas permis de constater défaillances techniques antérieures susceptibles d'avoir joué un rôle dans l'accident. Suite aux dégâts occasionnés sur le moteur, les magnétos et filtre à huile n'ont pas pu être déposés pour une expertise.

¹ COSPAS – *cosmicheskaya sistyema poiska avariynich sudov*: système spatial pour la recherche d'aéronefs et de navires en détresse.

² SARSAT – *search and rescue satellite aided tracking*: système de recherche et de sauvetage par satellite.

- Seules 7 bougies de type Champion REM 40E ont pu être déposées, l'accès à la bougie inférieure du cylindre n° 4 était impossible. Les bougies analysées avaient toutes une couleur correcte. Lors de l'essai à haute tension, 6 bougies fonctionnaient correctement. La bougie inférieure du cylindre n° 2 avait la porcelaine fissurée, certainement endommagée lors de l'impact. Les 3 bougies inférieures comportaient également de particules de plomb, sans que celles-ci ne court-circuitent les électrodes.

1.16.2 Examen des instruments

Certains instruments du cockpit ont pu être mis en sécurité afin d'y analyser les traces. En considérant les changements que l'épave a subi après l'accident, seuls les instruments suivants ont pu être évalués:

- L'horizon artificiel présente des traces qui laissent supposer une inclinaison vers la gauche et une assiette d'environ 20° *angle nose down* (AND).
- L'indicateur de virage (*turn and slip indicator*) était bloqué sur une position attestant un virage vers la gauche autour de l'axe vertical.

1.17 Renseignements sur les organismes et la gestion

1.17.1 Groupe de vol Pro Altenrhein

Au moment de l'accident, le groupe de vol Pro Altenrhein était une association qui avait pour objectif de maintenir et de promouvoir l'aérodrome et l'exploitation aéronautique à St.Gallen-Altenrhein. A cette fin, il louait du matériel de vol à des conditions avantageuses aux membres et aux invités et gérait une école d'aviation. Le 28 août 2007, la société a été rayée du registre du commerce.

Durant le semestre d'hiver, le groupe de vol Pro Altenrhein stationnait généralement un avion sur l'aérodrome d'El Berriel, situé sur l'île de la Grande Canarie (E). C'est pourquoi, il a chargé l'instructeur de vol d'acheminer l'appareil, immatriculé HB-PHB, de St.Gallen-Altenrhein à El Berriel. L'instructeur de vol a été déclaré à l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) comme tel depuis mai 2005.

1.17.2 Ecole de vol à moteur de Grenchen

Le groupe de vol à moteur et de vol à voile (SMG) de Grenchen compte environ 600 membres. Il loue des appareils, organise des vols locaux commerciaux et gère une école de vol. L'instructeur de vol a obtenu dans cette école d'aviation la licence de pilote privé et a effectué en 2003 la formation d'instructeur de vol auprès du SMG. Il a ensuite enseigné dans le cadre du SMG en qualité d'instructeur de vol auxiliaire. Le *head of training* de l'école de vol de Grenchen l'a décrit entre autres comme une personne sérieuse et consciencieuse qui prenait beaucoup d'initiatives.

D'autre part, le *head of training* a déclaré ne pas avoir été informé des activités de l'instructeur de vol au sein du groupe de vol Pro Altenrhein. En août 2005, l'instructeur de vol a cependant demandé au *head of training* ce qu'il pensait d'un voyage aérien à travers le Maroc et sur la chaîne montagneuse de l'Atlas. Celui-ci l'a alors déconseillé de planifier des vols dans les montagnes de l'Atlas à cette saison. Le *head of training* voulait préciser que, selon sa propre expérience, des situations de vents imprévisibles règnent souvent en automne dans cette région, lesquels peuvent conduire à des problèmes en cas de mauvaise tactique de vol. D'autre part, le *head of training* a informé l'instructeur de vol qu'il ne pouvait pas disposer des avions du SMG pour effectuer des vols à destination du Maroc. Le

SMG avait pris cette mesure de précaution à la suite d'attentats commis au Maroc contre des infrastructures touristiques.

Tous les pilotes qui acheminaient l'aéronef HB-PHB de St.Gall-Altenrhein à El Berriel (E) en compagnie de l'instructeur de vol étaient membres du groupe de vol à moteur et de vol à voile de Grenchen. Ils y avaient en partie effectué leur formation et loué des avions pour effectuer des vols privés.

1.18 Renseignements supplémentaires

Sans objet.

1.19 Techniques d'enquête utiles ou efficaces

1.19.1 Vol de reconstitution

Sur la base des photographies prises par les passagers du HB-PHB durant les vols du 2 octobre 2005 ainsi que durant le vol accidenté, on a pu conclure que l'appareil avait suivi les deux fois la même trajectoire. Les relevés radars ou les données relevées sur les appareils de l'avion manquaient et comme l'emplacement exact du lieu de l'accident n'était pas connu, il n'était pas possible de reconstituer le cheminement du vol uniquement à l'aide de ces prises de vue. Le fait que le pilote C, qui a piloté l'appareil HB-PHB de Marrakech à Ouarzazate le 2 octobre 2005, n'était pas à bord de l'appareil le 4 octobre 2005 a permis de procéder à un vol de reconstitution. Peu après l'accident, les chutes de neige habituelles ont débuté dans les montagnes de l'Atlas. Le manteau neigeux a empêché le repérage depuis le ciel de l'épave jusqu'au printemps 2006. Après délimitation de l'endroit de l'accident, il a été possible de procéder le 13 mai 2006 à un vol de reconstitution à partir de Marrakech avec le pilote C. A cette occasion, il a été possible de classer les vues aériennes prises le 2 octobre 2005 ainsi que celles prises le jour de l'accident et de reconstituer la trajectoire du HB-PHB.

La zone de l'accident a été survolée initialement à une altitude d'environ 10 000 ft AMSL. A cette altitude, dans la vallée menant d'Azgour vers le sud et qui finalement se termine par un virage vers l'est en direction d'une crête où s'est produit l'accident, les conditions de vol ne présentant aucune difficulté. Il y avait notamment à tout moment suffisamment d'espace pour faire demi-tour et le vent soufflait faiblement. Il n'y avait pas de turbulences. En approchant la crête en dessous de laquelle le HB-PHB était entré en collision avec le terrain à une altitude plus basse, des vents descendants et des turbulences assez violents ont été relevés, lesquels ont rendu difficile le pilotage de l'avion et lui ont fait perdre passablement d'altitude.

2 Analyse

2.1 Aspects techniques

Les enquêteurs se sont retrouvés sur les lieux de l'accident le 17 octobre 2005, soit 13 jours après l'accident. En raison de la période qui s'est écoulée entre l'accident et l'expertise de l'épave, il faut émettre certaines réserves sur les constatations faites lors des investigations. Malgré les dégâts importants relevés sur l'épave, il a été possible de vérifier différents éléments.

L'enquête n'a pas mis en évidence de défaillances techniques préalables susceptibles d'avoir été à l'origine de l'accident.

2.2 Aspects opérationnels et humains

Deux jours auparavant, l'instructeur de vol avait déjà opté, avec le pilote C, pour la même trajectoire de vol. Comme le montrent les photos prises par le pilote D qui participait à ce vol en tant que passager, l'équipage avait opté pour une altitude d'environ 9000 ft AMSL afin de passer la crête de la montagne contre laquelle l'appareil s'est abîmé le 4 octobre 2005.



Illustration 6: A gauche: prise de vue aérienne du 2 octobre 2005, depuis le HB-PHB, peu après le survol de la crête, dont l'accident du 4 octobre 2005 s'est produit sur le flanc nord. A droite: la modélisation du terrain proposée par *google earth* offre une perspective concordante si on la considère depuis la même position géographique et à une altitude d'environ 9000 ft AMSL.

Etant donné que cette crête présente à son point le plus bas une altitude d'environ 8600 ft AMSL, l'arrivée de l'appareil dans cette vallée étroite montant vers l'est a été effectuée le 2 octobre 2005 avec une relativement faible réserve d'altitude. Comme l'a précisé le pilote C après l'accident, il n'y avait ce jour-là ni vent ni turbulence et le survol de la crête à une altitude de 9000 ft AMSL a donc pu s'effectuer sans difficulté.

Les prises de vue aériennes effectuées par l'instructeur de vol le 4 octobre 2005 à 07:08 UTC prouvent que l'équipage avait opté ce jour-là pour une altitude qui était encore moins élevée que celle du premier vol effectué deux jours auparavant. Une évaluation de ces photographies permet de conclure que l'appareil se trouvait à ce moment-là à une altitude d'environ 8500 ft AMSL (cf. illustration 7).



Illustration 7: A gauche: prise de vue aérienne du 4 octobre 2005 à 07:08 UTC, depuis le HB-PHB, peu avant d'entrer dans la vallée se prolongeant vers l'est. A droite: la modélisation du terrain proposée par *google earth* offre une perspective concordante si on la considère depuis la même position géographique et à une altitude d'environ 8500 ft AMSL.

Cette faible altitude lors de l'arrivée dans cette vallée étroite, dont le col le plus bas se situe à 8600 ft AMSL, présentait un inconvénient pour la poursuite du vol, ceci pour les raisons suivantes :

- Elle contraignait l'appareil à prendre de l'altitude afin de survoler la crête ce qui, en raison de la grande masse de l'appareil et de l'altitude-densité relativement élevée d'environ 10 000 ft à ce moment, devait présenter une certaine difficulté.
- A cette faible altitude, l'étroitesse de la vallée interdisait tout demi-tour dans le cas où la performance ascensionnelle de l'appareil n'aurait pas été suffisante pour permettre le survol de la crête.
- Comme l'a montré le vol de reconstitution, les vents du sud soufflant dans la région de l'accident engendraient occasionnellement à des altitudes inférieures à 10 000 ft AMSL de violents vents descendants et des turbulences qui peuvent rendre encore plus difficile le survol de cette crête montagneuse en direction du sud-est.

Ces facteurs, pris isolément ou combinés les uns avec les autres, ont finalement conduit à la collision de l'appareil avec le terrain, à environ 100 ft en-dessous de la crête sud. Comme le montrent les traces relevées sur l'épave, l'appareil était probablement en virage à gauche. Il n'est pas possible de déterminer si, peu avant de toucher le sol, l'équipage a tenté un atterrissage forcé. En raison de la forte déclivité et de la nature du terrain, un tel atterrissage aurait toutefois été impossible.

Il faut souligner que dans la région de l'accident, il n'y a ni arbres, ni bâtiments ou autres installations de taille déterminée, ce qui rend plus difficile l'évaluation de la hauteur. Il n'a également pas été possible de déterminer le matériel cartographique utilisé par l'équipage. Cependant, la hauteur de la crête avec laquelle l'avion est entré en collision n'est pas déterminée précisément sur chacune des cartes connues de la région de l'accident. C'est pourquoi il est pensable que l'équipage s'est trompé dans l'estimation de l'altitude nécessaire. Il convient également de relever que, durant la dernière phase avant la collision, l'avion se dirigeait en direction du soleil situé toujours assez bas au-dessus du terrain. Ces circonstances ont dû rendre encore plus difficile l'appréciation de la situation.

3 Conclusions

3.1 Faits établis

3.1.1 Aspects techniques

- L'avion était autorisé pour le trafic selon les règles de vol à vue VFR.
- La masse et le centre de gravité se trouvaient dans les limites prescrites, tant lors du décollage qu'au moment de l'accident.
- L'enquête n'a pas mis en évidence de défaillances techniques susceptibles d'avoir favorisé ou été à l'origine de l'accident, ni de défauts techniques préalables.
- L'avion était équipé d'une balise de détresse qui s'est activée au moment de l'impact.
- L'enquête permet d'établir que le moteur délivrait de la puissance lorsque l'appareil est entré en collision avec le relief.

3.1.2 Equipage

- L'équipage était en possession des licences nécessaires pour accomplir le vol.
- Rien n'indique que les pilotes aient été affecté dans leur état de santé durant le vol de l'accident.

3.1.3 Déroulement du vol

- Le 2 octobre 2005, l'instructeur de vol a effectué avec un autre pilote un vol de Marrakech à Ouarzazate.
- Le 4 octobre 2005, l'équipage avait choisi le même itinéraire de vol pour se rendre de Marrakech à Ouarzazate.
- Au sud du village d'Azgour, l'appareil volait à une altitude d'environ 8500 ft AMSL dans une vallée étroite se prolongeant vers l'est et dont le passage le plus bas en direction du sud-est culminait à une altitude de 8600 ft AMSL.
- L'appareil est entré en collision avec le terrain à une altitude de 8500 ft AMSL.
- Aucun incendie ne s'est déclaré après l'impact.

3.1.4 Aspects environnementaux

- Les conditions météorologiques, plus particulièrement la visibilité et la nébulosité, étaient favorables. Cependant, les régimes de vents rencontrés dans le secteur de l'accident étaient particuliers.
- A l'occasion d'un vol de reconstitution, on a constaté qu'en présence de vent du sud, des vents descendants violents et des turbulences pouvaient apparaître en dessous de 10 000 ft AMSL.
- Sur toutes les cartes connues de la région de l'accident, la hauteur de la crête avec laquelle l'avion est entré en collision ne peut pas être déterminée précisément.

3.2 Causes

L'accident est dû à une collision avec le terrain car, dans une vallée étroite, l'équipage a choisi une altitude de vol qui, en raison des conditions météorologiques qui régnaient, ne permettait ni d'effectuer un demi-tour, ni de passer la crête la moins élevée en toute sécurité.

Facteurs susceptibles d'avoir joué un rôle dans l'accident:

- L'équipage n'était pas familier avec les particularités du Haut-Atlas.
- Les performances de l'avion étaient limitées en raison de la masse et de l'altitude-densité élevées.
- Le soleil, qui était assez bas, rendait difficile l'évaluation du chemin de vol par rapport au terrain.

Payerne, le 26 mars 2009

Bureau d'enquête sur les accidents d'aviation

Le présent rapport exprime les conclusions du BEAA sur les circonstances et les causes de cet accident.

Conformément à l'art. 3.1 de la 9^{ème} édition, applicable dès le 1^{er} novembre 2001, à la Convention relative à l'aviation civile internationale du 7 avril 1944 (OACI, Annexe 13) et à l'article 24 de la loi fédérale sur l'aviation, l'enquête sur un accident ou un incident grave a pour seul objectif la prévention de futurs accidents ou incidents. L'enquête n'a pas pour objectif d'apprécier juridiquement les causes et les circonstances d'un accident ou d'un grave incident. Le présent rapport ne vise donc nullement à établir les responsabilités ni à élucider des questions de responsabilité civile.

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