



*Accident  
survenu le 22 juin 1997  
sur la commune de Mespuits (91)  
au DR 400-180  
immatriculé F-GKQF*

**RAPPORT**  
f-qf970622

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

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

*Conformément à l'Annexe 13 à la Convention relative à l'aviation civile internationale, à la Directive 94/56/CE et à la Loi n° 99-243 du 29 mars 1999, l'enquête technique n'est pas conduite de façon à établir des fautes ou à évaluer des responsabilités individuelles ou collectives. Son seul objectif est de tirer de l'événement des enseignements susceptibles de prévenir de futurs accidents.*

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

# Table des matières

<b>AVERTISSEMENT</b>	<b>2</b>
<b>SYNOPSIS</b>	<b>5</b>
<b>1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE</b>	<b>7</b>
1.1 Déroulement du vol	7
1.2 Tués et blessés	7
1.3 Dommages à l'aéronef	8
1.4 Autres dommages	8
1.5 Renseignements sur le personnel	8
1.5.1 Le pilote	8
1.5.2 Les passagers	8
1.6 Renseignements sur l'aéronef	8
1.6.1 Cellule	8
1.6.2 Moteur	9
1.6.3 Hélice	9
1.6.4 Masse et centrage	9
1.6.5 Limitations	9
1.6.6 Autres renseignements	10
1.7 Conditions météorologiques	10
1.8 Aides à la navigation	10
1.9 Télécommunications	10
1.10 Renseignements sur l'aérodrome	10
1.10.1 Service rendu par l'organisme de circulation aérienne	11
1.10.2 Espaces aériens	11
1.11 Enregistreurs de bord	11
1.12 Renseignements sur l'impact et sur l'épave	11
1.13 Renseignements médicaux et pathologiques	13
1.14 Incendie	13
1.15 Questions relatives à la survie des occupants	13

<b>1.16 Essais et recherches</b>	<b>13</b>
1.16.1 Trajectoire de l'avion	13
1.16.2 Examen du moteur	13
1.16.3 Ruptures de l'aile	14
1.16.4 Les essais de traction	20
<b>1.17 Renseignements supplémentaires</b>	<b>20</b>
1.17.1 Balise de détresse	20
1.17.2 Témoignages	20
1.17.3 Historique du longeron	21
<b>2 - ANALYSE</b>	<b>22</b>
<b>2.1 Le vol</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Scénario de rupture</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Observations sur le mode de rupture</b>	<b>23</b>
<b>2.4 Les hypothèses</b>	<b>24</b>
2.4.1 La rupture hors du domaine de vol	24
2.4.2 La rupture dans le domaine de vol	25
<b>3 - CONCLUSIONS</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Faits établis par l'enquête</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Cause</b>	<b>27</b>
<b>4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE</b>	<b>28</b>
<b>Liste des annexes</b>	<b>29</b>

# *Glossaire*

<b>GAMA</b>	Groupement Aéronautique du Ministère de l'Air
<b>hPa</b>	hectoPascal
<b>MHz</b>	Mégahertz
<b>NM</b>	mille marin (1 852 mètres)
<b>QFE</b>	Pression atmosphérique à l'altitude de l'aérodrome
<b>QNH</b>	Calage altimétrique requis pour lire au sol l'altitude de l'aérodrome
<b>TMA</b>	Zone de contrôle terminal
<b>VFR</b>	Règles de vol à vue
<b>VHF</b>	Très haute fréquence
<b>VNE</b>	Vitesse à ne jamais dépasser
<b>VOR</b>	Radiophare omnidirectionnel VHF

## SYNOPSIS

### Date de l'accident

Dimanche 22 juin 1997  
vers 20 h 10<sup>1</sup>

### Aéronef

DR 400-180 immatriculé F-GKQF

### Lieu de l'accident

Mespuits (91)

### Propriétaire

Aéro-club du Groupement  
Aéronautique du Ministère de l'Air  
(GAMA)

### Nature du vol

Vol local

### Exploitant

Le propriétaire

### Personnes à bord

Pilote + trois passagers

## Résumé

Le 22 juin 1997 à 19 h 45, le DR 400-180 immatriculé F-GKQF décolle de l'aérodrome d'Etampes (91) pour un vol local. La nuit tombée et l'aéronef n'étant pas rentré, les permanents du club donnent l'alerte. L'épave est découverte le lendemain matin dans un bois sur la commune de Mespuits (91), 7 NM à l'est d'Etampes. Ses quatre occupants sont décédés.

## Conséquence

	Personnes			Matériel	Tiers
	Tué(s)	Blessé(s)	Indemne(s)		
Equipage	1	-	-	Détruit	Néant
Passagers	3	-	-		

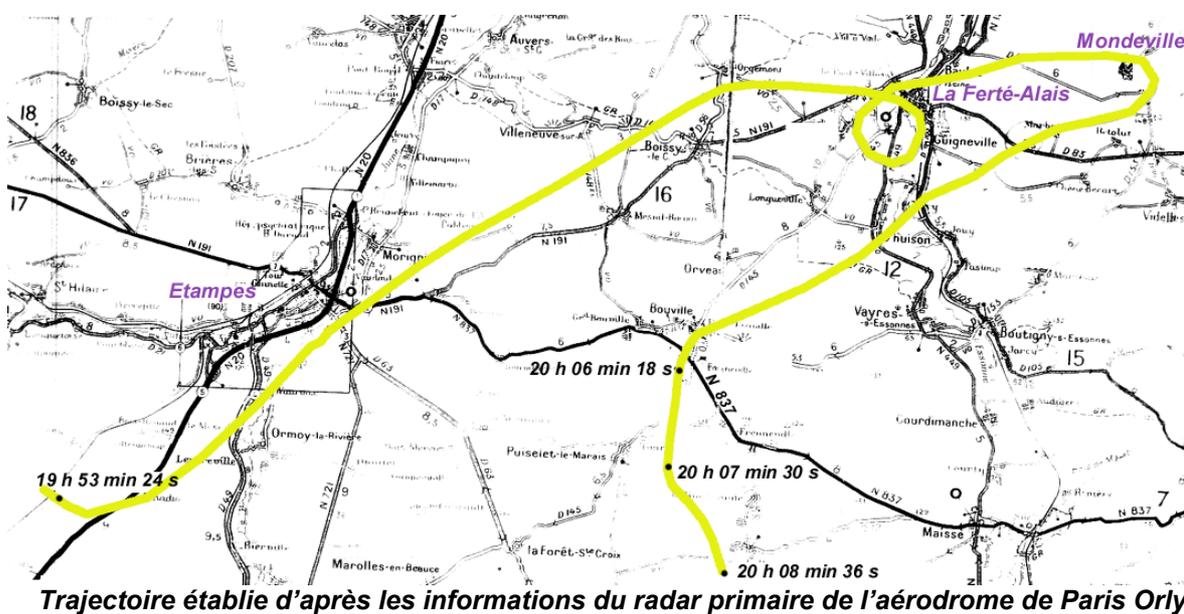
<sup>1</sup> Sauf précision contraire, les heures figurant dans ce rapport sont exprimées en temps universel coordonné (UTC). Il convient d'y ajouter deux heures pour obtenir l'heure en vigueur en France métropolitaine le jour de l'événement.

# 1 - RENSEIGNEMENTS DE BASE

## 1.1 Déroutement du vol

Vers 19 h 20, le pilote prend en compte le DR 400-180 immatriculé F-GKQF, dont les pleins viennent d'être faits, pour effectuer un vol local au départ de l'aérodrome d'Etampes. Trois passagers montent à bord.

Le décollage a lieu à 19 h 45. A 19 h 54 le pilote annonce qu'il quitte la fréquence. La trajectoire de l'avion montre qu'il se dirige vers le nord-est et rejoint La Ferté-Alais qu'il aborde par l'ouest. Il fait un virage de 360° par la droite, au sud-ouest de cette ville, puis reprend sa route vers Mondeville qu'il contourne par le nord et l'est avant de se stabiliser à un cap 240° vers Etampes. Arrivant au niveau de la route nationale 837, il oblique vers le sud puis le sud-est (cap 155 environ). La détection radar cesse à 20 h 08 min 36 s.



Les membres du club encore présents à la nuit tombée, inquiets de ne pas voir revenir le DR 400, tentent vainement de le contacter et utilisent le poste VHF d'un autre appareil au sol. A 21 h 00, un membre du club prévient le chef de centre du GAMA à son domicile. Celui-ci contacte la Gendarmerie des Transports Aériens de Toussus-le-Noble vers 21 h 45. Le chef d'aérodrome d'Etampes est averti à 22 h 00 et demande le déclenchement d'une phase d'alerte auprès du Centre Régional de la Navigation Aérienne Nord. Ce dernier déclenche une phase DETRESFA à 22 h 45. L'épave est retrouvée à 6 h 15 le lendemain matin dans un bois sur la commune de Mespuits (91).

## 1.2 Tués et blessés

Les quatre occupants sont décédés.

### **1.3 Dommages à l'aéronef**

L'avion est détruit.

### **1.4 Autres dommages**

Néant.

### **1.5 Renseignements sur le personnel**

#### **1.5.1 Le pilote**

Homme, 23 ans

Titres aéronautiques :

- Licence de pilote privé avion du 2 août 1995, valide jusqu'au 31 mars 1998
- Licence de pilote professionnelle avion du 10 juin 1996, valide jusqu'au 28 février 1998
- Qualifications de classe A, B et C
- Qualification instructeur du 10 octobre 1996
- Qualification vol aux instruments du 10 octobre 1996
- Qualification vol de nuit du 15 octobre 1996

Stage voltige 1<sup>er</sup> cycle à Carcassonne sur CAP 10B en avril 1996.

Expérience aéronautique : 650 heures de vol dont 300 en tant qu'instructeur.

Activité dans les trois derniers mois : inconnue, le carnet de vol n'a pas été retrouvé.

Activité dans les vingt-quatre dernières heures : 3 h 20 d'instruction, activité notée sur les documents du club.

#### **1.5.2 Les passagers**

Un des passagers avait des connaissances aéronautiques. Il était aide spécialiste mécanicien et effectuait son service national au GAMA. Il occupait une des places à l'arrière. Tous les passagers étaient domiciliés dans la région de La Ferté-Alais.

### **1.6 Renseignements sur l'aéronef**

#### **1.6.1 Cellule**

- Constructeur : Avions Pierre Robin
- Type : DR 400-180

- Numéro de série : 2051
- Certificat de navigabilité n° 112 639 délivré le 24 avril 1991, valide jusqu'au 1<sup>er</sup> octobre 1998
- Temps de vol total à la date du 22 juin 1997 : 2 780 h 56
- Temps de vol depuis la dernière grande visite à la date du 22 juin 1997 : 783 h 16

### **1.6.2 Moteur**

- Constructeur : LYCOMING
- Type : O-360-A3A
- Puissance : 180 CV
- Numéro de série : L-32781-36A
- Temps de fonctionnement : 2 783 h 16
- Temps de fonctionnement depuis la révision générale du 24 mai 1995 : 786 h 06
- Temps de fonctionnement depuis la dernière visite périodique : 31 h 46

### **1.6.3 Hélice**

- Constructeur : Sensenich
- Hélice métallique bipale à pas fixe
- Type : 76EM855-0-64
- Numéro de série : 27 457 K
- Mise en service le 28 mars 1991
- Dernière révision générale le 11 juin 1993

### **1.6.4 Masse et centrage**

Au moment de l'accident, la masse totale de l'appareil était de l'ordre de 1 022 kg. La masse maximale autorisée par le constructeur est de 1 100 kg. Compte tenu de la répartition des passagers à bord, le centrage était de 29 %. L'avion se trouvait dans la plage réglementaire de masse et de centrage.

### **1.6.5 Limitations**

La vitesse maximum d'utilisation à ne pas dépasser (VNE) est de 308 km/h à la masse maximale de 1 100 kg.

Les facteurs de charge limites de calcul à la masse maximale sont les suivants :

- En configuration lisse :
  - 1 - en catégorie N : + 3,8 et – 1,9 g, à la masse de 1 100 kg
  - 2 - en catégorie U : + 4,4 et – 2,2 g à la masse de 950 kg
- En configuration volets sortis, dans les deux catégories U et N :  $n = + 2g$

### **1.6.6 Autres renseignements**

A la fin du mois de mai 1997, le F-GKQF avait effectué un atterrissage au cours duquel le système d'amortissement latéral du train avant (fonction anti-shimmy) avait perturbé le contrôle final de la trajectoire. Son train droit était sorti de la piste revêtue. Cette sortie partielle de piste n'avait causé de dégâts ni à l'aéronef ni à l'infrastructure. Cet événement n'avait pas donné lieu à une intervention technique. Aucune mention n'avait été portée dans le livret cellule.

## **1.7 Conditions météorologiques**

La région était soumise à un flux d'ouest entraînant la présence de cumulus et strato-cumulus, avec un vent modéré de secteur ouest (cf. annexe 1).

Observation de la station d'Orly, située à 23 NM du lieu de l'accident, à 20 h 00 :

- Vent : 240° / 11 kt
- Visibilité : supérieure à 10 km
- Nuages : 2/8 cumulus base 3 500 pieds, 1/8 towercumulus 4 000 pieds, 5/8 strato-cumulus base 6 000 pieds
- Température : 15 °C
- QNH : 1004 hPa
- Le coucher du soleil est à 19 h 56, la nuit aéronautique à 20 h 26

## **1.8 Aides à la navigation**

Les aides à la navigation n'ont joué aucun rôle dans le déroulement de cet accident.

## **1.9 Télécommunications**

Le poste VHF de l'appareil était en état de marche et la fréquence de la tour d'Etampes 119,05 MHz était sélectionnée. Cette fréquence est enregistrée dans les locaux de l'organisme de contrôle de l'aérodrome. A 19 h 54, le pilote a annoncé qu'il quittait la fréquence. L'écoute de l'enregistrement n'a pas mis en évidence d'autre communication radio. A partir de 20 h 30, les appels des membres du club à l'attention du F-GKQF, restés vains, sont enregistrés par la tour.

## **1.10 Renseignements sur l'aérodrome**

L'aérodrome d'Etampes est un aérodrome contrôlé ouvert à la circulation aérienne publique situé à 8 km au sud-ouest de la ville d'Etampes.

Le terrain est à une altitude de 489 pieds. Il est doté de deux pistes parallèles 06/24 : une piste non-revêtue de 1 230 m sur 50 m et une piste revêtue de 700 m sur 22,5 m.

### **1.10.1 Service rendu par l'organisme de circulation aérienne**

Sans objet.

### **1.10.2 Espaces aériens**

L'aérodrome d'Etampes se situe sous la S/CTR de Brétigny dans un espace aérien de classe G. Pendant le week-end, la S/CTR de Brétigny étant inactive, l'espace situé entre le radial 117 du VOR "RBT" et le tracé sol de la TMA 11 de Paris est limité pour les aéronefs en VFR à une altitude de 1 500 pieds QNH. Au sud de cet espace, ce plafond passe à 5 500 pieds.

### **1.11 Enregistreurs de bord**

Le F-GKQF n'était pas équipé d'enregistreurs de bord ; la réglementation n'en impose pas.

### **1.12 Renseignements sur l'impact et sur l'épave**



L'épave principale se trouve dans un terrain boisé, à 15 km à l'est de la ville d'Etampes.

L'observation des traces finales laissées dans la végétation montre que l'avion avait une assiette à piquer d'environ 60°. Son inclinaison au moment du toucher avec le sol était approximativement de 90° à droite.

Emplacement de  
l'épave principale



Plusieurs débris importants se trouvent dans un secteur situé un peu plus de 1 000 m en amont, notamment une grande partie de la demi-aile droite.

Au sol, les débris de l'avion sont répartis sur un secteur globalement orienté au cap 200 comme suit (cf. annexe 2) :

- à 1 010 m en amont de l'épave principale, la majeure partie de la demi-aile droite dont l'entoilage est très peu endommagé et ne présente ni déchirement ni perforation ni perte de peinture dans la zone du dièdre, et un morceau de son longeron,
- 500 m à l'est de l'aile, (soit à 1 280 m de l'épave), une partie de longeron de 1,6 m de long, constituée par une semelle à laquelle sont encore collées une âme et une semelle respectivement de 20 et 25 cm de large, retrouvée un mois plus tard.

- à 150 m, le plan horizontal droit
- à 130 m, le plan horizontal gauche
- à 100 m, la dérive

Entre ces débris et l'épave principale, on trouve des morceaux de revêtement d'aile. Le reste de la cellule et les commandes de vol sont détruits. Les pales de l'hélice métallique sont légèrement déformées vers l'arrière. Les ceintures des places arrière ont été arrachées lors de l'impact.

Dans l'habitacle et sur le tableau de bord les constatations suivantes ont pu être faites :

- manette des gaz détruite
- manette de richesse sur plein riche
- sélection réservoir sur "principal"
- sélection magnétos sur position "both"
- commande de volets en position "rentrés"
- réchauffage carburateur sur OFF
- altimètre gauche calé sur 987 hPa, ce qui correspond au QFE de l'aérodrome

d'Etampes

Les équipements radioélectriques sont détruits et ne peuvent fournir aucune indication.

### **1.13 Renseignements médicaux et pathologiques**

Les examens toxicologiques des prélèvements effectués sur le corps du pilote ne révèlent aucune anomalie.

### **1.14 Incendie**

Il n'y a pas eu d'incendie.

### **1.15 Questions relatives à la survie des occupants**

Les deux passagers assis à l'arrière ont été éjectés à plusieurs mètres de l'épave, leurs ceintures ont été trouvées arrachées. Le pilote et la passagère en place droite sont restés attachés sur leurs sièges. Compte tenu de la violence de l'impact, l'accident ne laissait aucune chance de survie aux occupants de l'avion.

### **1.16 Essais et recherches**

#### **1.16.1 Trajectoire de l'avion**

La trajectoire de l'avion décrite au paragraphe 1.1 a pu être reconstituée grâce à l'enregistrement de l'image radar primaire de l'aérodrome de Paris Orly.

Les plots radar sont datés, ce qui permet de calculer la vitesse sol moyenne sur une partie de la trajectoire. Cette vitesse est de 210 km/h pendant tout le trajet pour lequel on dispose des plots, y compris pendant les virages. Ces virages sont effectués selon un rayon de 1 000 m environ, soit une inclinaison approximative de 20°. On note une diminution de vitesse concomitante du changement de cap vers le sud. Ces changements apparaissent une minute et quarante secondes avant la disparition du plot sur l'enregistrement radar. L'altitude de survol est au plus de 1 500 pieds QNH, ce qui correspond à l'altitude maximale utilisable quand la S/CTR de Brétigny est inactive.

Le tracé radar fait apparaître une perte temporaire du plot de l'avion. Cette perte a duré trois minutes et trente secondes, ce qui correspond au temps mis par l'aéronef entre le dernier plot de la première série et le premier plot de la deuxième série où il réapparaît avant l'impact, à vitesse de croisière.

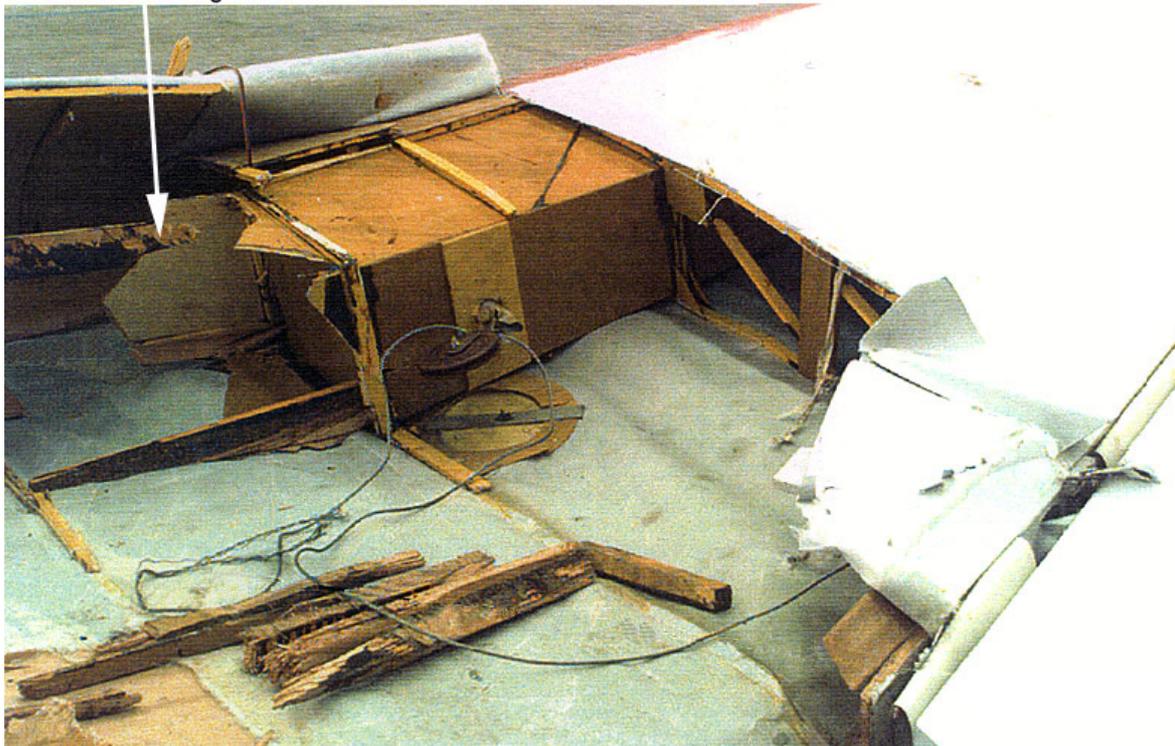
#### **1.16.2 Examen du moteur**

L'examen du moteur n'a pas mis en évidence d'anomalie de fonctionnement au moment de l'impact. Il n'a pas été possible d'estimer la puissance délivrée.

### 1.16.3 Ruptures de l'aile

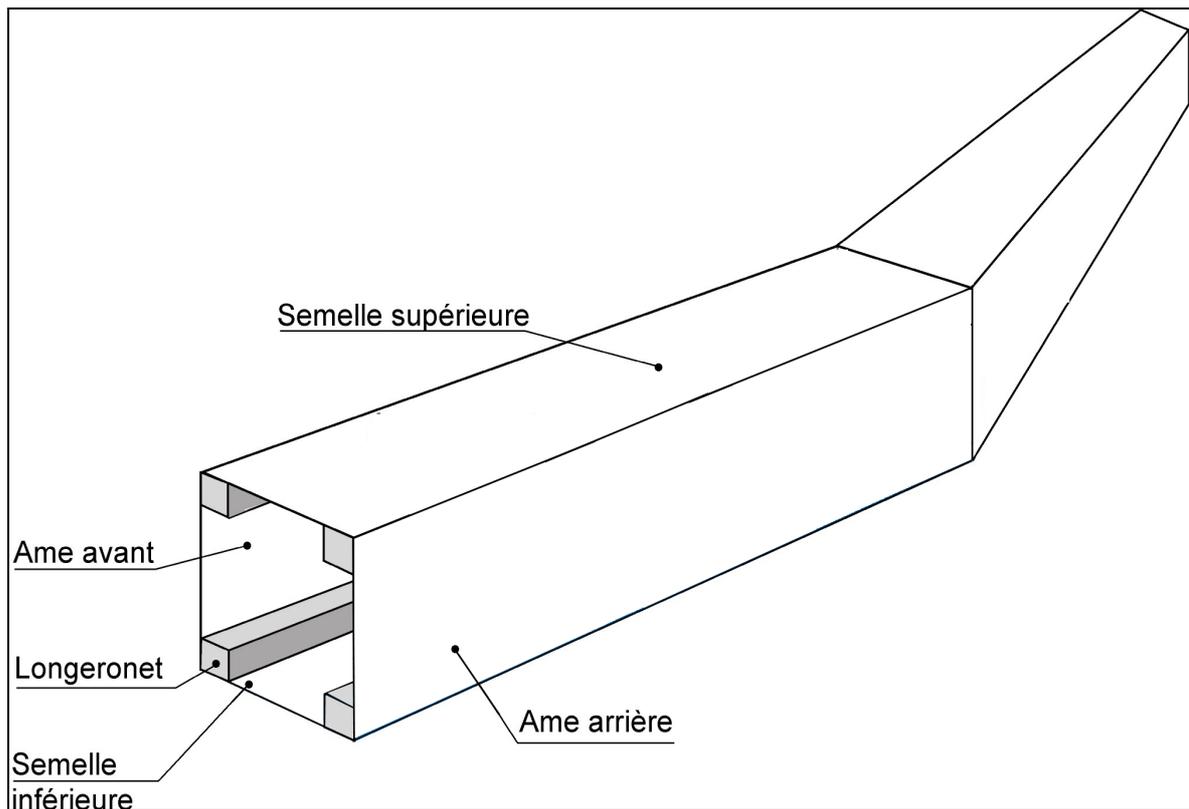
Il y a deux ruptures sur la partie centrale de l'aile droite, une à l'extérieur du caisson de reprise du train principal, l'autre au niveau du dièdre.

Absence de collage entre l'âme et la semelle

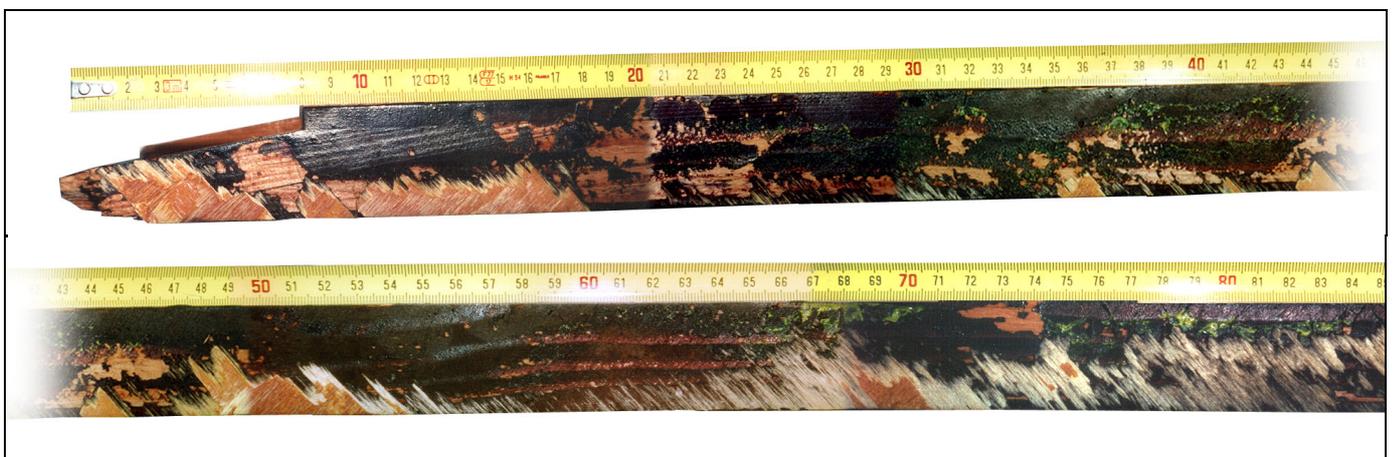


*Zone de rupture au niveau du dièdre*

Les observations faites sur l'épave ont montré des défauts de collage sur de nombreux éléments de la structure en bois (cellule et voilure) et, en particulier, sur le longeron. L'état des surfaces dans les zones de rupture a conduit à faire procéder à un examen approfondi des bois employés, de la colle utilisée et de la méthodologie de fabrication.



**Schéma général du longeron de l'aile droite**



Défauts de collage remarquables sur les longeronets arrière du longeron de l'aile droite : les zones sombres correspondent à des parties qui n'étaient pas collées

L'examen des faciès de rupture du longeron, côté caisson de train, montre que la semelle inférieure est cassée en traction et que la semelle supérieure est rompue selon un mode de traction et de compression, c'est-à-dire en flexion.

### 1.16.3.1 Les bois employés

Les examens des échantillons prélevés sur l'épave ont porté sur les qualités mécaniques des bois employés et de l'adhésif ainsi que sur la caractérisation des zones de rupture.

La classification des bois selon leurs qualités en ordre décroissant est la suivante : surchoix 3, surchoix 2, surchoix 1, premier choix, deuxième choix et rebut. Cette classification est référencée dans le tableau des bois et repris dans une note de la société Robin (note n° 04.18.05).

Les bois employés pour la construction du longeron des DR 400 sont principalement du pin d'Oregon pour les longeronets, du contre-plaqué d'Okoumé pour les semelles inférieures et supérieures et du contre-plaqué de bouleau pour les âmes.

La spécification du longeron, validée par la certification, exige que les bois employés pour réaliser les semelles soient au minimum de qualité premier choix. Les bois utilisés sont référencés sur la fiche d'identification des semelles de longeron de la voilure datée du 20 septembre 1990.

Les essais pratiqués sur les éprouvettes prélevées sur le seul longeronet d'aile intrados arrière qui était exploitable, montrent des caractéristiques mécaniques de bois de deuxième choix. Cependant, ce résultat est à prendre avec précautions à cause du petit nombre d'éprouvettes qu'il a été possible d'obtenir et des dimensions qui n'ont pu être réalisées conformément à la norme, du fait du peu de matière saine disponible dans les débris.

### **1.16.3.2 L'adhésif**

#### 1.16.3.2.1 Utilisation de la colle

La colle utilisée par la société Robin est la Penacolite G1131 fabriquée aux Etats-Unis par la société Koppers Company, Inc.

Le distributeur français de cette colle donne des directives précises d'utilisation quant à la méthode et aux conditions de température et d'hygrométrie exigées pour en obtenir l'efficacité attendue. En particulier, il mentionne explicitement un collage en double face, que le bois soit tendre ou dur. La température ambiante est également un facteur important lors de l'opération d'assemblage.

La Direction Technique des Constructions Aéronautiques (DTCA), dans une note du 4 mars 1974, autorise l'emploi de la colle Penacolite G1131 par dérogation à la norme AIR 8105. En vue de l'autorisation d'emploi de cette colle, des essais ont été pratiqués sur deux lots de colle et de durcisseur. Les conditions d'essais notaient l'application d'une enduction de 580 g/m<sup>2</sup> en double face avec le premier lot, d'une enduction de 620 g/m<sup>2</sup> en double face avec le second lot. La conclusion du rapport d'essais déclare ces lots utilisables.

Le 4 mai 1976, au cours d'une réunion technique avec les utilisateurs, la DTCA a confirmé l'emploi de la colle Penacolite G1131 par dérogation à la norme AIR 8105 sous réserve du respect des directives d'application découlant des essais pratiqués en vue de la certification.

La société Robin, dans sa note n° NAV 76/3 du 26 février 1976, définit l'utilisation de la colle Penacolite G1131, laissant le choix de la méthode d'encollage sur une ou deux faces. D'autre part, le grammage prescrit (280g/m<sup>2</sup>) est nettement inférieur à celui qui a été appliqué aux essais en vue de la certification de la colle. La pression d'assemblage à appliquer serait de 1,7 à 17,5 kg/cm<sup>2</sup> pour la société Robin alors que la société distributrice de l'adhésif recommande une pression minimum de 7 à 17 kg/cm<sup>2</sup>.

Remarque : La note n° NAV 76/3 n'a pas été modifiée ou amendée après la réunion du 4 mai 1976 avec la DTCA.

Enfin, dans le fascicule 3.1/4 d'avril 1985 du Bureau Véritas, il est spécifié que l'encollage doit être exécuté sur les deux faces des pièces à assembler.

#### 1.16.3.2.2 Observations sur le longeron

Il n'a pas été possible de reconstituer avec certitude l'historique de construction du longeron. Les méthodes d'assemblage des pièces à encoller ainsi que l'outillage utilisé (pinces de menuisier ou serre-joints) ne permettent pas de mesurer ni de contrôler les pressions exercées. Par ailleurs, l'âge de la colle utilisée n'a pu être établi.

La comparaison d'un échantillon de l'adhésif prélevé sur le longeron avec un échantillon de référence fourni par la société Robin n'a pas montré de différence. L'examen des surfaces de ruptures du joint n'a pas montré la présence d'endommagement antérieur. L'adhésif était correctement polymérisé et avait de bonnes qualités mécaniques. Aucune trace de fissuration en fatigue n'a été remarquée.

Les observations des surfaces rompues du joint d'adhésif ont permis de relever un faciès à rivières, caractéristique d'une rupture statique. Le sens de propagation des rivières montre que le déchirement s'est fait du dièdre vers l'emplanture. Cette tendance est observée sur tous les échantillons exploitables.

La zone d'origine de déchirement du longeron se situe au niveau du changement de dièdre.



L'examen de la face avant supérieure montre une absence de collage entre l'âme et la semelle, sur environ quinze centimètres.

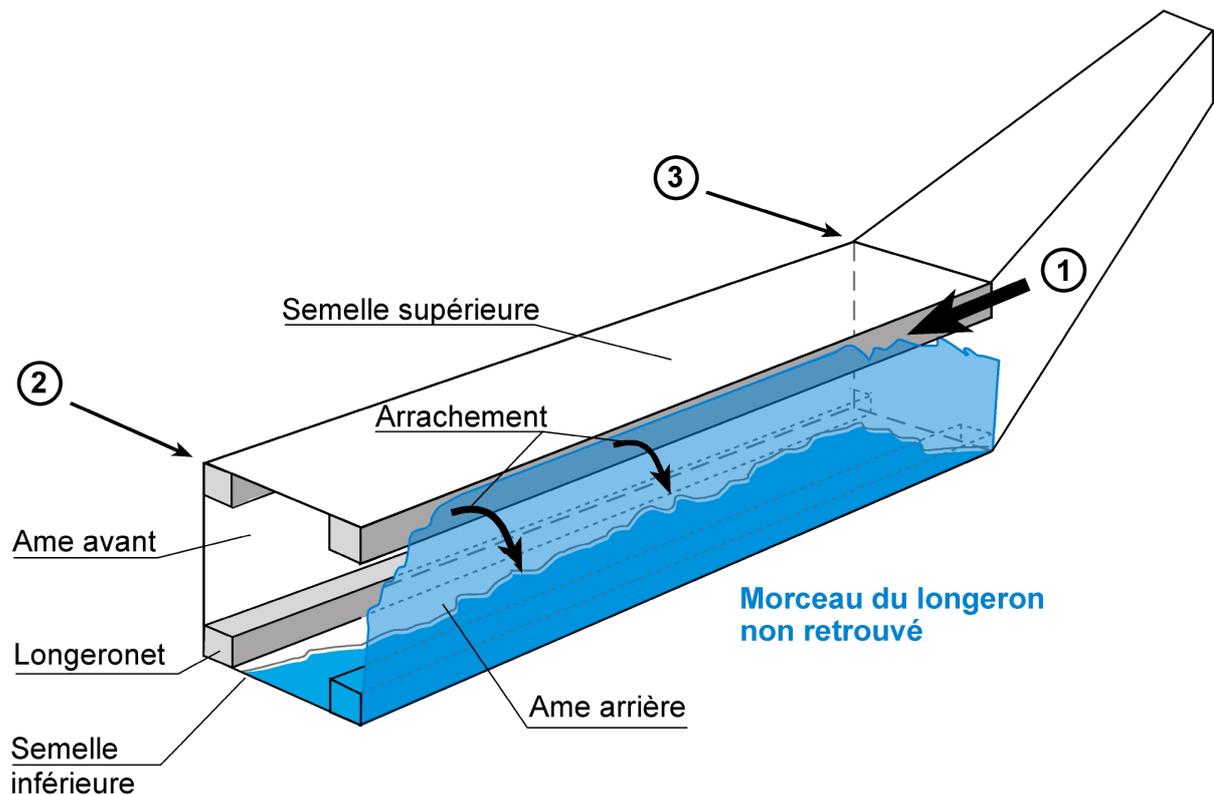


Sur la face arrière, on remarque au niveau de l'éclisse de renfort du dièdre la présence d'une surface de plusieurs centimètres carrés de colle brillante.

L'examen au microscope électronique montre que cette surface est la peau de l'adhésif et qu'il n'y avait jamais eu contact avec le contre-plaqué de l'âme arrière.

De plus, cette surface est recouverte d'un produit de couleur jaune-vert, produit appliqué sur le bois pour le protéger après réalisation du longeron. La présence des défauts de collage et d'assemblage pré-existants lors de l'application du produit de traitement a permis sa pénétration par capillarité.

En résumé, la rupture de la liaison entre la semelle supérieure arrière et l'âme arrière est une rupture de type statique dont la propagation s'est faite de l'extrémité de l'aile vers l'axe de l'appareil. Ce processus a conduit à la rupture de l'aile selon la séquence ci-après :



### Séquence générale de rupture

- ① Sens de propagation du décollement déterminé par l'examen des surfaces de collage de la face arrière de la semelle supérieure
- ② Zone de rupture primaire située près du caisson de train
- ③ Zone de rupture secondaire située près du dièdre

#### **1.16.4 Les essais de traction**

Deux séries d'essais de traction ont été réalisées en septembre et octobre 1999.

Pour la première série, on a utilisé une colle dont le fût aurait été ouvert le 3 juin. Les essais ont été pratiqués sur dix éprouvettes en pin d'Oregon (cinq par collage une face, cinq par collage double face) et dix éprouvettes en frêne (cinq par collage une face et cinq par collage double face). Dans tous les cas, on a obtenu des résultats insuffisants, en dessous des normes.

Pour la deuxième série, toutes les éprouvettes étaient en frêne. Quinze ont été collées avec la colle précédemment utilisée, les autres avec de la colle dont le fût a été ouvert huit jours avant les essais. L'encollage a été pratiqué en double face sur toutes les éprouvettes. Les résultats ont été satisfaisants, sauf pour une éprouvette dont la résistance était inférieure à la norme requise.

Dans les deux cas, le séchage a duré une semaine. Pour le premier essai, la pression exercée pendant le séchage a été assurée par des pinces de menuisier, pour le deuxième par des serre-joints.

### **1.17 Renseignements supplémentaires**

#### **1.17.1 Balise de détresse**

La balise de détresse de type Joliet a été détruite à l'impact. Elle n'a donc pas fonctionné.

#### **1.17.2 Témoignages**

##### **1.17.2.1 Sur le site**

Un témoin situé à deux kilomètres à l'est de la trajectoire de l'avion, l'a vu passer "en ligne droite". Il a remarqué qu'il faisait beaucoup de bruit.

Deux autres personnes ont rapporté les éléments suivants :

- la première, située à environ 2 400 mètres de la trajectoire, dit avoir eu son attention attirée par un bruit de moteur d'avion, avec des ratés. L'appareil lui semblait haut. Elle l'a vu se mettre "à tourner sur lui-même" faisant des ronds en descendant, s'arrêter de tourner, puis reprendre sa rotation. Elle a perçu un craquement et a vu l'avion piquer vers le sol.
- la seconde, sensiblement au même endroit, a vu l'avion passer horizontalement à une hauteur de 800 à 900 mètres et a constaté qu'il avait de plus en plus de ratés moteur. Elle l'a vu "balancer" d'une aile sur l'autre, puis piquer vers le sol.

### **1.17.2.2 Avant le départ de l'avion**

Des personnes présentes au club dans la soirée du 22 juin 1997 ont apporté les précisions suivantes :

- la première a aperçu l'aide mécanicien (une des victimes de l'accident) faire visiter le club à un garçon et une jeune fille. Ces derniers qui lui ont été présentés étaient calmes et détendus. Il n'était alors pas question de faire un vol. Un peu plus tard, il a vu le pilote partir à bord du F-GKQF avec trois passagers.
- la deuxième a pu préciser que le pilote était en place gauche au moment du décollage. Elle a confirmé la présence à bord de l'aide mécanicien et de deux personnes qu'elle avait aperçues avant le décollage dans les locaux du club.
- la troisième, instructeur dans un autre club, a croisé, au moment de son atterrissage, le DR 400 du GAMA qui partait en vol. Elle a confirmé que les conditions météorologiques étaient compatibles avec le vol à vue, que la visibilité était bonne et qu'il n'y avait pas de précipitation ni de turbulence.

### **1.17.3 Historique du longeron**

Il n'a pas été possible d'établir l'histoire de la fabrication du longeron. Les documents relatifs à cette opération ne comportent aucune identification des opérateurs qui sont intervenus dans sa réalisation pas plus que des conditions d'exécution de ce travail. Les fiches de travail comportent habituellement le numéro du longeron, le nom de l'ouvrier qui a procédé à sa fabrication, la date de fabrication et la contre-signature du contrôleur.

## **2 - ANALYSE**

### **2.1 Le vol**

A l'heure où est entrepris le vol, le pilote vient de terminer une journée au cours de laquelle il a effectué 3 h 20 de vol avec des élèves du club. Son activité de la veille, et celle du jour, ne sont pas de nature à engendrer une fatigue particulière.

Les pleins d'essence de l'avion sur lequel le pilote vient de faire une séance d'instruction ne sont pas encore faits. Le F-GKQF, qui rentre de voyage, a été reconditionné, il est disponible. Compte tenu de l'heure tardive, c'est cet avion qui est utilisé. Le pilote reste à faible distance de l'aérodrome d'Etampes, ce qui confirme qu'il est conscient de la proximité de la nuit aéronautique.

La dispersion des débris, en particulier la grande distance qui sépare l'aile droite de l'épave principale, montre qu'il y a eu rupture en vol et que l'avion n'évoluait pas à basse hauteur. Il est probable qu'au moment de la rupture, il évoluait à une altitude proche des limitations locales de l'espace aérien.

La reconstitution du vol, en s'appuyant sur l'enregistrement radar de Paris Orly, permet d'observer un vol stable sans modification brutale d'attitude. Il apparaît donc bien que ce vol était un vol d'agrément accompagné du survol des lieux d'habitation des passagers. Des évolutions ayant conduit à la rupture de l'aéronef ne peuvent pas être retenues car la trajectoire enregistrée de l'avion ainsi que les témoignages n'indiquent aucune évolution serrée ou désordonnée ni passage à basse hauteur.

Les "ratés" perçus par les témoins ne peuvent être associés à une défaillance quelconque du moteur car son examen a montré qu'il était en état de fonctionnement et qu'il était alimenté. Ces impressions auditives sont très vraisemblablement dues à des effets acoustiques liés aux évolutions de l'appareil consécutives à la rupture en vol.

### **2.2 Scénario de rupture**

L'examen de l'épave principale indique que la rupture initiale est celle de l'aile.

L'examen des semelles du longeron de l'aile droite a montré qu'elles sont rompues en deux endroits : juste avant le caisson de train et au niveau du dièdre.

L'examen en laboratoire du faciès du joint d'adhésif des surfaces de liaison des âmes aux semelles a montré que le cheminement de la séparation de l'âme arrière de la semelle supérieure était dirigée du dièdre vers l'emplanture. La rupture primaire des semelles se situe au niveau de l'emplanture.

L'aile en se séparant de la cellule a provoqué la mise en tension excessive des câbles de commande de gauchissement encore rattachés à l'aileron (situé sur le dièdre) ce qui a accéléré la rupture secondaire de l'aile au niveau du dièdre.

La perte de l'aile droite a rendu l'avion incontrôlable. Il a pivoté rapidement sur la droite et, après un très bref cabré, a piqué vers le sol.

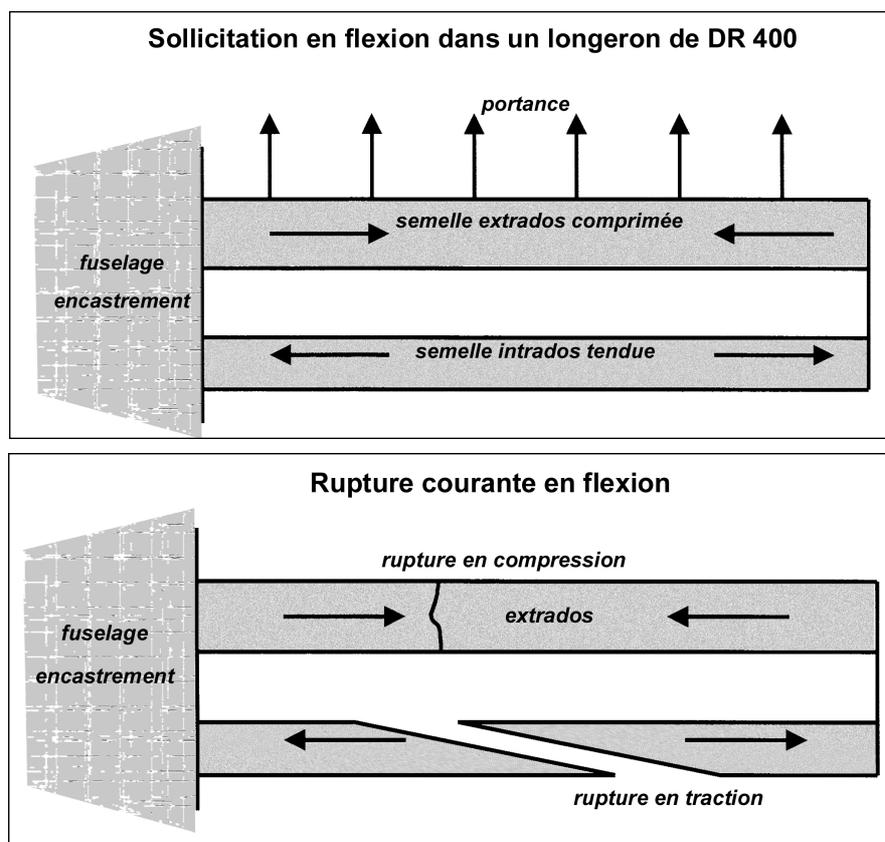
L'empennage, continuant dans cette phase à être soumis à la torsion de la cellule, a cédé dans la dernière partie de la chute.

L'état de l'entoilage de l'extrados de l'aile droite (ni perforation, ni déchirement, ni perte de surface importante de peinture), confirme l'hypothèse de la séparation initiale en vol de l'aile au niveau de l'emplanture, la partie extérieure au niveau du dièdre ne cassant qu'ultérieurement.

## 2.3 Observations sur le mode de rupture

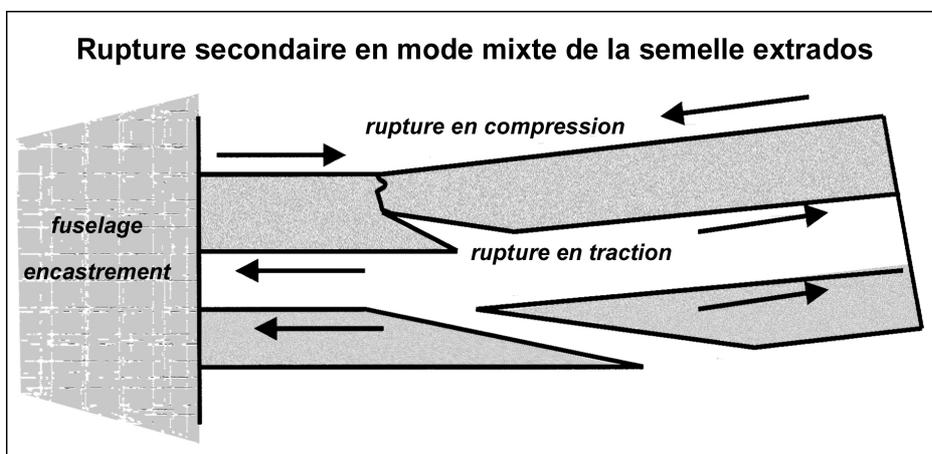
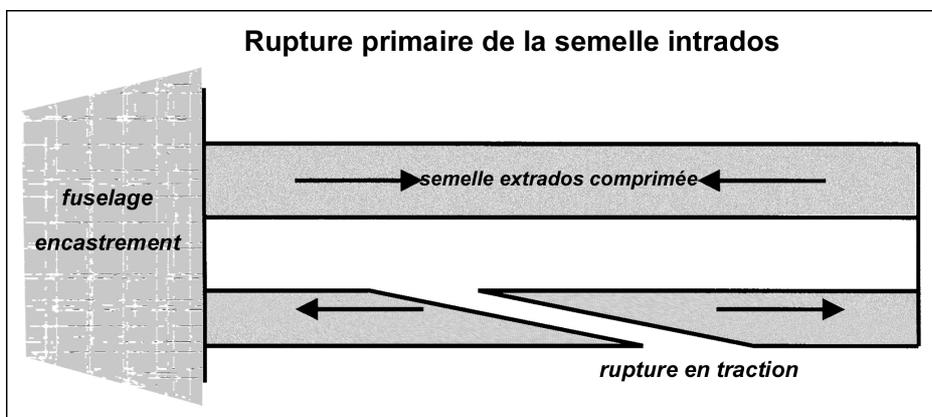
L'examen des collages confirme que la structure du longeron n'était pas correctement fermée mais partiellement ouverte et que sa capacité de résistance mécanique était par conséquent notablement amoindrie.

En règle générale, lorsque le longeron est fermé et sollicité en flexion ascendante, la semelle inférieure travaille en traction pure et la semelle supérieure en compression.



Dans le cas considéré, l'observation des faciès de rupture montre que la semelle inférieure s'est bien rompue en traction pure alors que la semelle supérieure s'est rompue en flexion.

Ceci indique que, dans un premier temps, seule la semelle inférieure s'est rompue, ce qui a conduit la semelle supérieure à travailler en flexion. Cette séquence n'a pu survenir que parce que la structure du caisson n'était plus liée.



## 2.4 Les hypothèses

Cette rupture en vol peut survenir hors du domaine de vol par application d'efforts anormalement élevés ou dans le domaine de vol, consécutivement à un endommagement antérieur ou par fragilisation.

### 2.4.1 La rupture hors du domaine de vol

Les évolutions hors du domaine de vol peuvent amener des ruptures par dépassement du facteur de charge ou de la VNE.

Pour le pilote, ce vol n'était pas un vol d'instruction mais un vol d'agrément pour lequel aucune démonstration n'était programmée. Il savait son avion lourd, et avait conscience des limites de celui-ci. Les données radar font apparaître une vitesse constante, des virages à faible inclinaison, donc à faible facteur de charge et des trajectoires rectilignes. Pendant le retour vers le terrain, à cette heure tardive, la luminosité du jour s'amointrit et les références visuelles diminuent. Ces conditions

sont encore moins propices à l'entreprise d'une quelconque évolution. Ces éléments permettent de dire que le pilote n'a, selon toute vraisemblance, pas entrepris de manœuvre intempestive hors du domaine de vol. Ceci est cohérent avec les différents témoignages qui nous montrent un avion en vol horizontal apparemment normal dans les instants qui précèdent la perte de contrôle.

Un des témoins indique avoir vu l'avion en ligne droite, ce qui ne semble pas compatible avec des évolutions hors du domaine de vol.

Cette hypothèse est donc improbable.

## **2.4.2 La rupture dans le domaine de vol**

Pour un aéronef certifié, une rupture d'aile dans le domaine de vol peut être la conséquence d'une fragilisation par un endommagement antérieur ou d'une fragilisation structurelle. Cette dernière peut elle-même être due à une fabrication défectueuse ou à un vieillissement prématuré.

### **2.4.2.1 Hypothèse d'une rupture consécutive à un endommagement antérieur**

Tout en notant qu'une partie importante du longeron central droit n'a pas été retrouvée, les observations sur les éléments récupérés n'ont pas montré d'indices d'endommagements antérieurs.

La sortie de piste déjà relevée dans les antécédents de l'avion n'a pas eu de conséquence sur la résistance du longeron au niveau des fixations du train. Dans ce cas précis, la fissure se serait propagée vers le dièdre, partant de la zone affaiblie située au niveau du caisson de reprise des efforts du train vers la zone saine. Les observations ont montré un sens de propagation opposé.

Plus généralement, tout choc de nature à endommager le longeron aurait laissé une trace sur le revêtement de l'aile, ce qui n'a jamais été signalé. Par ailleurs, un effort important sur le longeron aurait provoqué la déformation des deux semelles ou des deux âmes du caisson.

L'hypothèse d'une rupture due à un endommagement antérieur est donc très peu probable.

### **2.4.2.2 Hypothèse d'une rupture consécutive à une fragilisation**

Le joint d'adhésif entre l'âme avant et la semelle supérieure du longeron présente des absences de collage importantes. Sur le joint arrière, des défauts de collage montrent que les pièces n'ont été ni suffisamment encollées ni correctement pressées l'une avec l'autre lors de l'assemblage. Ceci est confirmé par l'examen des surfaces de rupture des joints, lequel fait apparaître une pénétration de vernis de protection ayant séché entre les pièces à assembler. Les défauts de collage et

le sens des rivières expliquent le cheminement et le mode de décollement de l'âme arrière.

Ces défauts de fabrication ont fragilisé la structure du longeron et ont normalement conduit à un vieillissement accéléré de ses liaisons.

L'observation des caractéristiques du vol montre qu'il n'y a très probablement pas eu de dépassement du facteur de charge. Cependant, il n'est pas impossible que, dans le passé, cet appareil ait parfois supporté des facteurs de charge élevés ayant favorisé le vieillissement du longeron.

L'hypothèse d'une rupture consécutive à une fragilisation structurelle évolutive du longeron est donc la plus probable.

## **3 - CONCLUSIONS**

### **3.1 Faits établis par l'enquête**

- Le pilote exécutait un vol local avec trois passagers.
- Le pilote détenait les brevets et licences compatibles avec le vol entrepris.
- L'appareil possédait un certificat de navigabilité en état de validité.
- Les conditions météorologiques permettaient d'entreprendre le vol.
- La dispersion des débris montre que l'aile droite s'est rompue en vol. Son extrémité a été retrouvée à 1 010 m de l'épave principale.
- Le moteur était en état de fonctionnement et tournait à l'impact.
- Les débris du longeron et du fuselage présentent des défauts de collage.
- La réalisation du longeron n'était pas conforme au dossier de certification.

### **3.2 Cause**

L'accident résulte de la rupture en vol de l'aile droite.

Les défauts de collage et d'assemblage constatés sont le facteur déterminant de cette rupture, par la fragilisation et le vieillissement accéléré des structures concernées, abaissant ainsi leur résistance aux efforts et aux facteurs de charge réglementaires.

#### 4 - RECOMMANDATIONS DE SECURITE

Les premiers travaux de l'enquête ayant fait apparaître les défauts de collage du longeron, le Bureau Enquêtes-Accidents avait émis, le 29 octobre 1999, la recommandation suivante :

- **qu'une campagne d'inspection des DR 400, et plus particulièrement de leurs longerons, soit entreprise pour vérifier leur conformité à la certification.**

Le 15 novembre 1999, la Direction Générale de l'Aviation Civile a émis la consigne de navigabilité n° 1999-460A R1 concernant neuf appareils de type DR 400, dont les longerons produits à des dates voisines de la date de fabrication de l'avion accidenté, devaient faire l'objet d'une inspection. Cette consigne a ultérieurement été étendue à vingt-deux appareils, dont certains immatriculés à l'étranger. A la suite des constatations faites lors de cette inspection, six appareils ont subi une vérification plus poussée en atelier par arrachement de l'âme du caisson de longeron.

Le 14 juin 2000, la Direction Générale de l'Aviation Civile a émis une nouvelle consigne de navigabilité intéressant les DR 400 de tous types. Cette CN n° 2000-224A restreint l'utilisation des aéronefs DR 400 à la catégorie normale (N) dans l'attente de la fin des investigations en cours.

Enfin, le 31 octobre 2000, une troisième consigne de navigabilité n° 2000-224A R1 a été émise. Elle prévoit le maintien de la CN précédente pour l'avion n° 2447 et pour tous ceux dont le numéro de série est supérieur au n° 2451.

Compte tenu des consignes de navigabilité déjà émises, le BEA ne juge pas utile de formuler une nouvelle recommandation de sécurité.

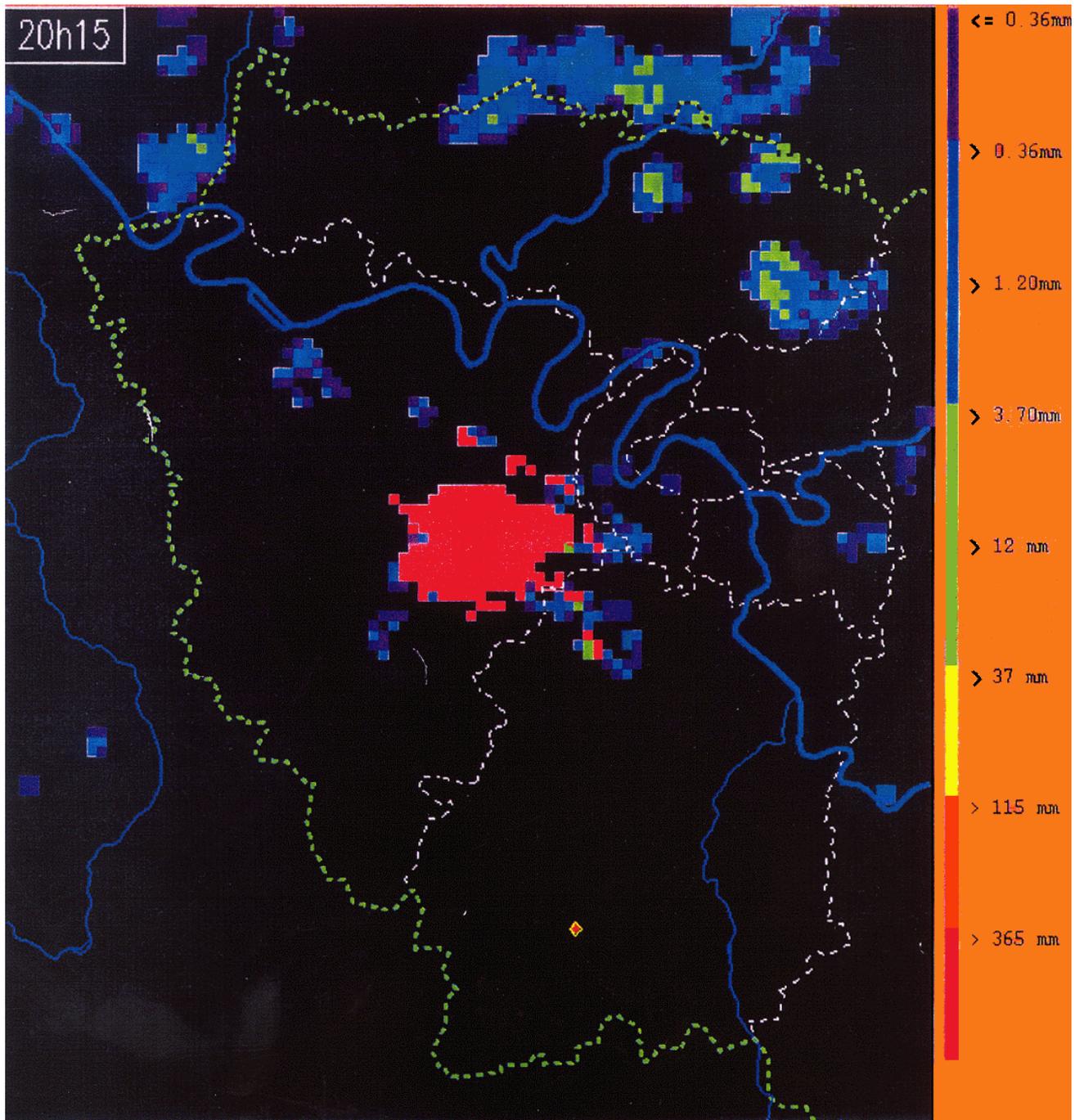
# *Liste des annexes*

## **ANNEXE 1**

Image du radar météorologique de la région sud de Paris

## **ANNEXE 2**

Plan de répartition des débris



**Image du radar météorologique de la région sud de Paris  
le 22 juin 1997 à 20 h 15**

