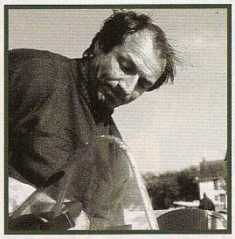
PAR MICHEL BARRY
Pilote professionnel, ingénieur aéronautique



Sécurité

Train d'atterrissage
Attention à la casse au roulage

Rouler confortablement avec un avion léger dans l'herbe d'un aérodrome est un exercice que pratiquent la plupart des pilotes sans trop se soucier des conséquences sur la mécanique. Et pourtant, quand on examine comment souffrent certains éléments de la cellule, notamment le train d'atterrissage et ses points de fixation, on est conduit à beaucoup plus de respect pour le matériel.

Dans ce numéro nous nous appuyons sur des incidents pour engager nos amis pilotes :

1. A rouler plus doucement, notamment dans les zones où le terrain est inégal (*exemple BEA n°1*).

2. A inspecter d'un œil plus perspicace des éléments qui peuvent se révéler fragiles et qui ont fini par casser par fatigue naturelle ou par utilisation anormale (*exemples BEA n° 2, 3, 4 et 5*).

A- Un train léger et solide : un exploit technologique pour les constructeurs

Pour s'en convaincre, il suffit de rouler, le jour où c'est autorisé, avec son automobile à la même vitesse que l'avion dans les mêmes zones, taxiways et pistes d'envol. Sur les espaces en dur tout se passe bien. En revanche, dans l'herbe du « champ d'aviation », on sera surpris de constater à quel point les suspensions sont fortement sollicitées. Et pourtant la voiture est conçue pour rouler. Ses ressorts, ses amortisseurs, leurs points d'ancrage sont largement dimensionnés et pèsent bien plus que ceux d'un avion de la même masse. C'est dire à quel point de développement les constructeurs d'avions ont dû parvenir pour concevoir des trains d'atterrissage légers, à deux ou trois roues, avec des jambes longues pour cause de garde au sol de l'hélice, tout en respectant un devis de masse serré. Avec, en prime, la résistance au choc de l'atterrissage par vent de travers et l'obligation de donner à l'ensemble une espérance de vie qui atteint couramment la cinquantaine d'années !

Une complication supplémentaire est apparue avec la généralisation des trains tricycles. En effet, le train principal est implanté dans une zone centrale de l'avion, là où la structure est la plus robuste (centre de l'aile avec son longeron ou proximité de l'habitacle pour les trains fixés au fuselage). Au contraire, la roulette de nez s'accroche au voisinage de la cloison pare-feu, là où les contraintes liées au vol sont relativement moins importantes. Et alors que cette même roulette de nez reprend une charge nominale au roulage qui vaut entre 10 et 25 % de celle du train principal, le constructeur doit envisager des charges accidentelles bien plus importantes. Comme celles, par exemple, d'un rebond à l'atterrissage ou la rencontre d'un trou ou d'une bosse dans la pelouse de l'aérodrome. Envisager oui, mais couvrir tous les cas de maladresse non !

B- Eduquer les pilotes afin qu'ils roulent sans endommager le train, en particulier la roulette de nez. Bien entretenir les taxiways

Pouvoir résister à tout prix à de telles charges anormales serait mission impossible car il faudrait renforcer inutilement l'avant de l'avion. Aussi les constructeurs ont misé sur la raison des pilotes qui ont appris :

• A poser leur appareil tricycle en deux temps : d'abord le train principal puis, lorsque le roulement sur la piste est contrôlé et, avant de perdre le contrôle en profondeur, délicatement la roulette de nez. Ensuite, comme elle devient progressivement directive, on doit penser à appliquer des corrections moins importantes que celles imposées quelques secondes auparavant par le seul contrôle aérodynamique. De plus, sur certains appareils comme le DR 400, on doit enclencher le mécanisme de synchronisation entre les palonniers et la roulette de nez en mettant le manche secteur avant (voir *Info-Pilote* n° 595 d'octobre 2005). Faute de quoi, elle reste verrouillée dans l'axe et subit durement les tentatives de changement de direction lorsque la dérive a encore assez d'efficacité pour les imposer.

• A rouler lentement en évitant le plus possible les zones inégales. En effet, quand on entend le bruit de l'amortisseur avant qui talonne durement, même sur un taxiway « normal », on est certain de rouler trop vite. Chaque petit claquement est un endommagement en fatigue qui se paiera un jour ou l'autre et pourra même conduire à un accident.

• A connaître les emplacements des trous, des rigoles, des ornières… (*exemple BEA n°1*). Il est en effet anormal d'emprunter régulièrement un trajet qui comporte de tels accidents de terrain. Bien entendu, la plupart des aérodromes nécessitent des mini-ouvrages de drainage mais si on doit les franchir régulièrement rien n'empêche de créer des passages bien balisés avec des petits ponts ou des busages.

Les trains classiques (avec une roulette de queue) sont moins vulnérables. Cependant pour un appareil chargé et centré plutôt arrière un roulage rapide fatigue aussi inutilement la roulette de queue, sa lame élastique et tout l'arrière (étambot) de l'avion. On peut imaginer qu'une série de mauvais traitements conduise ensuite à une rupture en vol de la queue de l'appareil.

C- Prévenir le plus possible : connaître son appareil et apprendre à l'inspecter

Certains incidents rapportés par le BEA montrent que parfois l'endommagement du train pouvait être apparent. Bien que la visite des fixations de train constitue plutôt une opération de maintenance, le pilote au cours de sa visite prévol doit chercher à détecter des anomalies en utilisant toutes les possibilités de visite de la structure. Il y parviendra d'autant mieux qu'il connaît bien son appareil. En particulier, il peut facilement découvrir des défauts au niveau des fixations du train :

• une oxydation et une corrosion nouvelles ou inconnues d'où l'intérêt d'examiner régulièrement tout ce qui est visitable (*exemple BEA n°1*) ;

• une anomalie dans les cordons

de soudures apparents (*exemples BEA n°3 et 4)* ;

• une déformation des pièces avec notamment des plis ou des craquelures dans la peinture qui protège les soudures ;

• vues de loin, les jambes de train peuvent présenter un aspect inconnu : dissymétrie, angle inhabituel. De près, une usure latérale et anormale des pneus est, en général, due à un défaut de géométrie. Il peut être la conséquence d'une jambe de train tordue ou d'une fixation qui se dégrade progressivement. Chercher aussi à comprendre pourquoi, au sol, l'avion penche d'un côté ;

• une détérioration des parties élastiques apparentes comme les sandows des Piper Cub (*exemple BEA n°5*).

D'autre part, on constate que pour certains appareils, les défauts, surtout ceux concernant les jambes de trains, sont chroniques donc peuvent être connus des associations et des propriétaires (*exemples BEA n°3 et 4*). Dès que le BEA constate une certaine récurrence dans des incidents ou accidents, il émet très vite une recommandation qui, en principe, donne lieu à une consigne de navigabilité (CN, administration EASA ou DGAC) ou à un bulletin de service (BS constructeur). Plus particulièrement pour les avions anciens, un suivi attentif et rigoureux permet de prévenir et d'anticiper des accidents ou des incidents. Tout pilote, tout dirigeant de club, tout opérateur de maintenance doit bien se douter que sur des appareils de quarante ans ou plus, la fatigue liée aux atterrissages et le vieillissement dû simplement à l'âge peuvent produire des endommagements puis des ruptures. Se contenter d'attendre la CN ou le BS représente une anticipation insuffisante du risque. Suivre de plus près le retour d'expérience par tous les moyens de communication disponibles devrait permettre de savoir rapidement si tel ou tel avion est vulnérable, en particulier s'il est susceptible de subir ou non les mêmes endommagements que ses congénères.

EXTRAITS DES RAPPORTS DU BEA

CAS n°1

• **Evénement :** rupture du train avant lors du roulement à l'atterrissage.
• **Aéronef :** avion Socata Rallye MS 893 A.
• **Lieu :** aérodrome d'Itxassou (64).
• **Conséquences et dommages :** rupture du train avant, hélice endommagée.
• **Circonstances :** après le treizième remorquage de planeurs, le pilote atterrit en piste 26 non revêtue.

Le pilote indique qu'il contrôle la vitesse et quitte la piste en herbe pour se diriger vers la pompe à carburant. Lors de la traversée de la bande d'accélération revêtue 08 (deux bandes revêtues, dites bandes d'accélération, de 150 m x 15 m ont été aménagées à chaque extrémité de la piste pour faciliter le décollage au treuil), le train avant se rompt. L'avion s'affaisse sur le nez, parcourt quelques mètres et s'immobilise dans l'herbe. La partie supérieure du fût est rompue ainsi que les deux soudures des contre-fiches.

Le pilote explique qu'une pratique courante consiste à atterrir à mi-piste et à couper la bande d'accélération pour rejoindre la pompe.

L'aérodrome d'Itxassou est réservé au vol à voile et aux avions de servitude. Il dispose d'une piste non revêtue de 600 m x 50 m avec une distance disponible à l'atterrissage de 600 m. La dénivellation entre la bande revêtue et la partie non revêtue forme une marche. Le poste d'avitaillement se situe à proximité de la bande d'accélération de la piste 08.

Les examens métallurgiques réalisés sur les ruptures des contre-fiches ont révélé des défauts de soudure. Ces derniers, sous l'effet de la corrosion et des contraintes exercées en service, ont conduit à une fissuration progressive et à la fragilisation du train.

L'appareil a effectué environ 7 500 heures de vol depuis sa construction en 1969.

Le ressuage (cette méthode permet de mettre en évidence des discontinuités débouchantes sur tout métal) effectué lors de la dernière grande visite en juillet 2004 n'a pas révélé de fissuration. L'inspection visuelle réalisée lors de la dernière visite périodique des 50 heures fin janvier 2011 n'a pas mis en évidence de corrosion.

Le pilote totalisait environ 800 heures de vol dont 250 environ sur type. Il détenait la qualification « remorquage ».

• **Conclusion :** l'accident résulte d'une contrainte répétitive et excessive exercée sur le train avant conduisant à sa rupture, au passage d'une irrégularité de terrain. La corrosion mise en évidence dans les défauts de soudures est à l'origine de cette rupture des deux contre-fiches. Le passage fréquent sur la discontinuité entre la piste et la bande d'accélération peut expliquer cette rupture en fatigue.

CAS n°2

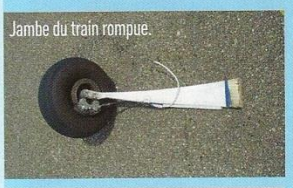
• **Evénement :** rupture de la jambe du train d'atterrissage droit au roulage.
• **Cause identifiée :** non détection d'une fissure en fatigue.
• **Aéronef :** avion Cessna 206 « Stationair 6 ».
• **Lieu :** aérodrome d'Arcachon (33).
• **Nature du vol :** largage de parachutistes.
• **Personnes à bord :** pilote + cinq parachutistes.
• **Conséquences et dommages :** jambe du train d'atterrissage droit rompue, aileron et empennage droits endommagés.
• **Circonstances :** au roulage vers le point d'arrêt de la piste 26, lors d'un virage à gauche l'avion s'affaisse sur le côté droit et s'immobilise quelques mètres plus loin. Les cinq parachutistes et le pilote évacuent l'avion.

La jambe du train principal droit en forme de lame est rompue au droit de la cellule à hauteur de l'étrier *(voir photographies ci-dessous)*.

L'examen du faciès de la rupture révèle une fissure en fatigue du métal. Celle-ci s'est amorcée sur la face inférieure de la lame qui subit des efforts en traction lors du roulage et des atterrissages à partir d'une zone corrodée et usée en surface. L'usure est due à des frottements répétés entre la lame et la cellule : la peinture a disparu à cet endroit.

La rupture s'est produite après 1 680 heures de vol et environ 4 200 atterrissages après la dernière grande visite. Au cours de celle-ci, les deux lames du train d'atterrissage avaient été démontées et inspectées, aucune anomalie n'avait été détectée.

Les opérations de maintenance programmées toutes les cent heures de vol ou tous les ans ne permettaient pas de déceler la dégradation de la surface de la lame de train due aux frottements avec la cellule.


Jambe du train rompue.

Vue du logement de la jambe du train droit.

CAS n°3

• **Evénement :** rupture du train avant lors du roulement à l'atterrissage.
• **Aéronef :** avion Robin DR 253.
• **Lieu :** aérodrome de Pont-sur-Yonne (89).
• **Conséquences et dommages :** avion fortement endommagé.
• **Circonstances :** le pilote décolle de l'aérodrome de Nangis (77) à destination de Pont-sur-Yonne (89), avec deux passagers à bord. Il explique qu'il atterrit normalement ;

Vue de la rupture.

puis roule quelques mètres sur la piste non revêtue avant l'affaissement de l'avion sur le train avant.

Le démontage du train avant a montré que la platine de fixation inférieure était rompue au niveau du cordon de soudure assurant l'assemblage avec le fût du train avant. Les examens fractographiques ont révélé des défauts de pénétration (voir norme NF EN ISO 6520.1) sur toute la circonférence du cordon de soudure assurant la liaison entre la platine inférieure et le fût. Ces défauts ont permis l'amorçage d'une fissuration en fatigue du cordon de soudure sous l'influence de contraintes cycliques exercées à l'atterrissage et au roulage. Le même mécanisme d'endommagement, n'ayant pas encore conduit à la rupture, a été observé au niveau de la liaison soudée entre la platine supérieure et le fût.

Des ruptures comparables ont été observées à plusieurs reprises sur les trains de type « Robin » et « SAB ». L'EASA a publié le 5 novembre 2010 l'AD EU-2010-0231 qui rend obligatoire l'inspection de ces trains afin de détecter des criques. Cette AD requiert une opération toutes les 100 heures qui consiste à vérifier par ressuage l'intégrité du cordon de soudure sur la platine inférieure. Cependant, de par son mode de propagation (de l'intérieur vers l'extérieur), ce type de fissuration en fatigue n'est pas détectable par des examens de surface, de type ressuage, car ce procédé révèle uniquement des défauts débouchants. Les criques observées sur ce train ne sont donc détectables que dans leur phase terminale de propagation.

• **Conclusion :** l'accident est dû à des défauts de pénétration créés au soudage qui ont conduit à la diminution de la section résistante du cordon de soudure entre la platine inférieure et le fût du train. Cette section est alors devenue insuffisante pour tenir aux sollicitations en service, ce qui a provoqué la rupture au niveau de la liaison soudée et l'affaissement du train avant. L'application de l'AD EU-2010-0231 ne permet pas de détecter ce type de fissuration en fatigue et n'a pas pu éviter la survenue de cet accident.

LE REX DU MOIS

EVENEMENT SURVENU EN SEPTEMBRE 2012 AVEC UN DYNAMIC WT9

• **Circonstances :**
Mon club vient de faire l'acquisition d'un nouvel appareil qui nécessite impérativement de brasser l'hélice avant démarrage moteur de manière à faire remonter l'huile dans la bâche. Durant cette opération, le bouchon supérieur est enlevé et ce, notamment, afin de pouvoir entendre le bruit qui caractérise la remontée d'huile en partie haute (moteur Rotax carter sec).
Après cette opération, je termine la prévol et décolle pour un local. Durant le vol, une odeur de gaz imbrûlés m'incommode.
L'appareil vient juste de sortir de révision suite à la perte de son pot et j'imagine que cette odeur est susceptible de provenir du pot qui a, peut-être, été « mal ajusté ».
Je décide d'écourter mon vol et dès mon retour au sol, je fais part de cette odeur à l'instructeur présent au club. Ce dernier me demande si j'ai correctement fermé le bouchon de la bâche à huile. Je réalise alors que je ne l'avais pas remis en place... Un simple coup d'œil en direction de la station-service toute proche et je constate sa présence au sol. Dépité, l'instructeur me réconforte en indiquant que le moteur est heureusement conçu pour ne pas perdre son huile même en l'absence de son bouchon de remplissage d'huile. Une vérification immédiate du niveau d'huile le confirme.

• **Commentaires de l'auteur du REX :**
Afin de brasser l'hélice, on ne peut tenir le bouchon en main. Par commodité, et afin qu'il ne chute au sol, j'ai pris par habitude de le poser sur l'extrados de l'aile droite. Ce jour-là, j'ai omis de le remettre... Je précise que j'ai continué ma prévol dans le sens anti-horaire, c'est-à-dire qu'après avoir refermé la trappe, j'ai continué la prévol logiquement par l'aile gauche, puis je suis remonté dans l'avion. La prévol a été effectuée à l'issue d'un complément carburant à la pompe à essence. Je pense également qu'une pression invisible m'a conduit à « accélérer » ma prévol pour éviter d'occuper les lieux au cas où un autre appareil viendrait avitailler.

Si, vous aussi, vous avez vécu un vol délicat, partagez votre expérience dans le REX, sur le site de la FFA (www.ff-aero.fr). Vous pouvez aussi consulter les fiches REX déjà déposées.

CAS n°4

• **Evénement :** rupture du train avant lors du roulement à l'atterrissage, en instruction.
• **Aéronef :** avion Robin DR 400-120.
• **Lieu :** AD Le Touquet Paris-Plage (62).
• **Conséquences et dommages :** avion fortement endommagé.
• **Circonstances :** l'élève réalise un vol d'instruction en double commande entre les aérodromes de Dunkerque (59) et Le Touquet. A l'arrivée, il s'intègre en vent arrière pour atterrir en piste 32. L'arrondi et le touché du train principal se déroulent sans problème. Lors du touché de la roue avant, l'avion vibre fortement. L'instructeur met le manche en avant et freine. Le train avant se rompt et l'avion s'immobilise sur la piste.
Le train avant, construit par Robin, est rompu au niveau du cordon de soudure assurant la liaison entre le fût et la platine inférieure *(voir photos ci-contre)*.
Les examens réalisés ont montré que :
- plusieurs défauts de soudage étaient présents dans le cordon rompu : défauts de pénétration sur toute la circonférence, porosités de type soufflures, perçage local du fût ;
- le cordon de soudure s'est fissuré progressivement à partir des défauts existants, depuis la racine vers la surface du cordon ;
- la rupture finale s'est produite lorsque la section restante est devenue insuffisante pour tenir les efforts exercés lors de l'atterrissage.

L'avion a été construit en 1976. Les différents livrets cellule ne font pas mention d'un changement de train avant. Lors de l'accident, il avait volé 14 718 heures.

Vue d'ensemble du train avant rompu (côté gauche).

Vue d'ensemble du cordon rompu (vue de dessous).

Exemple de propagation de la fissure depuis la racine du cordon de soudure (platine non rompue dans le cas n°3).

Plusieurs ruptures de même type se sont produites sur les platines inférieures et supérieures de trains avant de construction SAB ou Robin. Des défauts de soudage ont systématiquement été observés. L'AESA a émis la consigne de navigabilité EU-2010-0231 le 5 novembre 2010, notamment afin de rendre obligatoires des contrôles par ressuage visant à détecter les criques de fatigue dans les platines supérieure et inférieure. Cette consigne concerne les avions HR séries 100, DR 253, DR 300 et DR 400.
Depuis l'émission de cette consigne de navigabilité, le BEA a enquêté sur l'accident du Robin DR 253 d'avril 2011 *(cf. cas n°3 ci-dessus)*. Le mode de rupture du train avant est identique à celui observé sur le Robin DR 400-120. Les contrôles exigés par la consigne de navigabilité avaient été réalisés. Les fissures en fatigue observées dans les cordons de soudure se propageant depuis la racine du cordon vers l'extérieur, un contrôle de surface par ressuage ne permet pas de les détecter.

• **Conclusion et recommandation :**
Rappel : conformément aux dispositions de l'article 17.3 du règlement n° 996/2010 du Parlement européen et du Conseil du 20 octobre 2010 sur les enquêtes et la prévention des accidents et des incidents dans l'aviation civile, une recommandation de sécurité ne constitue en aucun cas une présomption de faute ou de responsabilité

dans un accident, un incident grave ou un incident. Les destinataires des recommandations de sécurité rendent compte à l'autorité responsable des enquêtes de sécurité qui les a émises, des mesures prises ou à l'étude pour assurer leur mise en œuvre, dans les conditions prévues par l'article 18 du règlement précité.

L'accident est dû à des défauts de soudage sur le train, que l'application des contrôles imposés par la consigne de navigabilité EU-2010-0231 ne permettait pas de détecter. Ces défauts ont conduit à la fissuration en fatigue du cordon assurant la liaison entre la platine inférieure et le fût, depuis sa racine vers l'extérieur, la rendant ainsi non détectable par un contrôle de surface.

En conséquence, le BEA recommande :

- que l'AESA mette en place, en collaboration avec la DGAC, une solution technique afin de prévenir l'apparition de nouvelles ruptures de ce type, et de modifier la consigne de navigabilité EU-2010-0231 en conséquence. [Recommandation FRAN-2012-031]

CAS n°5

- **Evénement :** rupture du sandow amortisseur du train droit à l'atterrissage, cheval de bois.
- **Cause identifiée :** visite périodique incomplète.
- **Aéronef :** avion Piper PA-19 « Super Cub ».
- **Lieu :** AD Brive (19), piste 32.
- **Conséquences et dommages :** aile droite endommagée.
- **Circonstances :** le pilote, propriétaire du PA-19 depuis le 1er août 2003, s'entraîne en effectuant des circuits de piste. Il explique qu'au cours du deuxième atterrissage l'avion touche la piste à droite de l'axe et rebondit. Il tente de rejoindre l'axe de piste en actionnant les palonniers lors de la décélération avant de remettre les gaz (il n'exclut pas avoir touché aux freins). Il perd le contrôle de l'aéronef qui lui semble s'affaisser du côté droit. L'avion effectue un cheval de bois. Le saumon de l'aile droite heurte la piste.

L'examen de l'avion montre que le sandow servant d'amortisseur du côté droit est rompu et présente également des amorces de rupture dans d'autres zones que celle rompue (gaine et fibres élastiques périphériques abîmées). Le sandow gauche présente les mêmes signes d'usure *(voir photo ci-dessous)*.

Les recherches relatives aux visites de maintenance programmée n'ont pas permis de déterminer la date du dernier remplacement des sandows. Seul un bon de 1994 mentionne la commande de quatre sandows. Le programme d'entretien appliqué par l'unité d'entretien agréée préconise une inspection visuelle après démontage des cache-sandows toutes les 50, 100, 500 et 1 000 heures avec remplacement si nécessaire.

Aucune remarque relative au niveau d'usure des sandows n'a été mentionnée lors de la dernière visite des 1 000 h effectuée en avril 2003. L'item correspondant n'est pas visé. Il est peu vraisemblable que les sandows se soient détériorés de la sorte depuis cette visite *(accident survenu en août 2003)*.

Sandow gauche hors de sa housse.

Sandow droit rompu et le gauche protégé par une housse.