PAR MICHEL BARRY

Pilote professionnel, ingénieur aéronautique

Sécurité

Le rebond à l'atterrissage Causes, effets et comment réagir lorsqu'il se produit



Atterrir sans rebondir constitue l'une des grandes difficultés de l'apprentissage du pilotage. Au-delà du confort que procure un contact en douceur des roues sur la piste, celui-ci permet surtout d'éviter de se retrouver en perdition à plusieurs mètres de hauteur.

Si la douceur du contact des roues sur le sol est une condition nécessaire à un bon atterrissage, elle ne constitue pas une condition suffisante pour éviter le rebond. En effet, en étudiant son mécanisme, on comprend mieux l'ensemble des autres précautions qui permettent de l'éviter. Le reste n'est plus que « coup de patte» de la part du pilote. Une habileté de débutant est la plupart du temps amplement suffisante pour assurer un contact acceptable. A condition toutefois que l'ensemble des paramètres (vitesse d'approche, stabilité de la trajectoire, corrections imposées par le vent) se situe dans les limites de qualité nécessaires au lâcher d'un pilote.

D'abord quelques accidents rapportés par le BEA nous permettront de comprendre pourquoi des appareils ont rebondi dangereusement. Nous verrons que souvent l'erreur

initiale ou la faute qui a provoqué le rebond était évidente et bien détectable par le pilote ou par son instructeur dès la finale. L'obstination à vouloir atterrir a constitué la faute ultime. Une remise de gaz pour se présenter dans de meilleures conditions aurait souvent évité des blessures et la casse de l'avion.

Nous rappellerons ensuite quelles sont les qualités minimales de la finale qui peuvent être considérées comme admissibles pour poursuivre afin de procéder à l'atterrissage.

Enfin nous donnerons, en les justifiant, les « remèdes » qui peuvent éviter le pire en cas de rebond. Nous remarquerons qu'ils ne sont pas universels et que la gravité d'un rebond n'est pas la même sur un paisible avion école ou sur un warbird. Mais nous nous bornerons aux avions légers, ceux que nous trouvons dans les aéroclubs. Notons cependant que

le rebond à l'atterrissage est une préoccupation générale, quel que soit le tonnage, et qu'il constitue une séquence difficile à reproduire au simulateur et, bien entendu, impossible à démontrer en vol.

Un document édité par Transports Canada (www.tc.gc.ca/media/ documents/ac-opssvs/705-007.pdf) montre bien la difficulté de construire une phase de formation au problème du rebond à l'atterris-

Donc, encore une fois, mieux vaut prévenir que guérir.

A-Les mécanismes du rebond et leurs facteurs contributifs

Le rebond à l'atterrissage se produit lorsqu'en touchant la piste l'appareil est instantanément soumis à une ou à plusieurs forces supplé-

mentaires dirigées vers le haut et qui s'ajoutent à la portance. Avant le contact, la portance équilibrait le poids de l'avion (vario constant) ou était un peu inférieure (vario décroissant). L'origine des rebonds est variée.

· La détente du train d'atterrissage : comprimé comme un ressort au moment de l'impact un peu trop fort, il restitue l'énergie emmagasinée. Il s'agit d'un rebond au sens balistique du terme. Lorsque le train est pourvu d'amortisseurs, ceux-ci dissipent l'énergie sous forme de chaleur et la détente progressive atténuée réduit l'intensité du rebond (DR 400, PA-28...). Au contraire, lorsque le train n'est pas amorti, par exemple constitué d'une simple lame (ou d'un tube) d'acier, de dural ou de matériaux composites sollicitée en flexion, l'énergie est presque entièrement restituée et participe au rebond, notamment si la force d'impact a largement dépassé le poids de l'avion (Cessna 150, Cessna 172, Broussard..). Voir photos ci-contre.

• Un accroissement de la portance dû à une brutale augmentation de l'incidence provoquée par la réaction du sol sur le train d'atterrissage: sur les avions à train classique, le train principal est situé en avant du centre de gravité de l'avion. Lorsque les roues touchent le sol, avant la roulette de queue, la réaction a tendance à provoquer un couple cabreur. Si, à cet instant, la vitesse est largement supérieure à la vitesse de décrochage, l'augmentation d'incidence provoque un excédent de portance qui fait remonter l'avion. Ensuite, si l'incidence continue à augmenter et dépasse l'incidence de coefficient de portance maximal, l'avion décroche après avoir été propulsé à plusieurs mètres de hauteur. Pour un avion à train tricvele, la réaction sur le train principal a plutôt tendance à provoquer une diminution de l'incidence. Mais si la roulette de nez touche en premier ou si l'avion «touche trois points», le résultat est plutôt «cabreur» car la réaction sur la roulette de nez est prépondérante. En effet, le train principal plus chargé s'enfoncera davantage (voir cas BEA n° 3).

• Une rafale de vent : alors que la vitesse de l'avion s'approchait normalement de VS et que la portance était sur le point de ne plus compenser le poids, une brutale rafale de vent a augmenté la vitesse/air donc la portance. L'avion a été soulevé à inci-

dence et à assiette constantes. Bien qu'il ne s'agisse pas d'un rebond, la conséquence est semblable. En effet, dès que la rafale cesse, l'avion se retrouve abandonné à plusieurs mètres du sol à une vitesse avoisinant VS ou même inférieure à VS (voir cas BEA n°2).

- Une bosse sur la piste qui fait office de tremplin: toutes les pistes ne sont pas idéalement plates. Certaines parties peuvent présenter des bosses qui, lors du roulement au début de l'atterrissage, alors que la portance s'est revigorée dans l'effet de sol, propulsent l'avion à quelques mètres du sol (voir cas BEA n°2).
- L'arrondi « qui remonte » : il s'agit d'une erreur de pilotage. On pense arrondir au ras du sol et on ne s'aperçoit pas que la trajectoire remonte. Si bien que la vitesse va atteindre VS puis devenir inférieure alors qu'on a repris un peu de hauteur.

B- L'approche et la finale idéales pour éviter les rebonds : stabiliser!

Le dénominateur commun aux situations décrites ci-dessus est une force imprévue qui fait remonter l'avion alors que le pilote ne s'y attend pas. Parfois il s'agit d'une maladresse dans la manœuvre d'arrondi mais parfois aussi l'avion possède trop de vitesse pour atterrir. Les réactions dues au sol (réaction sur le train, effet de sol) vont alors dans le sens de produire un accroissement de la por-

De la plus simple à la plus sophistiquée, deux technologies pour le train d'atterrissage. Nos petits avions étant faciles à poser et leur rebond rarement catastrophique, les constructeurs se contentent souvent de faire absorber le choc à l'atterrissage par un élément élastique, non amorti. Duand ils introduisent un amortisseur oléopneumatique, c'est au détriment de la masse.



Jambes de train rudimentaires En haut : Cessna Centurion. En bas : MH 1521 Broussard.

Peu d'amortissement en cas d'atterrissage dur sinon celui dû au ripage latéral des roues. L'énergie en cas d'impact fort sera peu dissipée et elle aura tendance à faire rebondir l'avion.



Jambe de train articulée, pourvue d'un amortisseur

La jambe de train du SOCATA TB 10 est pourvue d'un tirant articulé sollicitant l'élément de suspension. Ce dernière est constitué d'un bloc oléopneumatique qui combine la fonction ressort et la fonction absorption du choc de l'atterrissage. Il assure aussi le confort du roulage comme pour un véhicule routier.

tance ou une réaction due au train dirigée vers le haut.

Lors d'une approche réalisée à une vitesse recommandée, en général 1,3 VS pour un avion léger, les 30 % de marge nécessaires pour assurer la sécurité anti-décrochage en finale, sont résorbés lors de l'arrondi et de la phase à très faible hauteur qui précède le toucher des roues. En effet l'appareil sans puissance, contraint d'effectuer une variation de pente puis un palier horizontal, perd très vite son excédent de vitesse. Lorsque la portance n'équilibre plus le poids,

la trajectoire s'infléchit vers le bas et l'appareil se pose en douceur.

Pour réussir cette manœuvre idéale, il faut que la séquence de décélération au ras du sol soit bien maîtrisée par le pilote. D'où la nécessité qu'elle débute toujours à la même vitesse et à la même hauteur. Par voie de conséquence, si la courte finale est stabilisée en trajectoire et en vitesse, le pilote déclenche la phase d'arrondi à un point qui lui est familier. Or «trajectoire bien stabilisée» implique «avion bien compensé». Dans ce cas, la manœuvre

d'arrondi se fait grâce à une action au manche qui nécessite une amplitude et des efforts habituels.

Au contraire, en cas de finale avec l'avion mal compensé, la trajectoire est plutôt ondulée, la vitesse mal stabilisée et le pilote n'a plus de références pour les efforts, les amplitudes au manche et le moment où débuter l'arrondi. Les conditions sont réunies pour que se produise un premier contact plus violent que prévu et le train se détendant participera à amplifier le rebond.

De nombreux rapports BEA concluent que la cause du ou des rebonds est bien la finale mal stabili-

· Cas n°1

Evénement: atterrissage manqué. Cause identifiée: approche non stabilisée en vitesse due à une focalisation de l'attention sur le point d'aboutissement.

Conséquences et dommages :

hélice et train avant endommagés. Aéronef: avion Piper PA-28 181

«Archer 2».

Personnes à bord : pilote + 2.

Titres et expérience: pilote, 56 ans, PPL du 8 avril 2003, 148 h de vol dont 134 en double commande, 17 dans les trois mois précédents, dont 3 sur type.

Conditions météorologiques:

vent 190° / 04 kt, visibilité supérieure à 10 km, FEW à 3 000 pieds...

Circonstances: le pilote, accompagné de membres de sa famille, décolle de l'aérodrome de Montpellier Méditerranée (34) pour un vol à destination de Brive (19). Lors de l'approche finale, il constate que le PAPI ne fonctionne pas alors qu'il comptait utiliser cette aide à l'atterrissage. Il règle les paramètres moteur pour une approche sur un plan à 5 % avec les volets sortis sur le troisième cran. L'avion rebondit à l'atterrissage avant de heurter la piste avec une assiette à piquer. Le train avant cède et l'avion finit sa course sur le nez.

Le pilote indique qu'il a focalisé son attention sur le point d'aboutissement sans surveiller sa vitesse. Il ajoute qu'il n'a pas remis les gaz car il n'a pas remarqué que la vitesse n'était pas stabilisée. Il précise que, surpris par la violence du premier impact, il a pu avoir une action à pousser sur le manche après le rebond et n'a pas réajusté la puissance pour réaliser un nouvel arrondi.

Le pilote transportait des passagers pour la première fois. C'était son premier atterrissage à Brive.

· Cas n°2

Evénement: atterrissage manqué. Cause probable: vitesse excessive en courte finale.

Conséquences et dommages:

hélice, bâti moteur, train avant et plancher cabine endommagés. Aéronef: avion Robin DR 400-

200 R.

Personnes à bord : pilote + 3. Titres et expérience: pilote, 58 ans, VV de 1978, 3873 h de vol planeur et motoplaneur, TT de 1980, 140 h de vol avion dont 19 sur type et 15 dans les trois mois précédents.

Conditions météorologiques: vent mesuré à Valence, situé à vingt kilomètres du site de l'accident : 180° / 25 kt, rafales 38 kt.

Circonstances: après avoir pris des renseignements météorologiques, le pilote décolle vers 12 h 40 de l'aérodrome de Romans pour un vol à destination d'Avignon. Rencontrant des conditions météorologiques défavorables aux environs de Montélimar, il décide de faire demi-tour. A l'atterrissage en piste 24 à Romans, l'avion touche le sol une première fois et rebondit. Il touche le sol une deuxième fois et le train avant s'efface. L'avion s'immobilise sur la piste soixante mètres plus loin. Lorsqu'il a survolé l'aérodrome de Romans avant son intégration dans le circuit, le pilote a estimé que l'orientation du vent était proche de celle de la piste. Il a indiqué que la vitesse de l'avion en courte finale était importante et a ajouté que le premier rebond s'était produit sur une ondulation de la piste.

· Cas n°3

Evénement: rebond à l'atterrissage, décrochage lors de la tentative de remise de gaz.

Cause identifiée: dosage inadapté d'assiette lors de la tentative de remise de gaz.

aéronef fortement endommagé. Aéronef: avion SOCATA TB 20.

Conséquences et dommages :

Nature du vol: navigation solo. Personnes à bord : pilote stagiaire seul à bord.

Titres et expérience: pilote stagiaire, 18 ans, 46 h de vol en double commande et 5 h comme pilote stagiaire seul à bord, 30 h dans les trois mois précédents, toutes sur type.

Conditions météorologiques: vent 320° / 15 kt, visibilité 50 km.

Circonstances: pour sa deuxième navigation solo, l'élève décolle de l'aérodrome de Carcassonne. Le vol se déroule normalement. Le pilote se présente à Montpellier Méditerranée pour un posé-décollé en piste 31 gauche revêtue afin de repartir aussitôt vers Alès puis Carcassonne. Il explique que l'avion est en configuration «atterrissage» à quatre-vingts nœuds. Après l'arrondi, l'avion touche «trois points« puis rebondit assez haut. Le pilote ajoute qu'il hésite un instant à toucher une nouvelle fois. La hauteur du rebond l'incite à remettre les gaz. Alors que l'assiette de l'avion est déjà cabrée, il applique la procédure de remise de gaz «assiette, puissance». Pleins gaz, et à une hauteur d'environ cinq mètres, l'aéronef décroche de l'aile gauche et heurte violemment le sol. Sous l'effet du choc, le moteur se désolidarise de la cellule. L'avion sort de piste et s'immobilise dans l'herbe. Le pilote évacue l'aéronef sans encombre.»

Vouloir atterrir avec un appareil qui file trop vite en effet de sol, à faible incidence, est aussi une situation propice au rebond. Car si l'appareil vole avec une assiette inhabituellement plate, c'est que la vitesse est bien trop grande. Au moindre contact avec le sol, par exemple par la roulette de nez, l'accroissement d'incidence va générer un excédent de portance. L'avion sera propulsé haut au-dessus de la piste. Si sa longueur est encore suffisante et si vous parvenez à poursuivre le palier en contrôlant la hauteur, vous pouvez procéder à l'atterrissage. Sinon mieux vaut remettre les gaz, réfléchir à la raison pour laquelle vous vous êtes présenté trop long, et corriger pour une deuxième arrivée stabilisée et à la bonne vitesse.



D'une manière générale, et même si l'étude du rebond est impossible, votre formation vous a donné les éléments qui vous permettront d'abord de l'éviter. Et si nécessaire procéder à une remise de gaz. Comme on le verra plus loin, on se sortira d'un sévère rebond par une action identique à celle qui vous a été enseignée pour sortir du vol aux grands angles (d'incidence). Ce que n'a pas réussi le pilote du cas n°3. D'où la nécessité de bien connaître cette manœuvre qui s'apprend en école à une hauteur de sécurité.

Pour des appareils à masse «très variable» il y a lieu de choisir, comme vitesse en finale, 1,3 VS avec VS vitesse de décrochage réelle à la masse réelle. Et non VS à la masse max, valeur du manuel de vol.

Pour un DR 400/120 par exemple, VS0 à la masse max (900 kg) vaut 83 km/h d'où une vitesse en finale de 1.3×83 km/h = 108 km/h.

A 700 kg (cas d'un lâcher), VS0 vaut 83 x (racine 700/900) = 83 x 0,88 = 73 km/h. Dans ce cas, 1,3 VS0 vaut 1,3 x 73 km/h = 95 km/h.

En arrivant à 108 km/h (probablement arrondis à 110), c'est donc environ 15 km/h de plus que nécessaire qui pourraient justifier des difficultés à éviter le rebond pour un pilote débutant.

C- J'ai rebondi! Je suis à cinq mètres du sol à très (trop) basse vitesse. Que faire?

Les situations précédentes nécessitent une réaction rapide. L'idée pédagogique maîtresse est de « ne pas aggraver la situation » (Consigne SEFA donnée aux instructeurs).

• Appareil en rebond et probablement en train de décrocher : en général, le premier rebond est moins destructeur que le second. En phase balistique (on ne sent pas l'avion voler), il y a lieu de préparer le deuxième toucher qui ne va pas tarder. Surtout ne pas faire une trop forte action à piquer car la vitesse est probablement proche de VS et le moment aérodynamique de l'avion va devenir brutalement piqueur.

Extrait d'un rapport BEA: « ... Lors du troisième atterrissage, l'avion touche durement la piste puis rebondit. L'élève explique qu'il pousse sur la commande de profondeur. Le train avant heurte durement la piste et se rompt.»

Si vous n'êtes pas trop haut (quelques mètres), essayez de diminuer légèrement ou de garder l'assiette constante de façon à vous poser sur le train principal capable d'absorber une chute surtout accompagnée par ce qui reste de portance (parachutage). Se poser sur la roulette de nez après un rebond (cas n°1, cas n°2) nuirait gravement à sa santé...

· Appareil volant mais peu manœuvrable, prêt à décrocher : si on sent que l'avion vole et obéit encore, il vaut mieux tenter de le piloter. Contrôler la trajectoire en s'aidant du moteur permet de réduire la vitesse de chute et de passer sur une pente moins raide (technique de sortie du vol aux grands angles). Mais attention à la distance de piste encore utilisable. En cas de doute, la remise de gaz est, là aussi, préférable car elle donne le répit nécessaire à l'analyse des raisons qui ont conduit au rebond ou à la remontée inattendue pendant l'arrondi.

Comme en cas de présentation trop rapide, les quelques minutes du nouveau tour de piste permettent d'analyser et de corriger. En général, il suffit d'exécuter la deuxième finale en pensant bien à la stabiliser et en tenant bien la vitesse recommandée pour que tout se passe très bien.

S'il vous arrive de rater votre première finale car vous ne connaissiez pas bien la vitesse recommandée, n'hésitez pas à consulter le manuel de vol ou votre check-list ou même à entrer en contact avec une personne qualifiée (votre instructeur pendant un lâcher) afin de confirmer la vitesse à tenir. Loin d'être moqué, vous serez même considéré comme un pilote responsable.