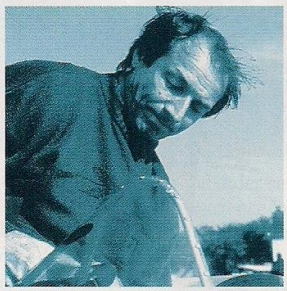
Exemples BEA
Nouveau ! Retrouvez désormais tous les liens des exemples des rapports du BEA de cet article sur le site www.info-pilote.fr, rubrique sécurité.



par **MICHEL BARRY**
pilote professionnel,
ingénieur aéronautique

Au sol, **ne faites pas la brouette**

Le « wheelbarrowing », expression imagée et pertinente décrivant un comportement caractéristique d'avions à train tricycle, est d'actualité ce mois-ci après plusieurs pertes de contrôle à l'atterrissage.

L'atterrissage des appareils à train tricycle présente des difficultés parfois méconnues des pilotes. Ainsi forcer un appareil à atterrir alors que sa vitesse est très largement supérieure à la vitesse recommandée peut conduire à une perte de contrôle désignée par nos amis anglo-saxons par le terme imagé de « wheelbarrowing ». En français, « faire la brouette ».

Deux accidents survenus sur notre territoire montrent que le wheelbarrowing n'est pas une spécialité anglaise ou américaine et nous renvoient aux études conjuguées de la mécanique du vol et du roulement au sol pendant l'atterrissage.

Le phénomène est également possible lors d'un décollage. Parfois en démonstration, des pilotes, notamment d'appareils STOL, exécutent intentionnellement la manœuvre pour montrer à la fois leur habileté et les possibilités de l'appareil. Ne pas imiter en DR 400 !

Voir la vidéo sur www.info-pilote.fr

A. Atterrissage normal et atterrissage à vitesse trop élevée d'un appareil à train tricycle.

1. Atterrissage normal

• Le pilote doit présenter l'appareil au-dessus de la piste à une assiette telle que les roues du train principal touchent en premier. Grâce à une vitesse comprise entre 1,3 VS0 et VS0, l'incidence de vol stabilisé en palier est élevée, voisine de l'incidence de portance maximale à VS0. La trajectoire tend à devenir horizontale après l'arrondi (pente nulle) et, dans ce cas, assiette et incidence sont égales pendant la durée du palier qui précède le toucher des roues du train principal.

• Le train principal touche la piste. L'avion s'y appuie de plus en plus fort au fur et à mesure que la portance diminue avec la régression de vitesse.

• Le pilote doit alors poser la roue avant (roulette de nez). Il est préférable qu'il en assure la descente tant que la vitesse lui permet de garder le contrôle de l'assiette au manche. S'il ne contrôle pas le posé de la roue avant, la perte d'efficacité de la profondeur s'en chargera dès que la vitesse n'assurera plus la portance « vers le bas » de l'empennage horizontal. Le contact sera d'autant plus brutal que l'appareil est centré plus avant. Et, dans ce cas, il vaut mieux que la roulette de nez soit bien orientée sinon l'avion aura tendance à embarquer du côté où elle est braquée.

• Dès que la roulette de nez est appuyée au sol, elle maintient la trajectoire rectiligne de fin de roulement à l'atterrissage. Elle permet ensuite de dégager la piste et de contrôler le taxiage quand la vitesse est plus faible.

Pendant toute la phase de roulement, de la vitesse de toucher de la roulette de nez jusqu'au taxiage à basse vitesse, l'avion est dirigé un peu à la manière d'un véhicule terrestre comme une automobile. Il obéit aux mêmes tendances, survireur ou sous-virreur, selon qu'au cours d'un virage ce sont les roues du train principal ou plutôt la roulette de nez qui dérapent les premières.

On rappelle qu'une roue dérape quand la force horizontale latérale (force d'inertie centrifuge au cours d'un virage) Fy dépasse un

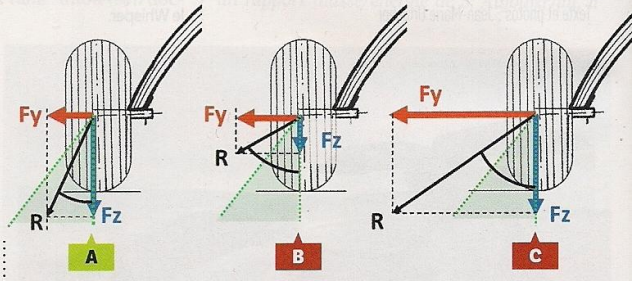


Figure 1.
Condition de dérapage d'une roue : direction de la résultante R.
Fy, force de dérapage, est due en général à l'accélération centrifuge lors d'un virage.
Fz, force d'appui, est la différence entre le poids de l'avion et la portance de l'aile.
R est leur résultante. Il y a dérapage quand R n'est plus à l'intérieur du secteur en vert.
L'angle du secteur en vert est constant pour un état de la piste donné. Il est caractéristique de l'adhérence du pneu sur la piste. Plus il est grand, plus le couple pneu/piste adhère bien (ne dérape pas).
A - Puisque R est à l'intérieur du secteur en vert, l'adhérence du pneu, due à l'appui Fz, est suffisante pour résister à la force Fy, le pneu ne dérape pas.
B - Fy n'a pas changé, mais la force d'appui Fz a diminué. La résultante R sort du secteur en vert : la condition d'adhérence n'est plus satisfaite. La roue glisse dans le sens de Fy.
C - Fz est identique à Fz du cas A. Fy a augmenté. De nouveau la résultante sort du secteur en vert bien que Fz, la force d'appui, soit celle du cas A. La roue dérape.
C'est donc le rapport Fy/Fx qui détermine la condition de dérapage des roues.
Pour un état de la piste donné, le dérapage a lieu si le rapport Fy/Fx dépasse une valeur caractéristique. Quelques valeurs caractéristiques :
• Pneu sur de l'asphalte : dérapage si Fy/Fz > 0,9
• Pneu sur l'herbe mouillée : dérapage si Fy/Fz > 0,3 ou 0,5
• Pneu sur piste mouillée ou enneigée : dérapage si Fy/Fx > 0,1 ou 0,3
• Pneu sur neige dure ou verglas : dérapage si Fy/Fx > 0,05

certain pourcentage de sa charge Fz, voir figure 1.

Pour simplifier, la roue ou les roues les moins chargées auront tendance à déraper les premières :

• si c'est la roue avant, l'avion refuse de virer (cas non étudié ici, car la roulette de nez n'est pas censée déraper) ;

• si ce sont les roues du train principal, l'avion (objet de la présente analyse) aura une trajectoire instable avec tendance permanente à virer (on dirait « tête à queue » pour un véhicule terrestre, on dit « cheval de bois » ou « perte de contrôle » pour un aéronef). Voir figure 3.

2. Atterrissage avec risque de dérapage ou d'adhérence nulle du train principal : « wheelbarrowing »

2.1. Mécanisme de la perte de contrôle par wheelbarrowing.

Nos petits avions à train tricycle peuvent avoir un comportement analogue quand la portance de l'aile allège trop la charge sur le train principal. Dans ce cas, l'appareil en appui sur la roulette de nez devient instable en lacet, donc vulnérable à la moindre sollicitation latérale, qui peut être soit :

• une composante du vent traversier ;

• une mise en virage intempestive produisant une force d'inertie centrifuge appliquée au centre de gravité de l'appareil donc bien en arrière de la roulette de nez.

Le roulage de l'appareil à train tricycle s'apparente alors au roulage d'un train classique en appui sur son train principal. L'instabilité en lacet du train tricycle est accentuée par la position encore plus avancée de la roulette de nez.

2.2. Conditions produisant ou favorisant l'allègement, donc la perte d'adhérence du train principal. Recommandations implicites.

• Une vitesse trop élevée en finale suivie de l'obstination du pilote à vouloir continuer l'atterrissage. Vitesse élevée conduit à incidence faible, donc à assiette faible avec risque de voir la roulette de nez toucher avant les roues du train principal.

• Parallèlement, une vitesse bien supérieure à VS0 donne un excédent de portance concourant à l'allègement du train principal.

• Un rebond à l'atterrissage avec l'avion qui retombe sur la roulette de nez. La vive réaction de son contact brutal avec le sol peut engendrer une force latérale avant que les roues du train principal n'aient repris contact avec le sol. Le rebond est souvent, lui aussi, la conséquence d'une vitesse trop élevée en finale (voir REX du mois).

• Une obstination du pilote à positionner le manche secteur avant, dès le contact, à l'atterrissage. Il s'ensuit une force de portance de l'empennage horizontal qui peut concourir notoirement à l'allègement du train principal (un peu à la manière du Caribou, fig.2). Cas de figure que rencontrent les pilotes de DR 400 qui dosent mal l'appui sur la roulette de nez, appui pourtant recommandé, afin d'enfoncer un peu l'amortisseur dans le but de déverrouiller le mécanisme de blocage en direction de la roulette de nez (*IP* n°715 d'octobre 2015). Voir exemple BEA n°1. Manche secteur avant oui, mais pas trop tôt sur DR 400 !

• Un avion équipé d'une aile à grands volets, très hypersustentée, sera davantage concerné par le risque. Une rentrée des volets dès l'atterrissage limitera toujours la portance de l'aile.

• Une majoration excessive de la vitesse d'approche, en cas de vent soufflant en rafales, favorise le phénomène si l'excédent de vitesse n'est pas résorbé lors de l'atterrissage.

• En cas d'atterrissage rapide, un freinage trop appuyé à grande vitesse peut produire un transfert de charge sur la roulette de nez, allégeant ainsi le train principal.

A noter que l'allègement du

Figure 2.
Démonstration de wheelbarrowing par un pilote de Caribou STOL.
La portance de l'aile hypersustentée soulève le train principal. L'action à piquer sur la gouverne de profondeur appuie la roulette de nez sur la piste l'avion pivotant autour de son aile. Seul le pilotage très expert, d'un pilote de présentation entraîné, permet de conserver l'axe grâce à des corrections instantanées de la gouverne de direction et des ailerons. Sans l'adhérence des roues principales, le moindre vent de travers a tendance à faire pivoter l'avion autour de sa roulette de nez. Il en est de même pour toute tendance à embarquer à gauche ou à droite qui ne peut être contrée par la réaction latérale du train principal décollé de la piste.

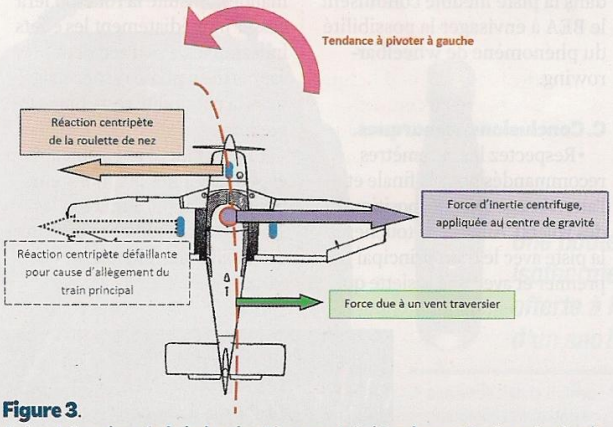


Figure 3.
Avion tricycle privé de la réaction centripète de son train principal peu chargé, donc peu adhérent : il avance, telle la brouette, sur sa seule roue avant.
S'il est soumis à une perturbation latérale, par exemple une légère composante due au vent traversier, il subit immédiatement l'effet dû au couple engendré par les trois forces actives :
• réaction de la roulette de nez dirigée vers l'intérieur du virage,
• force d'inertie centrifuge qui apparaît au moment de la mise en virage,
• reliquat de la force due au vent traversier.
Dès que les roues du train principal adhéreront de nouveau à la piste, elles auront tendance à neutraliser le couple scélérat. Mais parfois le mal est fait et l'avion au roulage continue sur une trajectoire qui le fait sortir de piste.

train principal pénalise l'efficacité du freinage des roues ce qui nuit à raccourcir la durée de la situation inconfortable.

B. Deux accidents de DR 400 pour lesquels le phénomène a été identifié par le BEA.

1. Exemple BEA n°1

Lire l'intégralité sur www.info-pilote.fr

Une vitesse excessive en approche en DR 400, 140 km/h (alors que 1,3 VS0 valait 110 km/h), avec les pleins volets (VFE ?), conduit le pilote à poser l'appareil sur la roulette de nez. Devenu incontrôlable, l'avion se déporte sur la gauche et sort de la piste.

2. Exemple BEA n°2

Lire l'intégralité sur www.info-pilote.fr

Un atterrissage long imposé au pilote d'un DR 253 et une courte finale trop rapide (145 km/h, vitesse estimée par le BEA) produisent un atterrissage mal contrôlé par un pilote peu expérimenté et sur un terrain à la surface bosselée. Le manche maintenu secteur avant et l'appui excessif sur la roulette de nez révélé par son enfoncement dans la piste meuble conduisent le BEA à envisager la possibilité du phénomène de wheelbarrowing.

C. Conclusions, remarques.

• Respectez les paramètres recommandés pour la finale et l'atterrissage (vitesse, position des volets). Ainsi vous toucherez la piste avec le train principal en premier et avec une assiette qui doit vous éviter le phénomène de wheelbarrowing.

• Pour le cas des Robin DR à train tricycle, le positionnement du manche secteur avant, recommandé pour déverrouiller le pivotement de la roulette de nez, doit être effectué au bon moment. Surtout pas pendant que l'avion roule vite et ce, afin d'éviter le wheelbarrowing. Mais pas trop tard non plus ! Il est toujours utile de faire un tour de contrôle avec un instructeur quand on n'a pas saisi toutes les subtilités d'un avion.

• Le phénomène peut également se produire au décollage si vous attendez trop, manche secteur avant.
Mais la vitesse croissant, vous retrouverez vite le contrôle en lacet grâce à l'efficacité des commandes. Ensuite la rotation fera cesser immédiatement les effets indésirables. Pas d'accident rapporté en phase de décollage, mais la possibilité reste bien réelle.

• Deux vidéos amusantes et pédagogiques qui montrent pourquoi l'appui sur la (ou les 2 roues) avant n'est pas un critère de stabilité du véhicule.

Voir sur www.info-pilote.fr

REX du mois (n° 435)

Vitesse excessive en finale : atterrissage dur

• **Lieu :** Ouessant • **Type d'aéronef :** WT9

• **Description de l'événement :** Rupture patin de protection de queue suite à un facteur de charge enregistré à 8 g. Le pilote se présente à l'atterrissage dans l'intention d'effectuer un toucher à Ouessant. Surestimant la vitesse du vent, il majore sa vitesse d'approche jusqu'à 115 à 120 km/h. Au toucher des roues, il subit un rebond assez fort. Au lieu de remettre les gaz, il persiste à poursuivre l'atterrissage car il estime avoir peut-être abîmé l'avion. La poursuite de l'atterrissage engendrera d'autres rebonds avant d'arriver à une diminution de la vitesse permettant l'atterrissage définitif.