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

ATTENTION AUX **PISTES BOUEUSES !**

Une piste d'envol boueuse pénalise fortement les performances au décollage. Il peut arriver que pour des appareils, normalement motorisés pour des décollages sur des pistes en herbe même "grasse", le décollage devienne impossible sur piste boueuse ou enneigée.

En effet à partir d'une certaine vitesse de roulement dans la boue ou la neige fondue la puissance nécessaire pour accélérer croît très vite. Et si elle devient supérieure à la puissance disponible l'appareil cesse de gagner de la vitesse et ne décolle pas.

Un peu de théorie concernant la résistance à l'avancement des pneus dans la boue.

Le pneu écrase la couche de boue afin de trouver quelques millimètres plus bas un pseudo-appui qui équilibre la charge à laquelle la jambe de train est soumise. Plus la charge est élevée plus la roue s'enfonce. Une fois enfoncée, elle trouve son passage dans la boue en rejetant cette dernière sur les côtés comme le ferait un chasse-neige. La mise en mouvement de la masse boueuse initialement immobile obéit à des lois de la mécanique de fluides (Théorème d'Euler). Elles permettent d'estimer la puissance dépensée et de comprendre combien repousser un centimètre de boue sur les côtés, à une vitesse proche de la vitesse de rotation d'un avion léger, peut s'avérer impossible.

En effet la puissance nécessaire au roulement dans la boue ou la neige fondue se calcule par la loi suivante :

$$P = \rho * e * L * V^3$$

Avec :

P : puissance nécessaire.

ρ : masse volumique de la boue projetée sur les côtés. On prendra 1 000 kg/m³, comme pour de l'eau.

e : épaisseur du film expulsé. On prendra 1 cm soit 10^{-2} m.

L : largeur des pneus. Pour un avion type DR 400 ou PA 28 on prendra 3 roues de largeur 150 mm soit au total :

$L = 3 * 0{,}15 = 0{,}45$ m

Ainsi par exemple :

• à 10 m/s on trouve

$P = 1\,000 * 10^{-2} * 0{,}45 * 10^3$

$= 4\,500$ W = 4,5 kW ou 6 ch

• à 30 m/s on trouve

$P = 1\,000 * 10^{-2} * 0{,}45 * 30^3 = 121\,000$ W = 121 kW ou 165 ch

La loi-puissance est proportionnelle au cube de la vitesse ! Ce qui explique sa croissance spectaculaire entre 10 m/s (36 km/h) et 30 m/s (108 km/h) et plus prosaïquement pourquoi "l'effet-boue", qui semblait anodin à la mise en puissance à basse vitesse lors des premiers mètres du décollage, devient un frein préoccupant au voisinage de la vitesse de décollage. Il peut dans certains cas consommer toute la puissance propulsive de l'hélice sans permettre à l'appareil de parvenir à la vitesse de rotation VR (**voir schéma ci-dessous**).

(Au contraire de "l'effet boue", le freinage dû à de l'herbe ou à tout autre élément non-fluide produit des frottements soit sensiblement constants, soit légèrement régressifs s'ils dépendent de la vitesse. Ce qui explique la majoration de la distance de roulement quasi linéaire des manuels de vol parce qu'ils ne prennent pas en compte "l'effet boue".)

On remarquera à ce stade de considérations théoriques que les appareils à hélice à pas fixe et les appareils à constant-speed ne sont pas logés à la même enseigne dans la phase délicate de l'accélération au décollage.

• Hélice à pas fixe : au décollage le moteur délivre une puissance voisine de la puissance maxi continue mais le rendement de l'hélice est faible. Une partie seulement de la puissance propulse l'avion. Pour repère on retiendra qu'au voisinage de la vitesse de rotation le rendement de l'hélice est de l'ordre de 0,4 ou 0,5 pour atteindre 0,7 en croisière. À plus basse vitesse le rendement est encore plus faible.

• Hélice à pas variable : au décollage le pilote peut demander la puissance maximale autorisée par ajustage de la pression d'admission et du régime-moteur. D'autre part l'hélice fonctionne à un rendement proche de son rendement maxi (environ 0,7) et ce quelques mètres seulement après

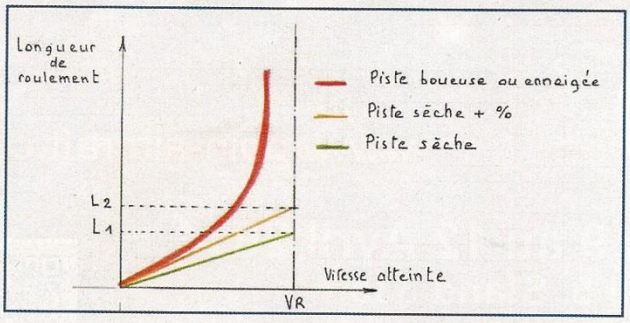


Schéma de la prise de vitesse en fonction de l'état de la piste

• Piste sèche : on atteint VR après un roulement de longueur L1

• Piste herbeuse ou un peu meuble ou légèrement polluée : on rajoute un pourcentage préconisé par le constructeur au chapitre "Performances au décollage" du manuel de vol. Par exemple : L2 = L1 +15%

• Piste franchement boueuse ou recouverte de neige fondue : il se peut qu'on n'atteigne jamais la vitesse de rotation car on plafonne à une vitesse V3 qui lui est inférieure.

• Dans les 3 cas la loi "Distance/Vitesse" au début de l'accélération est quasiment identique et n'interpelle pas même un pilote avisé. Ce n'est parfois que peu avant VR, alors qu'il est trop tard, qu'on comprend que l'appareil n'accélérera plus et ne pourra pas décoller.

le lâcher des freins et jusqu'à la vitesse de croisière en passant par la vitesse de rotation. Pour la même puissance du GMP une hélice à pas variable donnera davantage de chances de réussir le décollage, sur terrain meuble ou sur piste boueuse, qu'une hélice à pas fixe car la puissance délivrée pendant l'accélération et jusqu'à la rotation sera à chaque instant supérieure.

Deux cas concrets : la boue surprend deux pilotes très expérimentés. D'où sa dangerosité.

• **Exemple BEA n° 1 :** un pilote aguerri, pilote de ligne, se fait piéger par une zone boueuse sur une piste par ailleurs en état satisfaisant. Le facteur correctif de 15 % pour l'allongement de la distance de roulement au décollage a perdu toute sa signification dès lors que l'appareil a roulé dans une zone de boue. Il a pu cependant décoller mais bien plus loin que prévu et n'a pas réussi à franchir les obstacles en fin de piste. Le fait que ce professionnel à l'expérience de 18 900 heures de vol, connaissant bien de surcroît l'aviation générale, ait pu ne pas percevoir la dangerosité de la piste montre à quel point on doit se méfier des terrains peu connus surtout à la sortie d'un hiver particulièrement pluvieux.

• **Exemple BEA n°2 :** un peu d'improvisation et de cafouillage entre l'instructeur (26 000 hdv) et l'élève au cours d'une leçon. Le roulement lors du posé-décollé est plus long que prévu et amène l'avion jusqu'à une zone meuble d'où il ne réussit pas à décoller. L'ATIS avait pourtant bien mentionné des dégradations de l'état de la piste liées à des précipitations récentes. Encore une fois un changement de plan d'action sans les modifications et les précautions d'usage s'est heurté à une deuxième cause : l'état boueux du bout de la piste probablement inconnu de l'instructeur.

Comment exploiter un appareil en accord avec son manuel de vol ?

1- La décision - Il est très difficile de "peser exactement" l'ensemble des facteurs qui influent sur les performances au décollage, notamment la qualité de la piste. Aussi dans les manuels de vol les constructeurs donnent, conformément à des exigences qui leurs sont d'abord imposées puis ensuite approuvées par les autorités compétentes, des techniques de majoration de la distance de roulement au décollage. Elles se traduisent en général par un coefficient d'allongement de la distance de roulement. Ce qui signifie qu'en disposant d'une piste assez longue le décollage, même allongé, sera toujours possible. Mais, concernant les terrains boueux ou les sols meubles, les consignes de calcul sont beaucoup plus floues et laissent la plupart du temps une grande marge d'interprétation pour le pilote. La technique du "pourcentage de rallongement" ne fonctionnera pas toujours puisque parfois, comme le montrent les exemples, l'avion ne parviendra pas à atteindre sa vitesse de décollage. Dans ce cas il est fortement recommandé aux pilotes possédant peu d'expérience ou incapables, faute de références pour comparer la piste d'aujourd'hui et un cas précédemment rencontré, de renoncer au décollage. Dans l'exemple n°1, le BEA rappelle la seule consigne du Manuel de vol de l'avion accidenté : « *Les effets de conditions non prises en considération sur les graphiques, tels que celui d'une surface de piste meuble ou en herbe sur les performances de décollage et d'atterrissage, (…), doivent être évalués par le pilote* ».

Les pilotes plus habitués aux pistes "lourdes" appliquent des stratégies qui leur permettent de pouvoir interrompre à temps un décollage qui se présenterait mal. Il suffit de déterminer à quel point de la piste, point de décision, il reste encore assez de place pour s'arrêter dans de bonnes conditions. Dans ce cas, voir le chapitre "Performances à l'atterrissage" pour évaluer la distance de roulement à l'atterrissage compte tenu de l'état de la piste. Par exemple, il me faut 350 mètres pour m'arrêter sur une piste boueuse. Je cherche à identifier un repère (balise n° X) située à 350 mètres de la fin de la piste :

• si j'atteins VR avant la balise X, je décolle ;

• si je n'ai pas atteint VR à la balise X, j'interromps le décollage et il me reste assez de distance, puisque cette distance est calculée avec une vitesse initiale égale à la vitesse d'atterrissage, vitesse que je n'ai pas réussi à atteindre.

À remarquer que l'évaluation de la distance d'arrêt, malgré les aléas liés aux possibilités de freinage de l'appareil, ne présente pas le même danger puisque l'avion finira par s'arrêter alors que le décollage peut parfois être absolument impossible et ce quelle que soit la longueur de la piste. Le danger est alors beaucoup plus grand.

2- Les techniques et les stratégies accessibles à tous - On ne peut pas, dans une rubrique consacrée à la mise en garde de nos amis pilotes, notamment des moins expérimentés, décrire et recommander l'ensemble des opérations plus ou moins efficaces

Rapports du BEA

Exemple n°1

• **Événement :** collision avec un obstacle au sol lors du décollage, collision avec le sol, en instruction

• **Aéronef :** avion Piper PA28

• **Exploitant :** club

• **Conséquences et dommages :** Élève légèrement blessé, avion détruit

• **CIRCONSTANCES**

L'instructeur et l'élève, accompagnés d'un passager, décollent de l'aérodrome de Vichy (03) pour un vol d'instruction dans le cadre de la prorogation de la qualification SEP de l'élève. L'instructeur explique qu'ils atterrissent sur la piste 13 en herbe de l'aérodrome de Paray-le-Monial (71), puis se réalignent en piste 31 pour le décollage. Lors du roulement au décollage, peu avant d'atteindre la vitesse de rotation, ils ressentent une légère perte d'accélération. L'instructeur reprend les commandes. Il poursuit le décollage, quitte le sol et oriente la trajectoire de l'avion vers la droite pour éviter un stockage de bûches de bois d'environ 2 m de haut et 20 m de long dans le prolongement de l'axe de piste. L'avion survole un fossé et une route puis l'aile gauche entre en collision avec l'extrémité du mur de bois. L'aile est arrachée du fuselage qui s'immobilise environ 30 m plus loin après avoir pivoté de 180°.

L'instructeur explique qu'ils avaient prévu de travailler l'atterrissage et le décollage sur piste courte à Paray-le-Monial. À l'atterrissage, il note que la piste semble sèche et en bon état. Pour le décollage une configuration avec deux crans de volets (25°), une mise en puissance sur freins et une vitesse de rotation de 50 kt avaient été retenues. Cette procédure correspond à la procédure "Décollage sur terrain court" du manuel de vol. L'instructeur ajoute que l'accélération était normale jusqu'à l'approche de la vitesse de rotation. La perte d'accélération, associée à une légère régression de vitesse de l'ordre de 2 à 3 kt, est ressentie comme liée à l'état de surface et il précise que le moteur n'a subi aucune perte de puissance. Il a pris la décision de poursuivre le décollage car il estimait que la longueur de piste restante n'était pas suffisante pour pouvoir arrêter l'avion avant les obstacles situés dans l'axe de piste (fossé, route et stockage de bois).

L'élève, pilote privé avion, totalisait 390 heures de vol depuis 1981 dont 1 heure sur type dans les derniers 90 jours. L'instructeur, pilote de ligne avion, totalisait 18 900 heures de vol depuis 1979 dont 345 heures sur type et 200 heures dans les derniers 90 jours dont 25 heures sur type. Il a été instructeur de pilotes professionnels en école de pilotage pendant une dizaine d'années. Les conditions météorologiques étaient les suivantes : vent de direction variable pour 2 kt, visibilité supérieure à 10 km, pas de nuages significatifs, température 21 °C, QNH 1 021 hPa.

Les examens techniques réalisés sur l'épave n'ont pas mis en évidence de dysfonctionnement susceptible d'avoir contribué à l'accident.

Lors de l'événement, la masse et le centrage de l'avion étaient dans les limites définies par le constructeur.

Le manuel de l'avion précise « *les effets de conditions non prises en considération sur les graphiques, tels que celui d'une surface de piste meuble ou en herbe sur les performances de décollage et d'atterrissage, (…), doivent être évalués par le pilote* ». Se basant sur son expérience en tant qu'instructeur en école professionnelle, l'instructeur a appliqué un facteur correctif de 15 %*.

Dans les conditions du jour, il prévoyait donc un roulement au décollage d'environ 320 m avec un passage des 15 m en 580 m. La piste 31 de l'aérodrome de Paray-le-Monial est en herbe et mesure 600 m de long. Sa pente est négligeable. Il n'y a pas de QFU préférentiel mais la piste 13 présente quant à elle un seuil décalé de 100 m. Au milieu de la piste, il existe une zone de superficie réduite, légèrement boueuse et « collante ». Le stockage de bûches de bois, haut d'environ 2 m, est situé dans l'axe de piste, environ 110 m après l'extrémité. Cet obstacle temporaire ne se situe pas dans la trouée de décollage réglementaire.

La carte VAC en vigueur au moment de l'accident, datée du 26 juillet 2012, ne mentionne pas de particularités liées aux obstacles ou à l'état de la piste. Il n'y avait pas de NOTAM en vigueur à la date de l'accident. Une nouvelle carte VAC a été publiée le 2 mai 2013 réduisant à 570 m la distance de décollage utilisable en piste 31 pour tenir compte de la présence de la route dans la trouée de décollage.

• ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSION

La diminution des performances de décollage lors du roulement sur une partie boueuse de la piste a perturbé le décollage alors que l'avion avait quasiment atteint sa vitesse de rotation et qu'un arrêt-décollage ne semblait plus possible dans la distance de piste restante.

L'escale à Paray-le-Monial avait été choisie pour travailler l'atterrissage et le décollage sur terrain court. Les distances estimées pour le décollage étaient inférieures aux distances disponibles, mais laissaient peu de marge en cas de problème. L'absence d'informations quantifiées dans le manuel de vol du PA28 concernant ses performances sur piste en herbe a contribué à la collision avec l'obstacle.

Les performances indiquées dans les manuels de vol sont issues des essais en vol avec un avion neuf. Elles ne tiennent pas compte de l'état mécanique réel de l'avion ni des degrés variables de compétences des pilotes. Ces hypothèses ainsi que les imprécisions de lecture des graphiques de performances ne permettent pas d'en calculer les valeurs exactes pour l'avion utilisé. La réaction de l'instructeur a permis d'éviter une collision frontale avec l'empilement de bois.

Exemple n° 2

• Événement : Collision avec une clôture à proximité de l'extrémité de piste lors d'un posé-décollé, en instruction

• Aéronef : Avion Piper PA 28-161

• Exploitant : club

• Nature du vol : vol local, en instruction

• Personnes à bord : pilote et instructeur

• Conséquences et dommages : avion fortement endommagé

• DÉROULEMENT DU VOL

Le pilote et l'instructeur réalisent un vol local de maintien de compétences. Le pilote se présente à la verticale de l'aérodrome pour un exercice de panne moteur. Il atterrit en piste 23 (1) ; lors du roulement, il remet les gaz. L'avion heurte le bas de la clôture d'emprise de l'aérodrome située immédiatement après l'extrémité de la piste. L'avion termine sa course 90 m après le grillage.

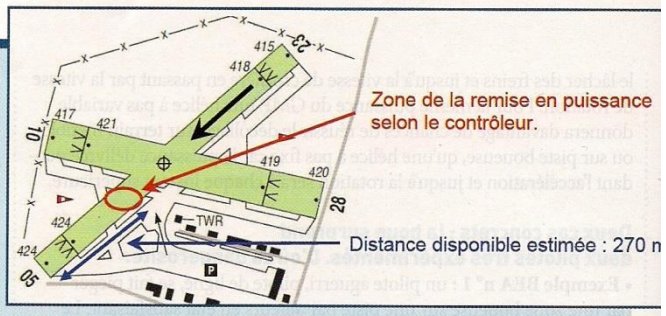
• RENSEIGNEMENTS COMPLÉMENTAIRES

- Témoignages

L'instructeur explique que lors du retour vers le terrain, il prévoit de réaliser un exercice de panne moteur, suivi d'un circuit d'aérodrome. Lors du roulement à l'atterrissage, il demande au pilote d'exécuter un nouveau circuit d'aérodrome. Après la remise en puissance, il aperçoit la clôture et pense pouvoir l'éviter.

Le pilote explique qu'à l'atterrissage, l'arrondi est long et qu'il pensait réaliser un atterrissage « complet ». Lors du roulement, il est surpris de la demande de l'instructeur d'exécuter un posé-décollé pour réaliser un autre circuit d'aérodrome.

Le contrôleur explique que lorsque le pilote débute l'exercice de panne, il l'autorise à une « option », c'est-à-dire qu'il laisse le choix au pilote entre le posé-décollé et l'atterrissage. Il ajoute que lors du roulement à l'atterrissage, l'avion décélère fortement, le laissant à penser qu'il s'agit d'un « complet ». Il précise qu'il entend la remise en puissance de l'avion après que celui-ci eut passé la croisée des pistes.



- Renseignements sur l'aérodrome

En août 2012, l'aérodrome de Chavenay a été contrôlé par la DSAC. Cet audit a notamment mis en évidence que la clôture d'emprise de l'aérodrome, non frangible, perce la trouée de décollage au QFU 23 et mentionne dans sa conclusion qu'une « prise en compte des clôtures dans les distances déclarées est nécessaire en vue d'une meilleure protection des trouées au décollage ».

En réponse à cet audit, le gestionnaire de l'aérodrome a proposé, à titre de mesures conservatoires immédiates, d'indiquer la présence et la hauteur de la clôture d'emprise dans l'information aéronautique.

Dans un deuxième temps il a proposé de faire figurer dans l'information aéronautique permanente, de « maintenir l'axe de piste au décollage » pour les QFU 05 et 23.

En mars 2013, la DSAC Nord rend la décision d'homologation de l'aérodrome de Chavenay-Villepreux, qui est notamment assortie des conditions particulières suivantes :

- pour les décollages aux QFU 05 et 23, de faire figurer dans l'information aéronautique (NOTAM puis carte VAC) : « maintenir l'axe de piste au décollage » ;
- de faire figurer la hauteur de la clôture (1,20 m) dans l'information aéronautique (NOTAM puis carte VAC).

Le 11 avril 2013 un premier NOTAM modifiant les distances déclarées de la piste 10-28 est publié.

Le 4 septembre 2013, les conditions particulières précitées ont été publiées par NOTAM.

Ces informations ne figuraient pas dans la documentation aéronautique en vigueur le jour de l'accident (2).

- Autres renseignements

L'information diffusée par l'ATIS présentait un vent du 170 pour 8 kt. Le message précisait que les pistes étaient « humides et glissantes » et signalait des « dégradations sur la piste 05-23 ». En effet, les précipitations des jours précédents avaient rendu le terrain meuble.

L'avion est équipé d'un moteur Thielert TAE 125-01 de 135 cv. Les performances, calculées à partir du manuel de vol, dans les conditions estimées du jour (3), étaient compatibles avec les distances d'atterrissage et de décollage.

Le pilote totalisait environ 500 heures de vol. Il n'avait pas volé depuis trois mois.

L'instructeur totalisait plus de 26 000 heures de vol sur avion et environ 300 heures sur PA 28 dont 6 heures dans les trois mois précédents et 4 heures 30 dans les dernières 24 heures.

• ENSEIGNEMENTS ET CONCLUSION

Lorsqu'ils débutent l'exercice de panne moteur, l'instructeur et le pilote n'ont pas de plan d'action commun à l'issue de l'atterrissage.

L'arrondi qualifié de long et la surprise de devoir reconfigurer l'avion pour réaliser le posé-décollé demandé par l'instructeur, n'ont pas permis au pilote de disposer de la distance de décollage suffisante pour éviter un obstacle non frangible situé dans la trouée de décollage.

L'état de la piste a probablement contribué à dégrader davantage les performances de l'avion.

(1) Piste non revêtue de 825 x 60 m.

(2) VAC du 5 avril 2012.

(3) Conditions ISA ; altitude aérodrome 424 ft ; masse à l'atterrissage 985 kg ; vent de face : 4 kt ; LDA piste 23 : 727 m.

*Les manuels de vol d'autres constructeurs d'avions légers donnent des majorations comprises entre 10 % et 25 % pour les décollages sur piste en herbe (herbe courte).

qui permettent de décoller à coup sûr sur des pistes boueuses. Cependant une fois que la décision de décoller est ferme et définitive, parce que le pilote a jugé que la pollution de la piste n'était pas de nature à hypothéquer la sécurité du décollage, on respectera les règles de bon sens suivantes :

- une dernière inspection de la piste pour évaluation de la sévérité de la boue ou de sa pollution par des dépôts qui vont freiner les roues. Ils peuvent évoluer très rapidement : couche d'eau et de boue qui s'épaissit sous la pluie, couche de neige qui fond… ;
- détermination des zones à éviter si possible, la boue n'étant en général pas uniformément répartie sur une piste meuble ;
- repérage du point de décision décrit ci-dessus où il faudra impérativement interrompre le décollage si VR n'est pas atteinte ;
- décollage sur freins afin de réduire la distance de roulement en utilisant bien toute la piste avec le moteur délivrant sa puissance maximale. En ne pratiquant pas le décollage sur freins on débute le roulage à faible puissance et on consomme ainsi inutilement des mètres qui pourraient faire la différence quant à la distance totale du roulement. Surtout si la piste est propre au début et se pollue un peu plus loin ce qui est souvent le cas. ●