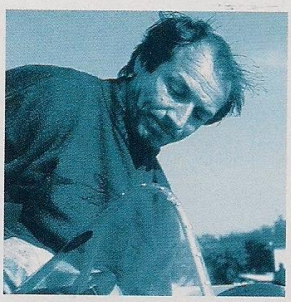


par **MICHEL BARRY**
Pilote professionnel,
ingénieur aéronautique

Les pièges du second régime

Trajectoire, relief, aérologie : des liaisons dangereuses

Les rapports d'accidents analysés ce mois-ci montrent comment des pilotes n'ont pas réussi à obtenir un taux de montée Vz ou une pente de montée suffisants pour se dégager de la proximité du sol.

Dans un passé récent, des pilotes n'ont pas réussi à obtenir un taux de montée Vz (vitesse verticale ou « vario ») ou une pente de montée suffisants pour se dégager de la proximité du sol. Aussi bien au décollage qu'en montagne, on constate que parvenir à stabiliser une trajectoire ascendante n'est pas toujours aisé, même quand la puissance du moteur et les caractéristiques de l'avion le permettent. La diversité des situations est représentée par les sept cas énoncés ci-après.
Ils montrent, avec des niveaux de dangers divers, quelques-uns des risques liés à une méconnaissance des performances de son appareil et de ses techniques d'utilisation. Parfois, les paramètres (puissance disponible, puissance nécessaire) ne permettaient pas d'avoir une vitesse ascensionnelle positive. Tenter de décoller ou de franchir un obstacle était alors purement suicidaire. Dans ce cas, la lecture du manuel de vol, chapitres Limitations et Performances, aurait permis de s'en rendre compte. Mais parfois, aussi, on a pu constater la survenue d'accidents parce que l'appareil n'avait pas été utilisé correctement alors qu'il était tout à fait apte à monter. Une vitesse mieux contrôlée, en général supérieure à celle au moment de l'accident, aurait demandé moins de puissance nécessaire et aurait permis au GMP de délivrer davantage de puissance utile. Il faut également garder en tête que l'aérologie peut perturber le vol au point de modifier fortement les performances nominales en montée de l'avion *(voir le REX du mois)*. Cinq personnes tuées, six blessées à cause d'erreurs de pilotage qui se reproduisent depuis les débuts de l'aviation, autant de faits graves qui méritent qu'on s'intéresse à la question !

A. Rappel de mécanique du vol

(Voir aussi Info-Pilote n° 592 de juillet 2005, Info-Pilote n° 672 de mars 2012, liens utiles à la fin du texte.)
Voir figure 1, page suivante.
L'aptitude à s'élever pour un avion équipé d'un moteur à pistons est un subtil équilibre entre la puissance nécessaire Pn et la puissance utile Pu, transférée au système par l'hélice. Ces deux puissances, comme le montre la figure, dépendent de la vitesse de l'avion V. Aux basses vitesses, notamment aux vitesses de décollage, la question est critique pour les appareils à hélice à pas fixe, car ces dernières sont loin de leur rendement maximal. L'excédent de puissance est faible et c'est pourtant sur lui qu'il faut compter pour assurer l'accélération vers des vitesses plus hospitalières où, à la fois l'avion nécessite moins de puissance et où l'hélice en délivre davantage.

B. Sept accidents dus à une insuffisance ou à une impossibilité de monter

1. Accident d'un D 112 au décollage - ***Voir figure 2***
https://www.bea.aero/uploads/tx_elydbrapports/BEA2016-0518.pdf
L'appareil est plutôt chargé : 552 kg contre 532 de masse maxi.

REX du mois (n° 406) EnsembledesREXsurwww.ffa-aero.fr

Performances limites au décollage

Malgré un calcul de performances au décollage optimiste, les rabattants subis après l'envol dégradent fortement la marge de franchissement d'obstacle.

Conditions :
DR 400-120, deux personnes à bord, masse estimée au décollage de 810 kg, centrage médian. Température ISA +20 environ, vent 200/15G25 (brise montante de vallée).
Piste en dur de 845 x 30 m, légère pente descendante, sèche.
Altitude 3 000 ft.
Décollage à 16 h 15 TU.
Pilote : ATPL 55 ans, 14 500 HDV moteur dont 1 100 SEP, FI(A), vol à voile/vol libre 400 heures.

Description :
Le décollage retour de Saint-Crépin vers Pérouges a été soigneusement préparé ; le calcul des performances décollage (sans vent) à la masse maxi (900 kg), 4 000 ft, ISA +20 donne une DR de 390 m et une DF15 de 800 m. Un conseil pris auprès des pilotes avion locaux me suggère de remonter la bande en herbe au nord de la piste en dur (environ 250 m) et de décoller sur frein de cette position. Il est également conseillé d'altérer le cap après l'envol vers la gauche en direction de la place forte de Mont-Dauphin, afin de limiter le vol dans les rabattants présents à l'extrémité sud de la piste.
Fort de ces éléments, je décolle de la façon conseillée ; un palier d'accélération me permet d'atteindre rapidement la vitesse optimale de montée de 150 km/h, que je compte garder sur la montée initiale pour avoir la meilleure défense face aux rabattants.
Passant le bout de piste à environ 150 ft/sol et 150 km/h, je garde la configuration volets 1 cran. C'est à ce moment-là que la vitesse indiquée passe brusquement à 115 km/h et le vario de +300 ft/min à - 200 ft/min ! Je bloque immédiatement l'assiette, résistant à la tentation de l'augmenter. L'avion descend doucement, mais irrémédiablement vers les arbres ! L'avertisseur de décrochage retentit par petites saccades chaque fois qu'un à-coup de facteur de charge se fait sentir. Passant la Durance, j'y envisage un atterrissage d'urgence. À ce moment précis, le vario s'annule et redevient lentement positif. La montée initiale est lente, tout le premier segment et une partie du second sont sujets à une aérologie de forts rabattants et de cisaillements.

Conclusion :
Malgré des conditions calculées assez favorables, la marge de sécurité obtenue a été très faible. Ce genre de terrain nécessite plus de marge de calcul, ainsi qu'un avion plus puissant (hélas, seul avion disponible au club ce jour). Il aurait aussi été possible de retarder le décollage pour attendre de meilleures conditions.

Le pilote n'aurait probablement pas suffisamment attendu l'une des vitesses préconisées, VX ou VY, pour monter et aurait effectué prématurément une rotation franche, type appareil à train tricycle, alors que sur un appareil à train classique comme le D 112 il vaut mieux décoller sans pratiquement effectuer de rotation, quasiment en ligne de vol, à une vitesse plus élevée, plus proche de VX. L'accélération queue haute se fait habituellement à une assiette à peine inférieure à l'assiette de montée, surtout sur des appareils faiblement motorisés (65 ch). L'assiette trop forte choisie dès le départ pour ce type de décollage court, mais risqué, n'a pas permis à l'avion d'accélérer vers les 100 km/h recommandés pour la montée. Hors de l'effet de sol, la vitesse trop basse ne permettait plus de monter sans décrocher. L'appareil volait au second régime et ne pouvait ni monter ni accélérer. L'instabilité de vitesse caractéristique du vol au second régime a ensuite conduit l'appareil à décélérer jusqu'au décrochage.

2. Accident d'un Robin ATL au décollage

https://www.bea.aero/uploads/tx_elydbrapports/BEA2015-0503.pdf

Lors du décollage, une probable perte de puissance due à un problème mécanique ne permet plus à l'appareil, chargé 20 kg au-dessus de la masse maxi, de monter. Le ralentissement engendré par la perte de puissance fait probablement passer le vol au second régime, puis provoque le décrochage. Même si le retour au sol était inéluctable, on peut imaginer que le maintien de la vitesse à une valeur supérieure aurait à la fois limité la valeur de la vitesse de chute Vz et évité le décrochage qui a détruit l'avion.

3. Accident d'un Christen Husky A-1 au décollage, en montagne

https://www.bea.aero/uploads/tx_elydbrapports/BEA2015-0143.pdf

L'avion surchargé décolle de l'altiport de Méribel. Le givre sur les surfaces, l'adhérence des skis contaminés par la glace et l'altitude ont constitué trois handicaps supplémentaires. En bout de piste et, peut-être encore en effet de sol, l'avion finit par décoller, mais il ne réussit pas à monter malgré les efforts du pilote pour retrouver une vitesse plus grande et susceptible de sortir du second régime. Il semble que le cumul des handicaps ne permettait d'ailleurs pas, d'après le manuel de vol, d'obtenir un vario positif. Le BEA signale dans sa conclusion qu'un devis de masse et de centrage aurait permis au pilote de prendre conscience de la surcharge de l'avion et, soit de l'alléger en conséquence, soit de renoncer au décollage.

4. Accident d'un D113 au décollage, en montagne

https://www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2014/f-pe140406/pdf/f-pe140406.pdf

Après le décollage « trois points », le pilote tente de monter, mais sans palier d'accélération. Cette technique de décollage permet d'arracher l'avion du sol, notamment en montagne si la surface de roulement est plutôt difficile, mais elle nécessite ensuite d'effectuer un palier d'accélération. En effet, la portance peut être suffisante en effet de sol, à la vitesse d'envol, pour équilibrer le poids de l'avion. Mais en restant à vitesse constante, la portance diminue dès que l'avion sort de l'effet de sol. C'est la raison pour laquelle il faut consentir à ne pas monter immédiatement afin de laisser l'avion accélérer vers une vitesse qui assure le meilleur vario ou la meilleure pente de montée selon les impératifs rencontrés après l'envol. Par exemple, face à des obstacles, on prendra la vitesse VX, qui donne la meilleure pente de montée. En atmosphère agitée, avec risque de traverser des masses d'air descendantes, on prendra VY, la vitesse qui donne le meilleur vario.

5. Accident d'un Reims Aviation F172N en montagne. **Voir figure 3**

https://www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2014/f-sq140609/pdf/f-sq140609.pdf

Un pilote s'aperçoit que son taux de montée et sa pente de montée sont insuffisants pour franchir un col à une altitude de 7000 pieds. En principe, l'appareil pouvait encore, à cette altitude et dans les conditions du jour, avoir un vario positif et donc continuer à grimper. Dans ce cas, il suffit en général d'attendre, tout en gagnant de l'altitude dans une zone accueillante, avant de franchir le col. Mais s'approcher trop près de l'obstacle sans pouvoir le franchir exige d'effectuer un demi-tour d'autant plus serré que l'on est proche du relief. Et plus l'avion est incliné, plus les performances en montée sont dégradées. Il existe donc une distance par rapport au col au-dessous de laquelle le franchissement et le demi-tour sont tous deux impossibles compte tenu des performances de l'appareil. Un des savoir-faire des pilotes de montagne consiste précisément à tirer parti des performances en montée de l'avion dans un environnement montagneux. En particulier, connaître les vitesses indiquées associées aux performances et à la configuration de volets. Sinon, tenter de suivre la pente en se référant à la ligne de crêtes conduit en général à un vol au second régime au cours duquel le vario s'écroule. Puis, en insistant, au décrochage.

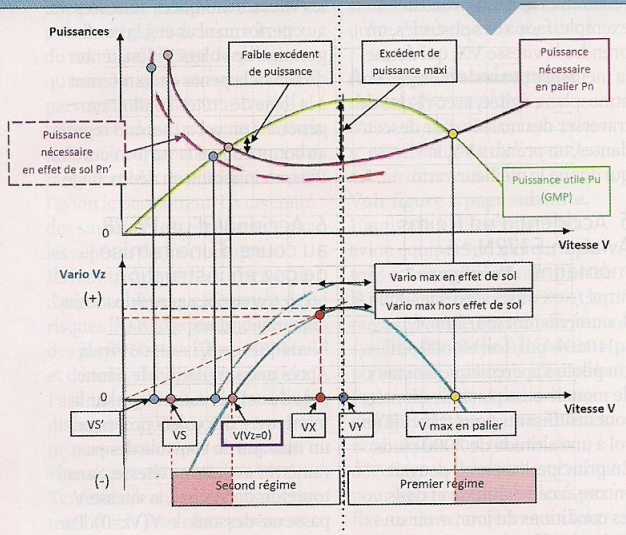
6. Accident d'un PA 28 au cours d'une remise de gaz en instruction

https://www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2014/lx-a140519/pdf/lx-a140519.pdf

Après une simulation de panne, près du sol, un cafouillage sur la manœuvre des volets provoque un manque de contrôle des paramètres assiette et vitesse. Sans toutefois décrocher, la vitesse V passe au-dessous de V(Vz=0). Par définition, l'excédent de puissance étant négatif, la vitesse ne

Figure 1. Puissances utiles, puissances nécessaires, taux de montée (varios) pour un avion à moteur à pistons. Les courbes sont quasi identiques pour un appareil à turbopropulseur.

1. Puissance utile Pu : elle est transmise par l'hélice qui, au passage, en prélève une partie et ne restitue qu'un pourcentage. Il va de zéro à 70 ou 80 % dans les meilleurs des cas (rendement de l'hélice).
2. Puissance nécessaire Pn : en palier horizontal à la vitesse V, la cellule de l'avion traîne et la traînée Fx s'oppose à la traction de l'hélice. Pour avancer en palier, une puissance nécessaire Pn = Fx * V est dissipée et perdue dans le sillage de l'avion. En effet de sol (pointillés), la puissance nécessaire au vol est moindre et VS', la vitesse minimale de sustentation, est plus faible que VS hors effet de sol.
3. Le taux de montée (ou vario) Vz est l'image de l'excédent de puissance (courbe en bleu). Il est positif seulement au-dessus d'une vitesse V(Vz=0).
4. Le vario Vz est supérieur en effet de sol (pointillés bleus). Mais l'illusion existe seulement à proximité du sol. Elle a souvent pour conséquence de favoriser l'envol à une vitesse VS' dangereusement basse.
5. Le vario Vz passe par un maximum à VY, vitesse à laquelle l'excédent de puissance entre puissance utile Pu et puissance nécessaire (Pu-Pn) est maximal. À la vitesse V(Vz=0), point équipuissance, l'excédent de puissance est nul.
6. Au-dessous de VY, l'avion vole « au second régime » :
   a. entre VS et V(Vz=0), zone rosée, l'avion ne peut pas monter (pas d'excédent de puissance) ;
   b. au-dessus de V(Vz=0), l'excédent de puissance doit être utilisé pour accélérer et non pour chercher à monter.
7. Il existe un autre point équipuissance : à pleine puissance, on empêche l'avion de monter et il atteint ainsi la vitesse maximale en palier.
8. À la vitesse VX, la pente de montée (VX/V) est maximale. Mais le vario n'est pas maxi (distinguo VX, VY !).
9. Rendement de l'hélice. Surtout pour une hélice à pas fixe, la puissance utile n'est maximale qu'à une vitesse donnée. Malgré la disponibilité de la puissance sur l'arbre du moteur, l'hélice n'utilise pour propulser l'avion qu'une fraction de cette puissance (rendement de l'hélice). Ainsi, pour un appareil plutôt destiné à la croisière, l'utilisation aux basses vitesses n'exploite pas toute la puissance du moteur. L'hélice à pas variable corrige en partie ce défaut.



peut pas augmenter. Seule une pente descendante permettrait d'accroître la vitesse au-dessus de V(Vz=0). Mais comme on est près du sol, pas question de piquer ! Le pilote n'a d'autre choix que de laisser descendre l'avion vers le sol et amortir l'impact par un pseudo-arrondi difficile à contrôler à basse vitesse. À noter que les pleins volets augmentent notablement, à vitesse donnée, le besoin de puissance nécessaire par rapport à la configuration volets zéro ou au premier cran. L'improvisation totale d'un exercice, délicat et mal contrôlé, a conduit rapidement à un vol au second régime avec une vitesse inférieure à V(Vz=0), une situation irréversible près du sol. Pourtant, l'appareil disposait d'une puissance utile largement suffisante pour procéder à une remise de gaz, fût-elle avec les pleins volets. Il aurait simplement fallu maintenir la vitesse au-dessus de V(Vz=0).

7. Accident d'un DR 400 au cours d'une remise de gaz en instruction

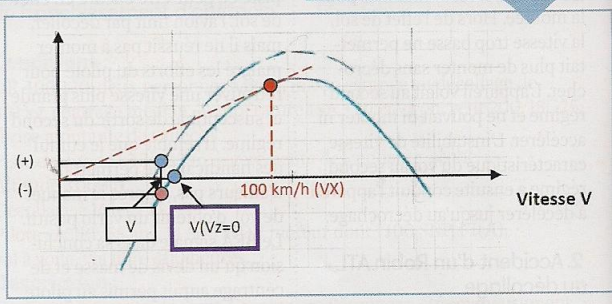
https://www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2014/f-kl140605/pdf/f-kl140605.pdf

Accident semblable au précédent. Lors d'une remise de gaz face au relief, probable passage au second régime pour cause de vitesse mal contrôlée. La vitesse décroît et se rapproche de V(Vz=0), ce que traduit l'observation du rapport BEA : *« le taux de montée devient plus faible »*. Le piège s'est refermé.

Liens utiles : http://www.aero-hesbaye.be/pdf_doc/secondregimedecollage.pdf - https://www.youtube.com/watch?v=g-D88Rp7Cx00

Figure 2. Mécanisme du passage d'un vario légèrement positif en effet de sol à un vario négatif hors effet de sol, pour la même vitesse V.

Tant que l'avion n'avait pas atteint V(Vz=0), hors effet de sol, il ne pouvait pas monter. Mais même au voisinage de V(Vz=0), on est loin d'être sur une pente de montée rassurante comme c'est le cas au voisinage de VX.



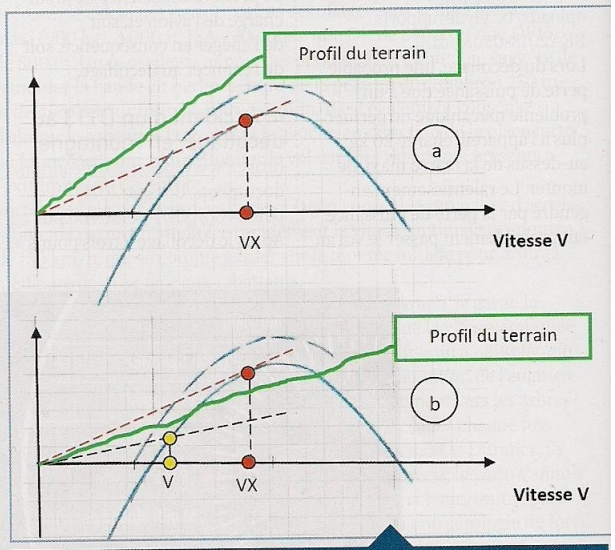


Figure 3. Pente de montée insuffisante : deux scénarios ou un cumul des deux

a. Le pilote vole bien à VX, vitesse de pente de montée maximale, mais cette pente est insuffisante pour suivre le profil du terrain.
b. Bien que la pente maxi de montée de l'avion (pointillés rouges) soit suffisante pour suivre le profil du terrain, l'avion vole à une vitesse insuffisante V qui donne une pente plus faible (pointillés noirs).