

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

Méfiez vous des fortes chaleurs

Au fur et à mesure que la température extérieure augmente, les performances de nos petits avions, notamment au décollage, en montée mais aussi à l'atterrissage diminuent. Parallèlement, le risque de dysfonctionnement du GMP, lié aux fortes températures, s'élève. Des accidents nous rappellent à la vigilance.

Le pilote doit savoir que « haute température » et « sérénité du vol » ne vont pas bien ensemble. Accroissement des distances de décollage et d'atterrissage, diminution des performances en montée, problèmes de refroidissement, de lubrification, d'alimentation en carburant... autant de questions qui doivent être soulevées lors de la préparation du vol et qui peuvent conduire à un renoncement. Dans un premier temps nous rappellerons les raisons physiques qui expliquent pourquoi un avion léger utilisera une longueur de piste d'autant plus grande qu'il fait plus chaud. Des rapports d'accidents du BEA illustreront les difficultés rencontrées par certains pilotes qui n'avaient pas suffisamment tenu compte de la température. Et même si souvent la forte température n'est pas le seul facteur, ni même le facteur principal de l'accident, son rôle joué dans l'aggravation de la situation mérite d'être pris en compte pour la préparation de nos vols d'été. Ensuite, nous consulterons des rapports qui montrent les limites d'utilisation

de certains dispositifs par

temps très chaud.

A. Un peu de physique et de mécanique du vol : à vitesse indiquée identique, un avion vole plus vite quand il fait chaud.

1. Augmentation de la distance d'atterrissage. Exemple d'un DR 400/120 à 900 kg.

1.1 Influence de la température T sur les performances à l'atterrissage. Relation entre masse volumique ρ et température T.

L'avion de masse m vole si la portance Fz=Cz. $\rho V^2/2$. S équilibre son poids. Soit l'égalité : m.g = Cz. $\rho V^2/2$. S

- m: masse de l'avion (900 kg).
- Poids = m.g ≈ 9000 N
- Cz : coefficient de portance de l'aile (ici 1,7 avec volets atterrissage)
- ρ: masse volumique de l'air
- V : vitesse de l'avion (proche de Vp)
- S : surface portante (13,6 m²) Ainsi, pour un avion donné, à masse donnée, l'équilibre poids = portance à l'atterrissage est obtenu pour une valeur donnée de ρV²/2, pression dynamique due à la vitesse, avec V proche de VSO. Après le posé des roues, l'avion décélère jusqu'à l'arrêt. D'où le calcul de la pression dynamique au moment de

l'atterrissage : $\rho V^2/2 = mg/S \cdot Cz$

À la masse m = 900 kg (m.g \approx 9000 N), surface 13,6 m², Cz max = 1,7 on touche la piste à une vitesse V proche de VS. Soit : $\rho V^2/2 = 9000/(13,6.1,7) = 389$ Pascal

Variation de ρ en fonction de la température T: la masse volumique ρ est liée à la température T et à la pression P par la loi des gaz parfaits : $\rho = P/r.T$ avec :

- P: pression atmosphérique. En conditions standards:
- P = 101325 Pascal
- r : constante liée à l'air : 287 J·kg-1·K-1
- \bullet T : température absolue en Kelvin. En conditions standards (15 °C) : T = 273 + 15 = 288 K

Ainsi en conditions standards : ρ (15) = 101 325/(287 . 288) = 1,226 kg/m³ Et pour 35 °C (T = 308 K) : ρ (35) = 101 325/(287 . 308) = 1,146 kg/m³ Soit environ 6,5 % de moins à 35 °C qu'à 15 °C.

Les 389 Pascal nécessaires au vol à VSO seront obtenus aux vitesses suivantes:

 $\rho V^2/2 = 389$ Pascal. Soit V = racine (389 . $2/\rho$)

- À 15 °C (p = 1,226 kg/m³) à une vitesse VS0 = racine (389 . 2/1,226) = 25,2 m/s (90 km/h)
- À 35 °C (p = 1,146 kg/m³) à une vitesse VS0 = racine (389 . 2/1,146) = 26,0 m/s (94 km/h)

Conséquences sur la distance d'atterrissage :

plus la vitesse de toucher des roues est élevée, plus la distance nécessaire à l'arrêt est grande.

À décélération constante γ , la loi qui lie la vitesse V et la distance d'arrêt X s'écrit : V^2 = 2 . γ . X.

Si on compare les distances d'atterrissage X à 15 °C et X à 35 °C obtenues avec les deux vitesses 25,2 m/s et 26,0 m/s, on a : X(15)/X(35) = 25,22/26,02 = 0,935 soit 6,5 % d'écart.

(Résultat prévisible puisque, après simplification, on aurait bien $\rho(35)/\rho(15)$ = X(15)/X(35)!)

1.2 Distance d'atterrissage en fonction de la température.

Voir Figure 1 : courbes du constructeur tracées d'après le manuel de vol du DR400/120

Pour les trois altitudes (0, 4000 et 8000 pieds) les courbes sont sensiblement des droites parallèles. Elles traduisent le même allongement relatif de la distance d'atterrissage. Il est lié à une vitesse de roulement d'autant plus élevée que la température est elle-même

plus élevée. À 0 ft, 25 m de plus à 35 °C qu'à 15 °C, soit 25/450 = 6 % correspondent au calcul de l'exemple dans le texte.

1.3. Conclusion liée à l'augmentation de la distance d'atterrissage DA 15.

À la même vitesse indiquée Vi, l'avion vole à une vitesse vraie Vp d'autant plus élevée que la température extérieure est élevée. De ce fait, avec la même indication anémométrique Vi (Badin), il touchera la piste à une plus grande vitesse par temps chaud et pour la même décélération (aérodynamique, frottements, freinage), il roulera sur une plus longue distance. On peut compter environ 3 % d'augmentation de la distance à l'atterrissage pour 10 °C d'élévation de la température extérieure. Mais attention, c'est une moyenne, pas une règle! Seul le manuel de vol du constructeur, mélange approuvé d'essais en vol et de calculs, vous donnera la distance nécessaire.

2. Augmentation de la distance de décollage. Exemple d'un DR 400/120 à 900 kg.

2.1. Application au décollage.

La démonstration et la méthode de calcul pour évaluer l'accroissement de la distance de roulement au décollage sont identiques à celles développées pour l'atterrissage. Comme il va falloir atteindre une vitesse propre Vp plus élevée pour obtenir la même vitesse anémométrique (Vitesse indiquée, Vi), la longueur de roulement, à accélération constante, serait d'autant plus grande qu'il fait plus chaud. De surcroît, pour le décollage, l'élévation de température a aussi une influence sur la puissance développée par le moteur. Notamment pour les moteurs non-turbocompressés et à hélice à pas fixe. En effet leur puissance et donc aussi leur force de traction, sont directement liées à la masse volumique ρ et lui sont

sensiblement proportionnelles. Ainsi, perdre 6 à 7 % sur ρ (exemple ci-dessus) entre 35 °C et 15 °C se répercute de manière identique sur la puissance utile du moteur de la plupart de nos avions légers, comme le DR 400. La pénalisation est conséquente, et l'hypothèse de l'accélération constante, quelle que soit la température comme on l'a fait pour la décélération à l'atterrissage, n'est plus vérifiée. La diminution de puissance a de plus une conséquence directe sur la pente de montée entre le décollage et le passage des 15 mètres (DF 15).

2.2 Distance d'atterrissage en fonction de la température.

Voir Figure 2 : courbes du constructeur tracées d'après le manuel de vol du DR400/120

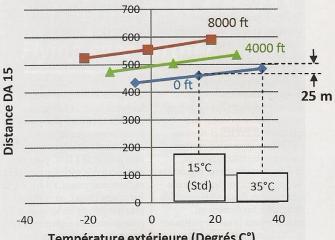
À 0 ft, pour une distance de décollage de 500 mètres environ, l'augmentation de DF 15 entre 15°C et 35°C est de 55 mètres soit environ 11 %. Aux autres altitudes le pourcentage est semblable. Cet accroissement de DF 15 est imputable à trois facteurs indépendants :

- nécessité d'atteindre une vitesse Vp plus élevée pour la rotation avec la même vitesse indiquée Vi;
- traction moindre du moteur lors de la phase d'accélération;
- puissance moindre du moteur lors du début de la montée, avant le passage des 15 mètres. A noter l'accroissement des pentes des courbes, et leur écart, pour 4000 ft et 8000 ft. Il est dû à l'essoufflement du GMP non-turbocompressé. Altitude élevée et température élevée, une association dangereuse pour les décollages!

2.3 Conclusion liée à l'augmentation de la distance de décollage DF 15.

La température extérieure dégrade les performances au décollage de tous les appareils. Surtout quand, en plus, l'aérologie des fortes températures s'en mêle (voir REX du mois, REX N°406 Figure 1. courbes du constructeur tracées d'après le manuel de vol du DR400/120

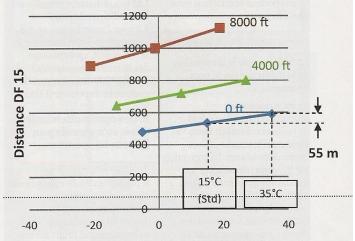
Distance d'atterrissage (en mètres)



Température extérieure (Degrés C°) Pression standard : 101325 Pa

Figure 2. courbes du constructeur tracées d'après le manuel de vol du DR400/120

Distance de décollage (en mètres)



Température extérieure (Degrés C°) Pression standard : 101325 Pa

« Performances limites au décollage »). La conséquence est une augmentation de DF 15 d'autant plus conséquente que le moteur est sensible à l'augmentation de température et délivre moins de puissance pour monter. C'est le cas de nos petits monomoteurs, hélice à pas fixe, non-turbocompressés. Voir exemples B.1 et B.2 ci-dessous. Les autres appareils à moteur à pistons (turbocompressés, hélice constant-speed, régulation de puissance...) ou les appareils à turbopropulseur, tous capables de rétablir totalement ou partiellement la même puissance quelle que soit la température, sont plutôt concernés par l'accroissement de la vitesse propre du décollage. Il est dû, comme pour l'atterrissage, à la diminution de la masse volumique ρ. On disait autrefois que « l'air est

moins porteur et qu'il faut voler plus vite... ». 3. Diminution des performances en montée.

3.1 Influence de la diminution de la puissance sur le taux de montée Vz.

Vz est sensiblement proportionnelle à l'excédent de puissance du GMP. Donc Vz diminue si le moteur délivre moins de puissance. La correction sur Vz, entre température standard et température plus élevée, est indiquée dans le manuel de vol. Par exemple, pour le DR 400/120, le constructeur donne l'indication suivante : « Chaque 10° au-dessus du standard, abaisser le plafond de 1000 ft et diminuer la vitesse ascensionnelle de 0,2 m/s ».

3.2 Influence sur la pente de montée.

Deux bonnes raisons pour qu'elle diminue en fonction de la température : 1. diminution de Vz (perte de puissance); 2. augmentation de Vp à Vitesse VX indiquée constante (dans tous les cas). VX est la vitesse indiquée de pente de montée la plus forte.

4. Aspect réglementaire de la prise en compte des performances du jour.

Dans tous les cas, on évaluera les performances à chaque préparation de vol. Par exemple, on redoutera que tel avion qui a décollé de tel terrain sans problème à 15 °C puisse en être incapable, techniquement et réglementairement, s'il fait 30 °C. Par temps chaud, on vérifiera plus que jamais les longueurs de piste minimales réglementaires (ci-après, critères simplifiés, à préciser selon la configuration de la piste, ses dégagements, ses restrictions, son état, le type d'avion...). Par exemple : 4.1 pour le décollage : ne pas décoller si la longueur de piste (TORA) ne fait pas au moins 1,25 fois la distance calculée avec les conditions du jour; 4.2 pour l'atterrissage : ne pas envisager un atterrissage dont le roulement, après passage des 15 mètres, nécessiterait plus de 70 % de la distance de roulement disponible (LDA).

B. Des dysfonctionnements liés à, ou aggravés par, la forte température.

1. Décollage trop long :

le pilote d'un PA 28 est confronté à une série de petits dysfonctionnements lors du décollage (indication anémométrique, bruits anormaux du moteur...). Sur une piste, d'où il pouvait décoller sans difficultés en conditions standards, il roule plus que de coutume et interrompt le décollage. Il sort de la piste et fauche le train. La température extérieure de 24 °C a porté la distance nécessaire à 670 mètres alors que seulement 625 mètres étaient disponibles pour rouler. https://www.bea.aero/fileadmin/documents/ docspa/2013/n-3u130822/pdf/n-3u130822.pdf

2. Décollage trop long :

même scénario de nouveau en PA 28. Avion fortement endommagé. Température extérieure 28 °C.

https://www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2012/f-sr120614/pdf/f-sr120614.pdf

3. Collision avec les arbres lors d'un décollage trop long :

le pilote d'un DR 340 ne parvient pas à décoller dans la longueur de la piste utilisable. L'avion quitte le sol 30 mètres au-delà de son extrémité et heurte des arbres.

Le BEA mentionne dans ses conclusions: «Sa connaissance [celle du pilote] de l'aérodrome... a pu l'inciter à sous-estimer les difficultés liées, ce jour-là, au décollage ». Parmi les conditions du jour, on relève une température de 27°, soit 12° au-dessus de la température standard. Ils ont dû peser environ 7 % de plus sur la longueur de piste nécessaire, environ 42 mètres (au prorata 11 % en plus pour 20 °C audessus de la température standard).

https://www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2011/f-te110902/pdf/f-te110902.pdf

4. Possibilité de phénomène dû à la température excessive : le vapor lock.

4.1 Un Jodel D113, de construction amateur, perd de la puissance en montée et fait un atterrissage forcé.

La température extérieure (25 °C) a pu amplifier le réchauffement d'une conduite de carburant mal isolée et provoquer la vaporisation du carburant. https://www.bea.aero/fileadmin/documents/docspa/2014/f-ck140719/pdf/f-ck140719.pdf

4.2 Un Jodel DR 1050, de construction amateur, perd de la puissance en montée, puis le moteur s'arrête.

Un atterrissage forcé s'ensuit. L'absence de pompe électrique dans le circuit carburant,

REX du mois

Performances limites au désollage

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 3000 ft. Décollage à 16 h 15 TU.

- Piote ATPL 55 ans 14 500 bdy moteur.

- Pilote ATPL 55 ans, 14500 hdv moteur dont 1100 SEP, FI(A), vol à voile / vol libre 400 heures.

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.

comportant plusieurs réservoirs, a probablement contribué au phénomène de vapor lock et au désamorçage. À noter une température extérieure de 32°C susceptible de favoriser la vaporisation du carburant dans les conduites lors d'une montée prolongée à puissance maximale. https://www.bea.aero/ft/les-enquetes/les-evenements-notifies/detail/event/arret-du-moteur-en-croisiere-atterrissage-force-en-campagne-basculement-sur-le-dos-5/

On notera que ces deux derniers appareils, de construction amateur, semblaient présenter des vulnérabilités face au phénomène de vapor lock. On ne saurait trop conseiller à nos amis propriétaires d'avions F-P... (CNRA), donc non-certifiés par un constructeur via un CDN, de concevoir leur alimentation en carburant seulement avec un avis expert et des essais en vols sécurisés (verticale terrain par temps chaud par exemple). En

principe, les avions certifiés ont dû montrer leur résistance dans tous les domaines, face à de fortes températures (refroidissement de l'huile, des culasses, des liquides de refroidissement, pas de vapor lock...). Ensuite le Manuel de vol précise les limites d'utilisation qu'a démontrées le constructeur, conformément aux exigences de la certification.

5. Réchauffage carburateur par forte température (30 °C) :

il peut faire surchauffer inutilement le carburateur. entraînant un enrichissement excessif du moteur (diminution de ρ) jusqu'à provoquer son arrêt. Le pilote d'un Piper Cub en a fait l'expérience en perdant de la puissance à faible hauteur, ce qui l'a obligé à un atterrissage forcé. Bien que le réchauffage carbu doive en principe être actionné systématiquement avant chaque descente ou réduction des gaz, été comme hiver, on pensera par forte température qu'il est inutile et peut entraîner de graves dysfonctionnements, voire l'arrêt du moteur.

https://www.bea.aero/uploads/tx_elydbrapports/BEA2015-0346_01.pdf

Conclusion:

De multiples pièges nous attendent par temps chaud ou très chaud. Ceux évoqués ci-dessus sont connus car récurrents. D'autres peuvent survenir.

- Pour les avions certifiés (CDN), il y a lieu de les utiliser exclusivement à l'intérieur des recommandations et des limitations du constructeur. Extrapoler des performances pour des températures supérieures à celles du chapitre
- « Performances » ou des « Limitations » expose à de graves risques dont le pilote est responsable.
- Pour les avions en CNRA, le constructeur doit procéder progressivement à des essais sécurisés en envisageant à chaque instant une possible panne liée à une trop forte température. Surtout quand les recommandations ou le circuitcarburant préconisés dans la liasse du concepteur n'ont pas été respectés.