



Par **MICHEL BARRY**,
pilote professionnel,
ingénieur aéronautique.

Bien connaître sa vraie consommation

ATTENTION À LA CONSOMMATION PARFOIS UTOPIQUE DU MANUEL DE VOL. UN VIEIL AVION CONSOMME D'AVANTAGE ET VA MOINS VITE.

De nombreuses pannes d'essence ont pour origine une sous-estimation de la consommation horaire de l'avion, couplée souvent à une surestimation de la vitesse de croisière pour un réglage donné du moteur. Les origines de ces mauvaises interprétations vont de la simple négligence, qui consiste à faire une estimation approximative de la consommation et de la quantité embarquée, jusqu'à une lecture trop radicale des données optimistes du manuel de vol.

En passant par toute une série de causes bien mises en relief dans les rapports d'accidents notés ci-dessous. Si nous ne pouvons lutter contre certaines formes de laxisme ou de négligence dans la préparation du vol, en revanche nous pouvons tenter de convaincre les pilotes que les données du manuel de vol doivent toujours être interprétées avec la plus grande précaution. D'ailleurs les constructeurs préviennent au

début du **chapitre 5 « Performances »** :

- « Les données de performance calculées dans cette section sont basées sur des données dérivées d'essais en vol, avec l'avion et le moteur en bon état et en utilisant des techniques de pilotage moyennes. » (Robin DR400)

- « Les facteurs tenant à l'expérience du pilote, au mauvais état relatif de l'appareil, ne sont pas pris en considération. » (SOCA-TA TB20)

- « The performance charts are unfactored and do not make any allowance for varying degrees of pilot proficiency or mechanical deterioration of the aircraft. » (Piper Saratoga).

Vous voilà avertis ! Lisez bien le manuel de vol, son chapitre 5, mais surtout prenez conseil auprès de votre instructeur référent car il saura vous indiquer les valeurs les plus sûres, celles qui vous permettront de préparer vos vols. Ensuite notez bien pour chaque appareil les chiffres que vous obtenez en vol. En les comparant à ceux du manuel de vol vous constaterez les écarts.

Prenez aussi conscience du fait que vos mesures (consommations, vitesses propres) réalisées sur un ou plusieurs vols sont toujours fortement entachées d'incertitudes (quantité réellement consommée, influence du vent, réglages du moteur...) et, comme d'habitude, prenez les marges conservatoires qui s'imposent.

Nous présentons neuf exemples d'incidents ou d'accidents aux circonstances très variées, mais toutes dues à une estimation erronée de la quantité nécessaire au vol. Ensuite, nous donnerons quelques explications scientifiques montrant comment l'état de l'avion (moteur, propreté, vieillissement, état général...) peut contribuer à l'accroissement de la consommation/distance, celle qui intéresse réellement le pilote.

A. Neuf incidents ou accidents dus à une panne d'essence pour cause de méconnaissance de l'avion

1. Accident d'un DR400 à Carneville (50) le 28/03/99
voir lien #1 sur notre site

Un vol est entrepris avec l'hypothèse que l'autonomie en carburant, après un plein qui est apparu comme complet, sera suffisante. Or, c'est sous-estimer, sur ce type d'appareil, l'incertitude concernant la quantité réellement présente dans le réservoir unique de 110 litres, même s'il y a refoulement lors du plein. C'est aussi mal connaître la consommation horaire réelle susceptible de varier fortement car les moyens de réglage et de comptage du temps (simple compte-tours) étaient dans ce cas rudimentaires. La consommation est donnée prudemment par le constructeur comme une « valeur indicative » (25 litres/heure) avec tout le flou contenu dans la formulation. Cependant, conforté par une consommation horaire moyenne de 24 l/h, le pilote n'hésite pas à planifier un vol de près de 4 heures. Il tombe en panne d'essence après 3 heures et 47 minutes de vol. A noter aussi le décompte du temps par le compte-tours, exact à un

Date	Avion	Lieu	Circonstances	Conséquences
1 28/03/99	DR400	Carneville (50)	Estimations incorrectes, panne près de l'arrivée	Avion fortement endommagé
2 05/05/99	F152	Fort-de-France (972)	Estimations incorrectes, panne près de l'arrivée	Avion détruit
3 11/04/99	Yak52	Voinsles (77)	Estimations incorrectes, panne près de l'arrivée	Deux blessés, avion fortement endommagé
4 18/04/00	F172	Ourox (58)	Surconsommation, panne en campagne	Avion endommagé
5 03/11/10	C172	Chavenay (78)	Calcul erroné de la quantité nécessaire, atterrissage d'urgence	Avion endommagé
6 17/04/11	F150	St Palais (18)	Consommation supérieure à la normale, atterrissage en campagne	Aucun
7 12/07/12	PA28	Pezenas (34)	Surconsommation, panne en finale	3 blessés, avion détruit
8 25/05/16	PA28	Nantes (44)	Sous-estimation de la consommation, panne en vent arrière	Aucun
9 16/03/19	C150	Millys (66)	Calcul erroné de la quantité nécessaire, atterrissage d'urgence	Avion fortement endommagé

régime unique, qui n'est de surcroît pas celui du vol. S'embarquer avec aussi peu de marges et avec des techniques peu maîtrisées est une méconnaissance totale des réalités.

2. Accident d'un Reims Aviation F152 à Fort-de-France (972) le 05/05/99 - voir lien #2 sur notre site

Une sous-estimation importante de la consommation (22 l/h, au lieu d'une réalité comprise entre 25 l/h et 32 l/h lors des vols précédents) conduit l'appareil à tomber en panne d'essence après 3 heures et 20 minutes de vol au lieu des 2 heures 30 planifiées initialement. Deux gros écarts à la fois dans la consommation horaire et aussi dans l'estimation du temps de vol qui provoquent une panne d'essence près de l'arrivée, en mer, à 100 mètres de la côte. Un optimisme incompréhensible pour un vol d'instruction avec survol maritime et aussi une grande méconnaissance des performances réelles de l'appareil très éloignées de celles notées dans le manuel de vol. A 77 % et 68 % de la puissance, le constructeur annonce en effet respectivement 22 l/h et 19,3 l/h dans les basses couches.

3. Accident d'un Yak 52 à Voinsles (77) le 11/06/99

voir lien #3 sur notre site

Même type d'accident dû à un écart considérable entre la consommation réelle (60 l/h à 80 l/h) et celle déclarée, probablement issue des données du constructeur (42,5 l/h).

On notera cependant sur ce type d'appareil la nécessité d'une connaissance approfondie du manuel de vol, qui présente des données de consommation sous une forme spécifique et avec des écarts, à la fois de puissance et de consommation, bien plus grands que ceux auxquels nous sommes habitués. (Figure 1).

4. Accident d'un Cessna F172H à Ouroux (58) le 18/06/00

voir lien #4 sur notre site

Encore un écart fatal entre la consommation réelle (37 litres/heure en moyenne à partir des données du carnet de route) contre 30 litres/heure qui avaient été indiqués par l'exploitant (aéroclub).

A noter que le manuel de vol indique 32 litres/heure dans les

	Puissance (ch)	Régime (l/min) % de régime	Consommation (l/h)
Décollage	360	2900 - 99 %	De 142 à 157
Nominal 1	290	2400 - 82 %	De 118 à 125
Nominal 2	240	2050 - 70 %	De 88 à 100
Croisière 1	180	1860 - 64 %	De 52,5 à 57,5
Croisière 2	144	1730 - 59 %	De 43 à 47
Ralent		Inf. à 700 - 26 %	

Figure 1. Extrait du Manuel de vol du Yak 52.

On remarque que la consommation choisie par le pilote de l'appareil accidenté correspondait à un régime de croisière économique et pour un avion neuf. Ce qui n'était probablement pas le cas.

conditions du vol. Soit un écart de $7/32 = 22\%$ entre la consommation réelle et celle du manuel de vol qui illustre bien toutes les précautions que les pilotes doivent prendre avant de décider de la quantité de carburant à embarquer et aussi d'évaluer leur temps de vol.

5. Accident d'un Cessna T72 P Skyhawk à Chavenay (78), le 03/11/10 - voir lien #5 sur notre site

Un court vol de convoyage entre deux aérodromes voisins est entrepris par un pilote qui considère que la quantité de carburant restant dans les réservoirs sera suffisante. L'avion a déjà volé 7 heures et 8 minutes depuis le plein complet. La panne qui survient 18 minutes après le décollage, soit 7 heures et 26 minutes après le plein, montre que la consommation moyenne de 32 litres/heure, retenue pour cet avion est cohérente avec la suite. En effet le plein de 235 litres utilisables a été consommé en 7 heures et 26 minutes (7,43 h). Soit une consommation réelle de 31,63 litres/heure.

Le problème vient du fait que le pilote a mal évalué la quantité restante au moment de prendre l'avion en charge. Il ne pouvait en effet, après 7 heures et 8 minutes et en considérant 32 l/h, s'attendre à ce qu'il reste davantage que quelques minutes de vol.

Mais peut-être a-t-il été trompé par le manuel de vol qui prévoit seulement 32 litres/heure (32,2 exactement) à la puissance de 76 %, c'est-à-dire beaucoup moins en utilisation à puissance moindre. Auquel cas il aura

sous-estimé la quantité consommée au cours des 7 heures et 8 minutes et surévalué son autonomie restante à 1 heure et 30 minutes. Soit suffisamment pour les quelque 20 minutes qu'il devait durer son vol.

La lecture des chiffres du manuel de vol (à 76 %, 32,2 l/h ; à 52 %, 21,9 l/h), soit en moyenne bien moins de 32 l/h, montrent qu'en réalité cet appareil devait consommer légèrement plus que mentionné par le constructeur. Vieillesse, conduite imparfaite des paramètres-moteur ? Mais cela ne justifie pas la conduite globalement trop légère des acteurs de l'accident.

6. Incident d'un Cessna F150 L à Saint-Palais (18) le 17/06/11

voir lien #6 sur notre site

Le pilote fait une grossière erreur de calcul de l'autonomie restante, à partir d'une autonomie déjà erronée de l'avion. Avec les pleins, il table sur 5 heures d'autonomie alors qu'en réalité elle est de seulement 3 heures 40 minutes. L'avion a volé pendant 1 heure et 45 minutes ce qui laisse supposer au pilote qu'il dispose de 3 heures 15 minutes d'autonomie. Mais la réalité est différente : avec ses 85 litres de carburant utilisables l'autonomie réelle, pour une consommation moyenne déduite des données du carnet de route, est de seulement 3 heures et 15 minutes. L'avion ayant volé 1 heure et 45 minutes, il reste en réalité 1 heure et 30 min avant la panne, temps confirmé par l'arrêt du moteur après 1 heure et 35 minutes de vol.

Nous retenons de cet incident deux enseignements indépen-

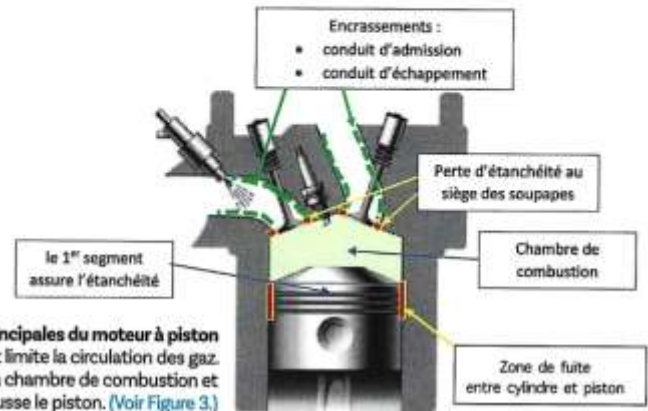


Figure 2. Schéma des zones de dégradations principales du moteur à piston

- L'encrassement des conduits d'admission et d'échappement limite la circulation des gaz.
- La perte d'étanchéité limite la montée en pression dans la chambre de combustion et réduit la force (source de puissance) qui repousse le piston. (Voir Figure 3.)

dants de l'erreur de jugement ou de calcul initiale :

- les jauges indiquaient bien une faible quantité restante. Mais la réputation générale de ce dispositif, considéré comme peu fiable, lui a supprimé tout crédit aux yeux du pilote. Pourtant, même dans le doute, on devrait crédibiliser la donnée la plus pessimiste ;
- les données de consommation du manuel de vol (87 %, 25 l/h ; 77 %, 22 l/h ; 68 %, 19,3 l/h) contre 23 l/h effectifs montrent une fois de plus la prudence dont on doit faire preuve en préparant un vol.

7. Accident d'un Piper PA28 à Pézenas (34) le 12/07/12

voir lien #7 sur notre site

Le scénario est sensiblement le même que pour l'incident précédent : le pilote, à cause d'une préparation insuffisante du vol et d'une méconnaissance de l'appareil, surestime la quantité d'essence disponible ou sous-estime son temps de vol. Il tombe en panne d'essence.

Nous retenons de cet accident le thème principal de notre propos de ce mois-ci : une notable différence entre la consommation réelle et celle du manuel de vol. En conclusion, le BEA note comme explications possibles :

- la gestion de la mixture ;
- la température élevée ;
- des manœuvres plus gourmandes que le vol en croisière ;
- le vieillissement du moteur.

8. Incident grave d'un Piper PA28 à Nantes-Atlantique (44), le 25/05/16

voir lien #8 sur notre site

Lors d'un vol avec un élève l'instructeur calcule une autonomie trop optimiste, compte tenu des réalités du vol du jour :

- connaissance approximative de la quantité de carburant à bord,
- carénage de roues enlevés (pénalisation de 8 % sur la distance franchissable prévue dans le manuel de vol),
- consommation horaire de 35 l/h au lieu des 43 l/h de moyenne relevés dans le carnet de route (et des 33 l/h du manuel de vol),
- et enfin une attente en vol imprévue.

Autant de pénalisations des performances en croisière et du temps de vol qui expliquent la panne-moteur près de l'arrivée. Nous retenons particulièrement la grande différence entre les 33 l/h du manuel de vol et la consommation moyenne constatée de 43 l/h sur cet appareil. D'autres informations d'utilisateurs d'appareils semblables font état de consommations moyennes comprises entre 36 et 40 litres/heure.

Le BEA rappelle que les performances des manuels de vol sont établies par les constructeurs avec des avions et des moteurs neufs et des pilotes d'essais.

9. Accident d'un Reims Cessna 150 à Millas (66) le 16 mars 2019

voir lien #9 sur notre site

Encore une surestimation du temps de vol possible en Cessna 150 avec la quantité supposée être à bord. Les chiffres du manuel de vol sont identiques à ceux du cas n°6 (87 %, 25 l/h ; 77 %, 22 l/h ; 68 %, 19,3 l/h).

Cependant il semble que si les chiffres sont réalistes, 19 l/h en moyenne lors de vols précédents, en utilisation en école la consommation sera, ce qui est tout à fait normal, bien plus élevée.

B. Sous-estimation de la consommation, surestimation de la quantité d'essence restante, sous-estimation du temps de vol, surestimation de la vitesse en croisière

Trois facteurs intimement liés qui provoquent régulièrement des pannes aux conséquences plus ou moins graves et qui ont comme dénominateur commun une connaissance insuffisante de l'appareil ou une application fantaisiste des éléments à la disposition du pilote. Il peut s'agir :

- d'un facteur purement humain ;
- d'une connaissance trop imprécise des paramètres de l'appareil et des conditions du jour ;
- d'un mélange des deux.

1. Le rôle du pilote dans une situation conduisant à une insuffisance en carburant

De nature, un pilote peut être rigoureux, précautionneux, précis, méfiant plutôt prudent voire pessimiste ou au contraire un peu insouciant voire optimiste. Les profils des pilotes impliqués dans les accidents ou incidents étudiés appartiennent plutôt à la deuxième catégorie :

- les pilotes plutôt insouciant se contentent d'informations peu fondées concernant les caractéristiques de l'avion. Ils ont trouvé des informations qui leur paraissent crédibles et ils ne les remettent pas en cause.

Les neuf cas étudiés décrivent bien des comportements peu critiques de pilotes qui ignorent ou veulent ignorer l'ensemble des incertitudes liées à la mise en œuvre d'un avion ;

- les pilotes plutôt optimistes qui écartent intentionnellement un élément objectif (cas n°6, le pilote écarte les jauges qui sont en désaccord avec sa représentation erronée de la consommation. Cas n°8 le pilote retient une valeur de la consommation bien plus basse que la réalité car elle lui permet de justifier que la quantité d'essence est suffisante).

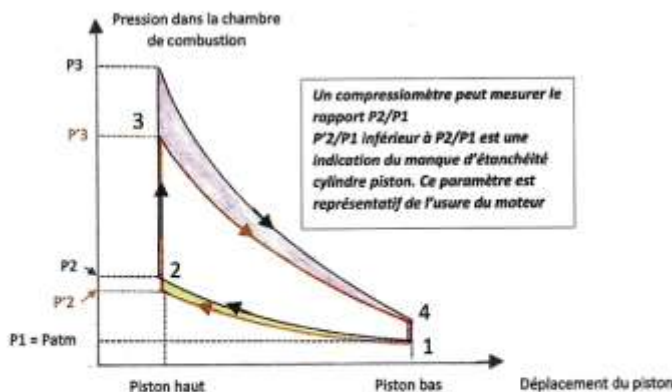


Figure 3. Comparaison du travail du moteur sur un cycle schématisé d'un moteur à 4 temps, à pression d'alimentation constante (cycle d'aspiration non représenté), moteur neuf et moteur usé

- En noir, cycle-moteur, moteur neuf :
 - > au point 1, piston bas, début de la compression depuis la pression d'admission (pression atmosphérique à pleine ouverture) ;
 - > au point 2, fin de la compression à P2, le piston est en haut (point mort haut) début de la combustion commandée par l'étincelle de la bougie ;
 - > au point 3, fin de l'explosion, début de la détente avec la descente du piston ;
 - > au point 4, ouverture de la soupape d'échappement, début de l'échappement ;
 - > au point 1, le piston remonte pour chasser les gaz brûlés. Le cycle échappement + admission n'est pas représenté car, effectué à basse pression, son rendement dépend peu de l'usure du moteur.
- En orange, cycle-moteur, moteur usé :
 - > au point 1, début de la compression ;
 - > au point 2, on n'atteint pas tout à fait P2 mais P'2 à cause des fuites ;
 - > la combustion ne permet pas d'atteindre P3 mais seulement P'3 à cause des fuites.

Les surfaces trapézoïdales limitées par 4 lignes de même couleur représentent l'énergie en Joule fournie au vilebrequin au cours du cycle. En une seconde la somme des énergies des cycles accomplis est la puissance (en Watt) du moteur. Le déficit en mauve représente donc la perte d'énergie du cycle orange. La petite aire en jaune représente la différence d'énergie nécessaire à la compression entre le moteur usé et le moteur neuf. Même si elle est favorable au moteur usé qui résiste moins, en revanche l'aire mauve qui est motrice et favorable au moteur neuf, est nettement plus grande. A noter que les deux moteurs ont consommé la même quantité de carburant et de comburant. En corollaire, pour fournir la même énergie que le moteur usé, le moteur neuf se contenterait de moins de carburant. Pour un avion léger, entre un moteur usé (1700 heures) et un moteur neuf bien rodé, l'écart de consommation atteint couramment de 5 à 8 %. Mais il n'est pas explicitement mentionné dans le manuel de vol !

2. Les paramètres propres à l'avion qui peuvent pénaliser les performances : la consommation horaire Ch et la vitesse propre Vp au niveau de vol

Une fois le trajet déterminé et le vent estimé, de ces deux paramètres découlent le temps de vol et le calcul du délestage en carburant. Si Ch et Vp sont corrects, il ne peut y avoir de surprise pour qui rajoute au délestage, en VFR par exemple, les 30 minutes de jour et les 45 minutes de nuit. Mais, comme le montrent la plupart des cas étudiés, les consommations horaires Ch, associées aux vitesses propres Vp ne sont pas toujours réalisables sur des appareils qui ne sont plus neufs. Il s'ensuit une absolue nécessité d'obtenir auprès des responsables d'exploitation les chiffres réels associés à l'appareil qu'on prend en charge. Les dérives, par rapport à l'avion neuf et piloté de mains expertes par le pilote d'essais du constructeur, ont plusieurs origines possibles :

- > un pilotage moins précis ;
- > un réglage de la mixture moins précis ;
- > un moteur plus aussi performant que lorsqu'il était neuf ;
- > une hélice qui a souffert des impacts et des dépôts au cours du temps ;

- des surfaces moins propres et moins lisses qui entraînent davantage ;
- une géométrie générale de l'avion qui s'est déformé en vieillissant et en prenant des mauvais coups (atterrissages durs, surfaces un peu déformées...);
- une augmentation insensible de la masse à vide au cours du temps.

3. Evaluation de l'influence du vieillissement sur le moteur et sur la cellule

a. Le moteur - Le rendement du moteur à piston est lié à l'étanchéité de la chambre de combustion (piston/cylindre, étanchéité des soupapes) et à la propreté des différents organes d'admission et d'échappement qui s'encrassent au cours du temps. La perte d'étanchéité est une des sources d'augmentation de la consommation nécessaire à produire une puissance donnée. L'usure des segments, organe d'étanchéité, et l'usure des cylindres réduisent cette étanchéité au cours des heures de fonctionnement. (Figures 2 et 3).

Explication et quantification de la perte de puissance due à l'usure.

b. La cellule

Le vieillissement de la cellule de l'appareil est dû principalement à une dégradation des états de surface de l'ensemble des parois : oxydations diverses, salissures, bosses, disjonctions des pièces raccordées... Ainsi chaque mini-endommagement participe à l'augmentation de la traînée, donc à la consommation kilométrique ou ce qui revient au même à la réduction de la vitesse propre pour une puissance donnée.

On peut avoir un aperçu de l'augmentation de la traînée de frottement en comparant la traînée de l'aile de l'avion neuf, peinture lisse ou métal poli, à celle de l'avion à la peinture salie par différents dépôts en surface : petites aspérités dues à l'oxydation, salissures de moustiques... On les caractérise par h, la hauteur moyenne des aspérités.

La hauteur h rapportée à L, la corde de l'aile, donne h/L la rugosité relative. Ensuite h/L permet de déterminer C_{xp}, le coefficient de frottement de la paroi en fonction du nombre de Reynolds Re_{ff} de l'écoulement. (Figure 4)

Exemple : évaluation de la traînée de frottement de l'aile seule (intrados + extrados) d'un DR400 neuf ou vieilli (rugosité de la peinture, salissures...).
 DR400 à V = 70 m/s (250 km/h);
 Re_{ff} = 9 10⁶ (9 millions).
 Surface de l'aile L = 14 m²; corde de l'aile L = 2 m ou 2 000 mm
 - peinture lisse : h = 0,001 mm
 h/L = 0,001/2000 = 5 10⁻⁷ (courbe n°2); C_{xp} = 0,0075
 - peinture très vieillie ou salie : h = 0,1 mm; h/L = 0,1/2000 = 5 10⁻⁵ (courbe 3); C_{xp} = 0,010
 Evaluation de la traînée de frottement R_{xf} de l'aile :

$R_{xf} = C_{xp} \times \rho / 2 \times V^2 \times S$
 avec S = 14 x 2 = 28 m² (extrados et intrados)
 - aile lisse : R_{xf} = 0,0075 x 1,2/2 x 70² x 28 = 617 N
 - aile vieillie : R_{xf} = 0,010 x 1,2/2 x 70² x 28 = 823 N
 Soit un écart de ΔR_{xf} de 206 N qui nécessitent un excédent de puissance ΔP_u :
 ΔP_u = ΔR_{xf} x V = 206 x 70 = 14 420 W ou 14 kW ou 19 ch.
 Pour un appareil de 180 ch à 75 % de sa puissance (135 ch), consommant environ 38 litres/h à 250 km/h, 19 ch représentent 19/135 = 14 % de la consommation en plus, soit environ 5 litres/heure.

C. Conclusion : calculez votre délestage avec réalisme

Nous espérons vous avoir convaincu de prendre de larges marges de sécurité concernant la quantité de carburant à embarquer. Moteur usé, avion à la surface moins lisse, on trouve déjà 5 à 8 % en plus pour l'usure du moteur et 14 % pour l'excédent de frottement simplement dû à l'aile.

Même si l'on s'agit de chiffres extrêmes, la consommation sera toujours supérieure à celle du manuel de vol.

D'où la nécessité de vous informer de la consommation réelle de l'appareil que vous prenez en charge : interrogation de vos responsables, suivi de consommation sur le carnet de route, observation de la diminution de la vitesse de croisière au cours de la vie de l'avion. Prévoir et ajouter systématiquement 20 % aux estimations issues du carnet de route, comme le font certains aéro-clubs, est une mesure simple et pleine de bon sens ! ●

Figure 4. Coefficient de traînée de frottement ou de traînée de paroi C_{xp} en fonction du nombre de Reynolds Re_{ff} pour 4 valeurs de la rugosité relative h/L (L = corde de l'aile). On retient courbe 2 : h/L = 5 10⁻⁷; courbe 3 : h/L = 5 10⁻⁵. (Extrait d'Aérodynamique Expérimentale - Pierre Rébuffet-éd. Dunod.)

