

CALIPSO, un outil novateur de classification sonore des avions légers

Bruno Hamon

Bureau de la performance environnementale
des aéronefs

DGAC

50, rue Henri Farman

75015 PARIS

E-mail : bruno.hamon@aviation-civile.gouv.fr

On compte en France près de 500 aéroports publics susceptibles d'accueillir l'aviation légère. En 2004, une enquête avait révélé que 129 d'entre eux ont fait l'objet de plaintes pour nuisances sonores, soit un peu plus du quart des terrains. Ces plaintes ont été examinées pour en connaître les causes, mais aussi pour en regarder les occurrences. Il apparaît que le «tour de piste» représente la cause principale des plaintes de riverains (42%). Il est suivi par la voltige, le parachutisme et le remorquage à hauteur de 10%, puis par les hélicoptères et les ULM (5%), des vols en transit (3%), le travail aérien... Enfin, on trouve aussi des causes diverses comme les vols de nuit.

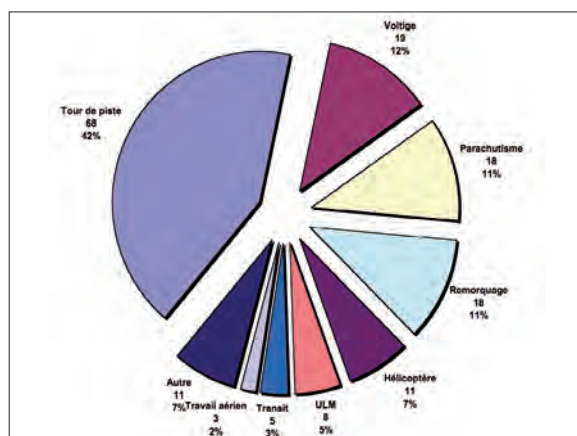


Fig. 1 : Répartition des plaintes pour nuisances sonores sur les aéroports (2004). Source DGAC

L'objectif principal de CALIPSO (Classification des Avions Légers selon leur Indice de Performance Sonore) a donc été de s'attaquer à la cause principale du mécontentement des riverains c'est-à-dire le tour de piste. Il s'agit d'une procédure fondamentale pour la formation des pilotes qui doivent enchaîner les 5 phases (figure 2) plusieurs fois par entraînement ce qui occasionne des nuisances sonores.

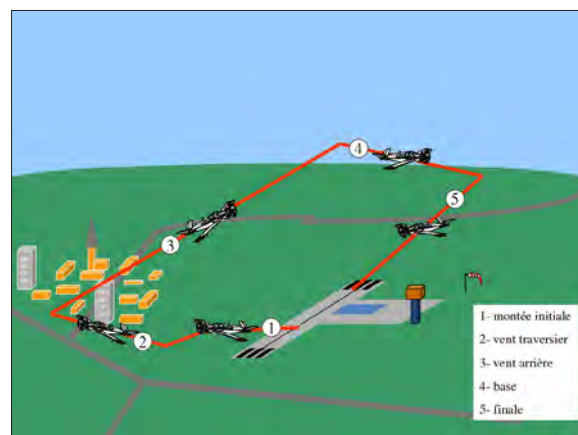


Fig. 2 : Description du tour de piste réalisé par un avion léger. Il s'agit d'une procédure qui permet d'atterrir ou de décoller en toute sécurité. Elle est composée de 5 phases que le pilote doit enchaîner au cours de sa formation : la montée initiale, la phase vent traversier, la phase vent arrière, l'étape de base et la finale

Elles sont de deux types : l'intensité puis la répétitivité des émergences. Le dispositif CALIPSO ne traite pas de la répétitivité des émergences, il vise à relever les niveaux sonores produit par les avions lors de ces tours de piste.

La France est le premier pays à développer une classification basée sur ces mesures prises en situations réelles de vol et exprimée au moyen d'un Indice de Performance sonore (IP) défini en référence au bruit maximal d'une conversation. Plus l'indice de performance de l'avion est élevé, plus le niveau de bruit perçu est faible soit :

IP 0 : niveau de bruit perçu au sol égal à celui d'une conversation,

IP 30 : niveau de bruit perçu au sol inférieur de 3 dB à celui d'une conversation,

IP 60 : niveau de bruit perçu au sol inférieur de 6 dB à celui d'une conversation.

En fonction de ce critère, les avions sont classés selon 4 catégories, d'une échelle de A à D, du plus performant au moins performant :

IP	$IP \geq 60$	$30 \leq IP < 60$	$0 \leq IP < 30$	$IP < 0$
Classification	A	B	C	D

Procédé

La classification CALIPSO a nécessité le développement d'un protocole de mesure propre à résumer le bruit que produit un avion en situations réelles de vol avec comme exigences la simplicité de mise en œuvre, la précision des résultats, le coût et le temps d'exécution. De fait, l'appareillage de mesure a été limité à un sonomètre de classe 1, une station météo, un tachymètre pour relever la vitesse de rotation de l'hélice et un dispositif d'évaluation de la hauteur à laquelle l'avion survole le point de mesure.

L'évaluation du bruit de l'avion est caractérisée par le niveau maximal de pression acoustique pondéré A (LpA). L'avion effectue huit passages en palier à la verticale du point de mesure acoustique (figure 3) à une hauteur comprise entre 640 pieds (195 m) et 960 pieds (293 m). La hauteur cible, dite de référence, est de 800 pieds (244 m).

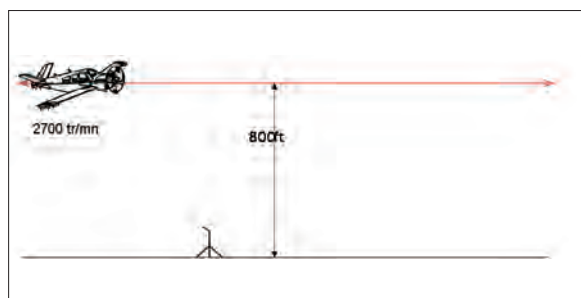


Fig. 3 : Protocole de mesure dédiée. Source DGAC

Pour chaque survol opéré à une vitesse de rotation de l'hélice (RPM) prédéterminée, le niveau de pression acoustique maximal (LpA)TEST est recueilli. Il est corrigé pour aboutir au niveau de pression acoustique (LpA)REF dans les conditions de référence ($p = 1\,013,25$ hPa, $t = 15$ °C, $H = 70\%$). Une courbe de tendance polynomiale est déterminée à partir des couples ((LpA)REF ; RPM). L'ordre de la courbe est celui qui traduit le mieux le phénomène physique observé. Un ordre supérieur à deux peut s'avérer nécessaire pour révéler des variations du bruit particulières en fonction de la vitesse de rotation de l'hélice notamment quand l'avion est équipé d'un dispositif atténuateur de bruit tel qu'un silencieux d'échappement.

Les niveaux de pression acoustique de la courbe de tendance, désignés (LpA)REG, sont majorés de l'intervalle de confiance au niveau de probabilité de 90% pour garantir que le niveau de bruit retenu pour caractériser l'avion est le plus élevé.

Champ d'application de CALIPSO

CALIPSO a été imaginé en 2003 puis développé suite à l'une des recommandations du rapport du sénateur Claude Belot remis au Premier ministre en 2004. Cette recommandation préconisait de classer les avions légers selon le niveau de bruit qu'ils produisent en situations réelles de vol. En 2005, le Conseil national du bruit (CNB) recommandait à son tour une classification pour attribuer un label aux avions les plus silencieux et favoriser ainsi la réduction du bruit à la source.

Développé par la DGAC, il s'agit d'un outil de dialogue qui vise à concilier de manière durable l'intérêt des usagers de l'aviation légère et les attentes des riverains en apportant une information compréhensible sur le bruit que produisent les avions en situations réelles de vol. Le dispositif est entré en vigueur le 1er juillet 2013 par voie d'arrêté. (voir Réglementation page 43)

Actuellement, CALIPSO s'applique aux avions dont la masse maximale au décollage est inférieure à 19 000 livres soit 8 618 kg ce qui correspond concrètement aux avions légers. Elle est applicable aux avions détenteurs d'un certificat de navigabilité restreinte ou spéciale, ou équipés d'hélices à pas fixes. En 2014, ce champ d'application sera étendu aux hélices à pas variables, car il a été nécessaire de développer un protocole spécifique à ce type d'appareil.

La courbe (LpA)REG majorée est discrétisée en dix points dont les niveaux correspondants sont comparés au niveau maximal d'une conversation (68 dB(A)). Cette valeur est portée à 70 dB(A) pour tenir compte de l'écart entre la hauteur courante du circuit de piste (1 000 pieds) et la hauteur de référence retenue pour le protocole (800 pieds).

L'Indice de Performance sonore Non Corrigé (IPNC) est égal à la somme algébrique des écarts entre 70 dB(A) et le niveau des dix points de la courbe (LpA)REG majorée.

La dernière étape consiste à ajouter à l'IPNC un incrément destiné à tenir compte de la capacité de l'avion à s'éloigner rapidement du sol.

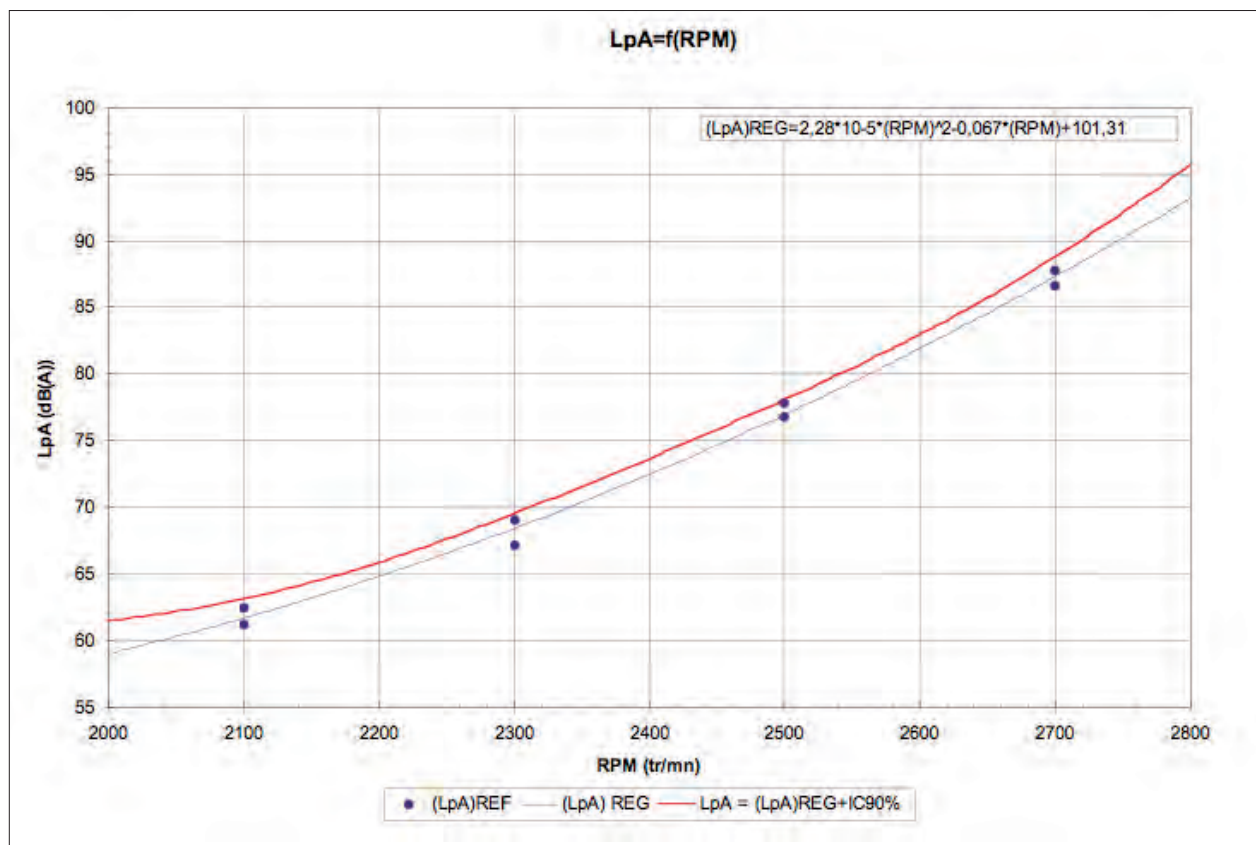


Fig. 4 : Exemple de l'expression du niveau de pression acoustique L_pA en fonction de la vitesse de rotation de l'hélice. Sont également présentées les courbes $(L_pA)_{REG}$ et $(L_pA)_{REG}$ majorée de l'intervalle de confiance au niveau de probabilité de 90%.

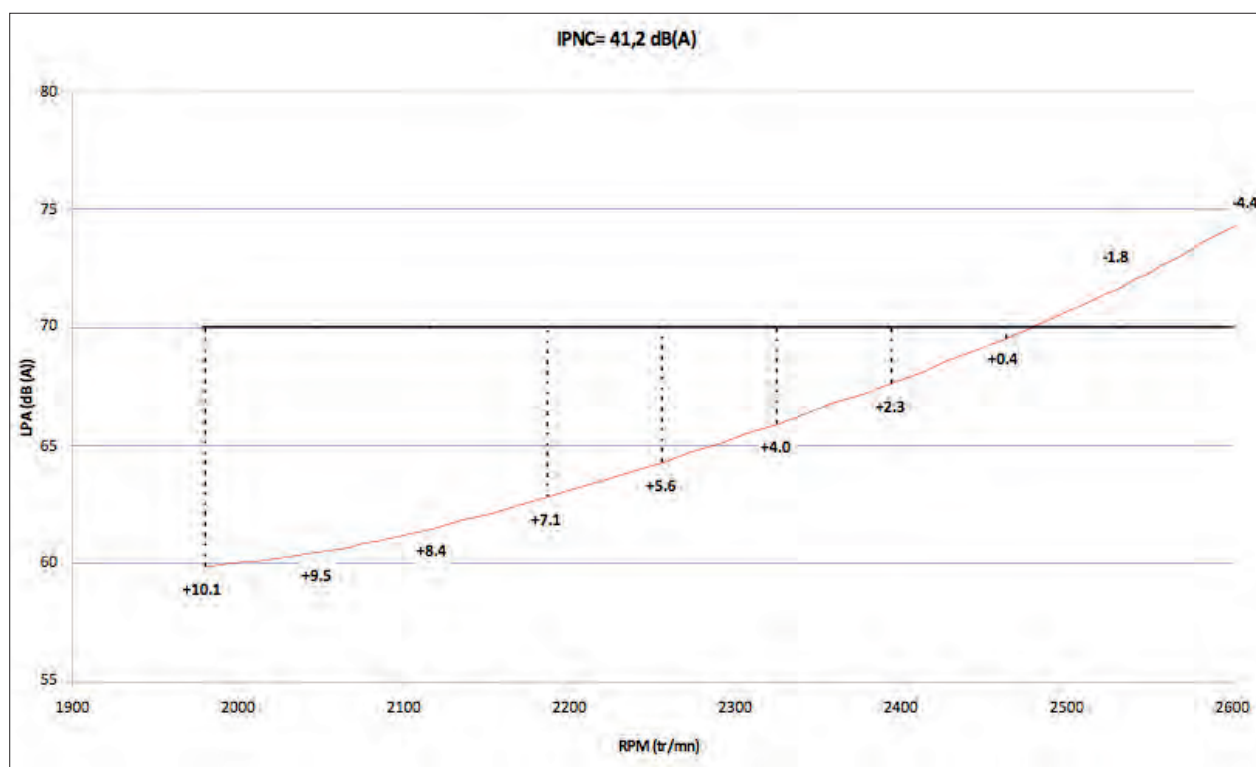


Fig. 5 : Illustration d'un exemple d'IPNC

Les corrections apportées aux résultats d'essai

Pour chaque survol, le niveau de bruit (LpA)REF est obtenu en ajoutant au niveau de bruit du jour de l'essai (LpA)TEST deux incréments :

$$(LpA)_{REF} = (LpA)_{TEST} + \Delta 1 + \Delta 2$$

$\Delta 1$ est l'ajustement destiné à considérer la différence de trajet du bruit sur la trajectoire de vol réelle de l'avion et la trajectoire de référence selon la formule :

$$\Delta 1 = 22 \times \log \left(\frac{H^T}{H^R} \right)$$

où H^T et H^R sont respectivement les hauteurs de test et de référence de l'aéronef.

$\Delta 2$ fait cas de la différence de nombre de Mach périphérique de l'hélice entre les conditions d'essai et les conditions de référence respectivement M^T et M^R . Le Mach périphérique de l'hélice est calculé comme suit :

$$M^T = \frac{\left[\left(\frac{D\pi N}{60} \right)^2 + TAS_T^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{c^T} \quad M^R = \frac{\left[\left(\frac{D\pi N}{60} \right)^2 + TAS_R^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{c^R}$$

où :

D est le diamètre de l'hélice exprimé en mètres, TAS_T et TAS_R sont respectivement les vitesses vraies de l'avion exprimées en mètres par seconde dans les conditions d'essai et les conditions de référence, N est la vitesse de l'hélice exprimée en nombre de tours par minute,

c^T est la vitesse du son, à l'altitude de l'avion, exprimée en mètres par seconde, en fonction de la température à la hauteur de test, en partant de l'hypothèse d'une variation selon la hauteur du gradient vertical de la température ISA.

c^R est la vitesse du son, à l'altitude de l'avion, exprimée en mètres par seconde, en fonction de la température à la hauteur de référence, en partant de l'hypothèse d'une variation selon la hauteur du gradient vertical de la température ISA.

$\Delta 2$ est calculé comme suit :

$$\Delta 2 = f(M^R) - f(M^T)$$

où $f(M)$ est l'équation de la courbe de tendance polynomiale exprimant le niveau de bruit corrigé de hauteur en fonction du nombre de Mach périphérique dans les conditions d'essai.

La correction de performance

Les avions dont la performance de vol est plus élevée décollent plus rapidement et suivent une trajectoire en montée avec une pente plus abrupte.

Une correction de performance au décollage et en montée ($\Delta Perf$) est ajoutée à l'IPNC de l'avion selon la formule :

$$IP = IPNC + \Delta Perf$$

avec :

$$\Delta Perf = 20 \log_{10} \left[(3500 - D_{15}) \frac{R/C}{V_Y} + 15 \right] - 49,6$$

où :

D_{15} est la distance en mètres de décollage aux 15 m, à la masse maximale certifiée au décollage et à la puissance maximale de décollage (piste en dur)

R/C est la vitesse ascensionnelle en mètres par seconde, optimale à la masse maximale certifiée au décollage et à la puissance maximale de décollage

V_Y est la vitesse de montée en mètres par seconde, correspondant à R/C à la puissance maximale de décollage et exprimée dans la même unité.

La simulation de CALIPSO sur un aéroport test

L'aéroport choisi est celui de Toulouse Matabiau.

70 types d'avions acoustiquement différents ont été mesurés soit 84% de la flotte de l'aéroport de Toulouse Matabiau. 3% de ces appareils sont à classer dans la catégorie D, 3% dans la catégorie C ; la majorité (78%) se classe en catégorie B entre 3 et 6 dB en dessous du niveau de la conversation. Enfin, environ 16% des appareils sont classés en catégorie A. Ce qu'on voit, c'est que pour 94% des appareils, le niveau de bruit perçu est inférieur à celui de la conversation. Le cas de Toulouse Matabiau est un cas un peu particulier, car cette répartition résulte du fait que bon nombre d'appareils sont équipés de silencieux d'échappement, ce qui a permis de mieux les classer.

Conclusion

Le dispositif CALIPSO classe les avions selon le bruit perçu au sol, il propose des données objectives et tangibles, car on compare le niveau de bruit à celui de la conversation. C'est pourquoi il est un outil privilégié de concertation au niveau local qui devrait constituer une aide à la gestion de l'exposition au bruit aux abords des aéroports d'aviation légère.

CALIPSO référence déjà 50 types d'avions légers représentant plus de 70% de la flotte immatriculée en France.

La classe des avions répertoriés est consultable sur le site du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie <http://www.developpement-durable.gouv.fr> en suivant le fil d'Ariane Transports > Secteur Aérien > Aviation légère, générale et hélicoptères > Insertion dans l'environnement.