

# > Manuel du bruit aérien

*Instructions pour la détermination du bruit*





# > Manuel du bruit aérien

*Instructions pour la détermination du bruit*

Éditeurs:  
Office fédéral de l'environnement (OFEV)  
Office fédéral de l'aviation civile (OFAC)  
Secrétariat général du Département fédéral de la défense,  
de la protection de la population et des sports (SG DDPS)  
Berne, 2021

### **Valeur juridique**

La présente publication est une aide à l'exécution élaborée conjointement par l'OFEV, en sa qualité d'autorité spécialisée de la Confédération dans le domaine du bruit, et par l'OFAC et le DDPS, autorités directrices des aéroports civils et militaires, appelées aussi à mettre en œuvre des dispositions du droit environnemental. Elle concrétise des notions juridiques indéterminées contenues dans des lois et des ordonnances et favorise ainsi une application uniforme de la législation. Si les autorités d'exécution la suivent, elles peuvent partir du principe que leurs décisions seront conformes au droit fédéral.

### **Impressum**

#### **Éditeurs**

Office fédéral de l'environnement (OFEV)  
Office fédéral de l'aviation civile (OFAC)  
Secrétariat général du Département fédéral de la défense, de la protection de la population et des sports (SG DDPS)

L'OFEV et l'OFAC sont des offices du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

#### **Accompagnement et membres du groupe de travail**

##### **Procédé de calcul du bruit aérien**

Kornel Köstli, Maurus Bärlocher OFEV  
Daniel Hiltbrunner, OFAC  
Amilcare Foglia, Bruno Locher, DDPS  
Walter Krebs, EMPA  
Peter Jaberg, Thomas Heierle, Bächtold & Moor AG  
Ernst Lobsiger, Lobsiger Consulting  
Fabio Breda, Ecocontrol

#### **Référence bibliographique**

OFEV 2021: Manuel du bruit aérien. Instructions pour la détermination du bruit. L'environnement pratique n° 1625. Office fédéral de l'environnement, Berne. 36 p.

#### **Traduction**

Mona El Baradie, 7213 Valzeina

#### **Graphisme, mise en page**

Valérie Fries, 3063 Ittigen

#### **Photo de couverture**

BAFU

#### **Téléchargement du fichier PDF**

[www.bafu.admin.ch/uv-1625-f](http://www.bafu.admin.ch/uv-1625-f)

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

La présente publication existe également en allemand et en italien.

# > Table des matières

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>7</b>
<b>Résumé</b>	<b>8</b>
<hr/>	
<b>1 Bases</b>	<b>10</b>
1.1 Bases légales générales	10
1.2 Champ d'application de l'aide à l'exécution	11
<hr/>	
<b>2 Préparation des données</b>	<b>12</b>
2.1 Données relatives à l'exploitation	12
2.2 Exploitation de vol déterminante, nombre de mouvements	14
2.3 Topographie	16
<hr/>	
<b>3 Calculs</b>	<b>17</b>
3.1 Concept pour la recommandation de programmes par l'OFEV	17
3.2 Aperçu des outils SANC-Tools	18
3.2.1 SANC-DB	18
3.2.2 SANC-TE	20
3.2.3 SANC-REF	21
3.3 Exigences relatives au calcul et approches de référence	23
3.3.1 Niveau de la source / émissions	23
3.3.2 Propagation du bruit	24
3.3.3 Immissions	25
3.4 Spécificités lors de la détermination du bruit des hélicoptères	27
<hr/>	
<b>4 Mesurages</b>	<b>28</b>
4.1 Exigences générales	28
4.2 Exigences relatives à des situations spécifiques	28
<hr/>	
<b>5 Documentation des résultats</b>	<b>29</b>
5.1 Exigences relatives aux calculs	29
5.2 Exigences relatives aux mesurages	31

<b>Annexe</b>	<b>32</b>
A1 Bref descriptif des principaux éléments de Swiss Aircraft Noise Calculation Reference Frames (SANC-REF)	32
<hr/>	
<b>Bibliographie</b>	<b>34</b>
<b>Index</b>	<b>35</b>



## > Abstracts

This implementation tool specifies the general requirements of the noise abatement ordinance (NAO) concerning procedures for calculating aircraft noise. The Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB), the Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE) and the reference model approaches provide important quality assurance instruments. They ensure the equivalence of different calculation programs without threatening implementation continuity and therefore legal security, nor do they call into question the free of choice of the method.

Die vorliegende Vollzugshilfe konkretisiert die allgemeinen Anforderungen der Lärmschutz-Verordnung (LSV) an Berechnungsverfahren für Fluglärm. Mit der Quelldatenbank Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB), der Testumgebung Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE) und Referenz-Modellansätzen werden wichtige Instrumente zur Qualitätssicherung entsprechender Programme vorgegeben. Damit kann die Gleichwertigkeit und Qualität von Berechnungsergebnissen gewährleistet werden, ohne die Vollzugskontinuität und damit die Rechtssicherheit zu gefährden oder die Methodenfreiheit in Frage zu stellen.

La présente aide à l'exécution concrétise les exigences générales de l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) concernant les méthodes de calcul du bruit du trafic aérien. La base de données «Swiss Aircraft Noise Calculation Database» (SANC-DB), l'environnement de test «Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment» (SANC-TE) et l'approche du modèle de référence sont des instruments importants permettant d'assurer la qualité des logiciels concernés. L'équivalence et la qualité des résultats de calcul est ainsi assurée sans que soit menacée la continuité de l'exécution (et donc la sécurité juridique), ni que soit remise en question la liberté du choix de la méthode.

Il presente aiuto all'esecuzione concretizza le esigenze generali dell'ordinanza contro l'inquinamento fonico (OIF) per quanto concerne i metodi di calcolo del rumore del traffico aereo. La banca dati Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB), l'ambiente di test Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE) e gli approcci di modelli di riferimento proposti costituiscono strumenti importanti per la garanzia della qualità. L'equipollenza e la qualità di vari programmi di calcolo può di fatto essere assicurata senza impedire la continuità dell'esecuzione (e quindi la sicurezza giuridica) o mettere in questione la libertà di scelta del metodo.

**Keywords:**

aircraft noise calculation,  
source data base SANC-DB,  
test environment SANC-TE,  
reference model,  
quality assurance

**Stichwörter:**

Fluglärm Berechnung,  
Quelldatenbank SANC-DB,  
Testumgebung SANC-TE,  
Referenz-Modellansätze,  
Qualitätssicherung

**Mots-clés:**

calcul du bruit des aéroports,  
base de données SANC-DB,  
environnement-test SANC-TE,  
modèles de référence,  
assurance qualité

**Parole chiave:**

calcolo del rumore del traffico  
aereo,  
banca dati di base SANC-DB,  
ambiente di test SANC-TE,  
approcci di modelli di riferimento,  
garanzia della qualità



---

## > Avant-propos

En Suisse, ce sont près de 100 000 personnes qui sont touchées par des immissions nuisibles de bruit dues au trafic aérien. La Confédération, les propriétaires des aéroports et les compagnies aériennes ont l'obligation de réduire ces immissions. Il faut des modèles de calcul d'excellente qualité pour que l'exposition au bruit et l'effet des mesures soient traités de façon comparable à l'échelle nationale. L'OFEV a fourni dès les années 1980 et 1990 des instructions pour un calcul assisté par ordinateur du bruit des routes et des chemins de fer. Pour le bruit des installations de tir, il a même élaboré un logiciel spécifique. Jusqu'ici, il n'existait cependant aucune aide pour déterminer les immissions sonores du trafic aérien. En lieu et place, deux projets indépendants l'un de l'autre ont vu le jour, avec le soutien partiel des autorités fédérales. Il s'agit des programmes de calcul propriétaires FLULA 2 et IMM-PAC. Ces logiciels utilisent des approches de modélisation physique parfois différentes pour décrire les avions en tant que sources de bruit et la propagation des ondes sonores. Il en est résulté des champs d'application distincts: IMM-PAC est utilisé pour les champs d'aviation et les aéroports régionaux, tandis que FLULA2 l'est avant tout pour les aéroports nationaux et les aéroports militaires.

La présente publication contient des informations concrètes à l'intention des développeurs et des utilisateurs de programmes de calcul, afin qu'ils puissent calculer le bruit aérien conformément à l'OPB et à l'état actuel de la technique, sans pour autant renoncer à la liberté dont ils jouissent s'agissant des méthodes appliquées. Ce manuel vise en premier lieu à harmoniser les calculs du bruit de l'aviation, dans le but de créer des conditions identiques pour toutes les instances et personnes directement concernées, aussi bien les exploitants des aéroports que les riverains exposés au bruit.

Josef Hess  
Sous-directeur  
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

## > Résumé

Les bases légales s'appliquant aux méthodes de calcul du bruit aérien utilisées en Suisse sont contenues dans la loi sur la protection de l'environnement (LPE) et l'ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB). En vertu de ces dispositions, les immissions de bruit des avions doivent d'une manière générale être déterminées par calcul. Si le mesurage n'est pas exclu, le calcul revêt une grande importance dans tous les cas. Les méthodes de calcul doivent par conséquent satisfaire à l'état admis de la technique et produire des résultats comparables à l'échelle nationale. Les prescriptions dans ce domaine doivent également être applicables et ne pas constituer un obstacle technique. L'art. 38, al. 2, OPB confère à l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) la tâche de recommander des méthodes de calcul du bruit aérien appropriées.

Conditions-cadres juridiques

La présente aide à l'exécution vient concrétiser ce mandat. Elle a pour objectif d'unifier l'exécution de l'OPB et d'assurer la conformité de la détermination des immissions de bruit du trafic aérien. Elle s'adresse par conséquent aux autorités d'exécution et aux experts qui mettent au point ou appliquent des procédés de calcul ou des logiciels dans ce domaine. Elle précise en outre les exigences légales posées en Suisse pour le calcul du bruit du trafic aérien.

But, groupe cible

Un groupe de travail, placé sous la direction de l'OFEV, a été créé pour élaborer le présent document. Il comprenait des représentants des principaux services fédéraux concernés ainsi que des développeurs et des utilisateurs de programmes de calcul du bruit du trafic aérien en Suisse. Au besoin, il s'est adjoint des experts externes et a consulté d'autres milieux intéressés, notamment les aéroports nationaux.

Groupe de travail. Procédé de calcul du bruit aérien

Le premier chapitre «Bases» explique les bases contenues dans les annexes 5 et 8 OPB concernant le calcul des immissions causées par le trafic aérien civil et militaire. Le champ d'application est en outre délimité, à savoir qu'il est précisé ce qui n'est pas du bruit du trafic aérien au sens de l'OPB, par exemple le bruit des opérations au sol.

Chapitre 1 «Bases» et délimitation du champ d'application

Le deuxième chapitre «Préparation des données» concrétise les exigences applicables à la préparation des données utilisées pour déterminer le bruit des avions conformément aux dispositions de l'OPB. Il y est notamment précisé quelles sont les opérations pertinentes pour la détermination du bruit et comment le nombre de mouvements horaires reposant sur le trafic de pointe doit être intégré dans le calcul. L'utilisateur de l'aide y trouvera également des informations sur d'autres éléments à prendre en compte: composition de la flotte, groupement d'avions, routes latérales et sous-routes, utilisation de données radar.

Chapitre 2 «Préparation des données»: trafic de pointe, classes d'avions, données radar

Le troisième chapitre «Calculs» traite des exigences auxquelles doivent satisfaire les programmes de calcul du bruit aérien. Pour maintenir la liberté de choix des méthodes, les prescriptions explicites ont été réduites au strict minimum. Le critère déterminant pour la recommandation d'un programme par l'OFEV est que le logiciel calcule, dans un environnement-test donné, des courbes de bruit se situant dans le cadre de référence

Chapitre 3 «Calcul»: Swiss Aircraft Noise Calculation Tools (SANC-Tools)

défini. Le groupe de travail a mis au point la collection d'outils Swiss Aircraft Noise Calculation Tools (SANC-Tools) pour la réalisation de ces tests. Ces outils comprennent une base de données (SANC-DB), un environnement de test (SANC-TE) et un cadre de référence (SANC-REF).

La plus grande influence sur les résultats des calculs provient des données d'émission acoustique attribuées aux différents types d'avions. La base de données Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB) repose sur toutes les données utilisées jusqu'à présent en Suisse, plus précisément par l'EMPA et par l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC). Ces données constituent désormais la référence des sources acoustiques pour le calcul du bruit aérien selon l'OPB. Les modèles de source concrets utilisés dans les programmes de bruit aérien doivent être générés ou calibrés à l'aide de ces données.

**Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB)**  
**Référence de la source**

L'environnement de test Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE) permet de vérifier les différents programmes. Il est constitué de deux aérodromes factices, avec un modèle de terrain schématique et plusieurs routes de décollage et d'atterrissage. Pour obtenir la recommandation de l'OFEV, plusieurs calculs test standards, reposant sur différents scénarios d'exploitation et des charges de trafic réalistes, doivent obtenir des résultats conformes aux cadres de référence. L'évaluation, elle, se fait aussi bien à l'aide de scénarios utilisant le niveau moyen ( $L_{eq}$ ) qu'à l'aide du niveau de l'événement ( $L_{AE}$ ) obtenu à partir de l'appréciation de mouvements individuels.

**Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE)**

Les cadres de référence de Swiss Aircraft Noise Calculation Reference Frames (SANC-REF) fixent des intervalles de confiance pour les calculs de chacun des scénarios de test. Les programmes dont les résultats se situent à l'intérieur des cadres SANC-REF peuvent être recommandés pour le calcul du bruit du trafic aérien selon l'OPB. Les bases de ces calculs de référence sont décrites et expliquées.

**Swiss Aircraft Noise Calculation Reference Frames (SANC-REF)**

Les deux derniers chapitres «Mesurages» et «Documentation des résultats» enfin font le tour des exigences applicables à ces deux domaines, à savoir le mesurage du bruit et la documentation des résultats.

**Chapitres 4 et 5: «Mesurages» et «Documentation des résultats»**

# 1 > Bases

*Les immissions de bruit de l'aviation sont déterminées selon les principes généraux énoncés dans la LPE et l'OPB. La présente aide à l'exécution concrétise cette détermination pour les immissions de bruit de l'aviation, civile et militaire, selon les annexes 5 et 8 OPB. Aux fins de délimiter le champ d'application de ces instructions, il est précisé quand le bruit sur des aérodromes n'est pas du bruit de trafic aérien au sens de l'ordonnance.*

## 1.1 Bases légales générales

L'art. 38, al. 3, LPE stipule que le Conseil fédéral fixe les méthodes d'examen, de mesure et de calcul. Les prescriptions sur la méthodologie doivent en l'occurrence satisfaire à plusieurs exigences<sup>1</sup>:

LPE

- > elles doivent correspondre à l'état de la technique et des connaissances;
- > elles doivent être applicables (exactitude, utilisation, financement, etc.);
- > elles doivent être conçues de manière à ne pas constituer des obstacles techniques au commerce.

L'art. 38, al. 2, OPB dispose que les immissions de bruit des avions doivent en principe être déterminées par calcul. Les calculs doivent être effectués conformément à l'état admis de la technique. L'Office fédéral de l'environnement recommande des méthodes de calcul appropriées. Outre ces exigences spécifiques se rapportant au bruit de l'aviation, l'annexe 2 OPB fixe des exigences générales relatives aux méthodes de calcul.

OPB

Dès lors que le bruit des avions doit généralement être déterminé par calcul, la question se pose de savoir quel est l'état de la technique pertinent. Si l'on part de la définition de l'état de la technique donnée à l'art. 4, al. 2, de l'ordonnance sur la protection de l'air, il faut au moins que la méthode choisie ait fait ses preuves en Suisse ou à l'étranger, ou qu'elle ait été appliquée avec succès lors d'essais et que la technique permette de la transposer à d'autres applications<sup>2</sup>.

État de la technique

Pour cette raison, l'OFEV a fait réaliser une vaste analyse de la situation en prévision de la présente publication. L'étude a porté sur les programmes de calcul du bruit du trafic aérien les plus couramment utilisés<sup>[1]</sup>. Les Swiss Aircraft Noise Calculation Tools (SANC-Tools, cf. 3.2) ont été élaborés sur la base de cette analyse et ont servi ensuite à recommander des logiciels appropriés pour déterminer les immissions dues au trafic aérien (cf. 3.1).

Analyse de la situation

<sup>1</sup> Ursula Brunner, dans: Kommentar zum USG, note 16a ad. art. 38

<sup>2</sup> Ursula Brunner, dans: Kommentar zum USG, note 16a ad. art. 38

## 1.2 Champ d'application de l'aide à l'exécution

Les exigences concrétisées dans la présente aide à l'exécution se rapportent à la détermination des immissions de bruit dues aux aéronefs en vol, aussi bien selon l'annexe 5 OPB (bruit des aérodromes civils) que selon l'annexe 8 OPB (bruit des aérodromes militaires). Elles s'appliquent également à la détermination des immissions de bruit résultant des mouvements d'hélicoptères sur les places d'armes militaires comprenant des installations fixes telles que places d'atterrissage avec revêtement, hangars ou installations de ravitaillement en carburant (annexe 9, ch. 1, al. 4, OPB).

En vertu de l'annexe 5, ch. 1, al. 5, OPB, le bruit causé par les ateliers de réparation, les entreprises d'entretien pour les aéronefs ou les groupes auxiliaires de puissance (auxiliary power units, APU) est assimilé au bruit causé par les installations industrielles et artisanales; il doit être déterminé et évalué selon l'annexe 6 OPB. Il en va de même du bruit du roulage des avions vers ou de la piste (Taxiing). Cette réglementation correspond aux exigences selon Doc 29 de la CEAC.<sup>[2]</sup>

La détermination du bruit aérien doit tenir compte, au décollage, des émissions de l'avion à partir du moment où l'autorisation de décoller est donnée sur la piste, c'est-à-dire à partir de la phase d'accélération et, à l'atterrissage, des émissions produites jusqu'à la fin de la phase de décélération sur la piste, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'avion ait atteint la vitesse constante à laquelle il roule sur les voies de circulation.

Pour les hélicoptères, les phases de mise en température des moteurs avant le décollage et de refroidissement après l'atterrissage sont considérées comme faisant partie du bruit de trafic aérien, même si l'appareil est posé au sol pendant ces opérations.

**Champ d'application de l'OPB**

**Délimitation par rapport au bruit de l'industrie et de l'artisanat; bruit du trafic au sol**

**Bruit aérien des avions**

**Bruit aérien des hélicoptères**

## 2 > Préparation des données

*Le présent chapitre concrétise les exigences posées en matière de préparation des données pour procéder à une détermination du bruit aérien conforme à l'OPB. Il précise ce qu'est l'exploitation déterminante et comment intégrer dans le calcul le nombre de mouvements par heure correspondant au trafic de pointe. D'autres éléments pertinents pour le calcul du bruit des aéronefs sont également expliqués, notamment la prise en compte de la composition des flottes d'aéronefs, des sous-routes des trajectoires de vol, la constitution des classes d'aéronefs ainsi que l'utilisation des données radar.*

### 2.1 Données relatives à l'exploitation

Les données d'exploitation – telles que les nombres de mouvements par type d'avion et route aérienne, leur répartition dans le temps, etc. – nécessaires afin de procéder à des calculs de vérification pour certaines années d'exploitation sont mises à disposition par les autorités d'exécution (OFAC, DDPS) ou sont déterminées d'entente avec ces autorités. Lorsqu'il s'agit d'établir des prévisions, il est recommandé de faire vérifier les données d'exploitation par les autorités d'exécution avant d'effectuer les calculs.

**Mouvements**

Les données sur la performance et le bruit utilisées dans les calculs du bruit aérien sont décrites pour chaque type d'aéronef dans la Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB), sous une forme indépendante du programme de calcul (cf. 3.2.1). On y trouve pour chaque aéronef des informations concernant leurs caractéristiques spécifiques: rayonnement et spectre sonore, vitesse de vol, l'angle d'ascension, niveaux sonores etc., et ceci pour différentes phases de vol. Il est ainsi possible d'inclure séparément chaque type d'avions dans le calcul et de tenir aussi effectivement compte des mesures de réduction du bruit prises sur l'appareil.

**Données sur les émissions**

Pour réduire la charge de travail lors du calcul du bruit aérien, il est permis, dans certaines conditions, de grouper différents aéronefs en classes. D'une manière générale, cette simplification n'est autorisée que pour les avions qui se différencient tout au plus par leurs valeurs d'émission ( $L_{AE}$ ,  $L_{Amax}$ ). Il reste ainsi possible de faire une addition pondérée en énergie correcte. Lorsque les profils d'ascension, les caractéristiques de rayonnement, les spectres, etc. sont différents, la prudence est de mise pour les groupements. Cependant, moins un certain type d'avion contribue à l'exposition sonore globale, plus il est permis d'être souple lors du regroupement en classes. Il convient de tenir compte de ces aspects et de les mentionner dans la documentation relative à la préparation des données. La composition de la flotte doit en principe être déterminée séparément pour chaque piste et chaque route aérienne ainsi que pour les différentes périodes d'évaluation du bruit. La répartition en classes doit être approuvée par l'autorité d'exécution avant le calcul.

**Composition de la flotte:  
classes d'avions**

Les routes aériennes sont définies d'entente avec l'autorité d'exécution de manière que 90 % au moins des mouvements effectifs puissent leur être clairement attribués. Ces couloirs aériens doivent être pris en compte dans les calculs du bruit sur la longueur qui apporte une contribution pertinente pour l'évaluation du bruit selon l'OPB. D'après les connaissances actuelles, cela signifie qu'il suffit de tenir compte de ces routes jusqu'à quelques kilomètres au-delà des courbes représentant les valeurs de planification du degré de sensibilité I (DS I). Lors d'un premier calcul, la longueur de couloir pertinente doit être estimée sur la base des courbes des valeurs de planification d'aérodromes similaires.

Routes aériennes

Dans le calcul du bruit des aéroports nationaux de Genève et de Zurich, il faut déterminer à l'aide des données radar les trajectoires effectivement parcourues par les avions. Pour les projets ou les prévisions de ces aéroports, les trajectoires de vol et leur dispersion seront estimées sur la base des données radar existantes dans la mesure où cela est judicieux. Les publications <sup>[3]</sup> et <sup>[4]</sup> fournissent les détails sur la manière de prendre en compte ces données selon l'état actuel de la technique. Le recours à des données radar n'est en principe pas prévu pour les autres aérodromes.

Utilisation des données radar pour les aéroports nationaux

Lorsqu'aucune donnée radar n'est utilisée pour les aérodromes comptant plus de 2000 mouvements de jets ou plus de 20000 mouvements par an, il convient de tenir compte aussi des routes latérales ou sous-routes afin que soit reflétée la dispersion réelle des trajectoires autour de la route aérienne. Normalement, sept trajectoires au plus suffisent: en général, la route officielle au milieu du couloir et trois trajectoires latérales de part et d'autre. Cette règle répond aux exigences selon Doc n° 29 de la CEAC<sup>[2]</sup>. En posant l'hypothèse d'une distribution normale des mouvements, avec un écart standard S pour l'espacement horizontal, on aboutit au tableau ci-dessous pour la répartition des mouvements et la distance des trajectoires latérales à la route centrale (= route aérienne):

Utilisation de routes aériennes latérales ou sous-routes

**Tab. 1 > Répartition des mouvements et de la distance des trajectoires latérales par rapport à la route centrale**

N° de la trajectoire	1	2	3	4	5	6	7
Distance	0,0 S	0,71 S	-0,71 S	1,43 S	-1,43 S	2,14 S	-2,14 S
Part de mouvements	28,2 %	22,2 %	22,2 %	10,6 %	10,6 %	3,1 %	3,1 %

Si l'écart standard S de la distance horizontale des mouvements à la route centrale n'est pas connu, il peut être estimé comme expliqué ci-après. Lors du décollage, S équivaut à zéro au point de décollage et augmente progressivement avec la distance de vol: S vaut 5 % de la distance au point de décollage, mais 500 m au maximum. Pour l'atterrissage, la dispersion est inverse, à savoir qu'elle est de 3 % de la distance au point d'atterrissage, pour baisser à zéro lorsque ce point est atteint. Les données relatives à la dispersion des voltes découlent des données sur le décollage et l'atterrissage. L'écart standard S ne devrait pas être supérieur à un cinquième du rayon de courbure de la route centrale (trajectoire médiane) suite à la possibilité de rayons de courbure petits. Les dispersions verticales ne sont pas prises en compte par l'ajout de sous-routes. Si

Estimation de l'écart standard S pour la dispersion horizontale des trajectoires

elles sont trop importantes, il convient de définir des profils de vol supplémentaires et d'effectuer les calculs séparément.

Si des avions aussi bien légers que lourds empruntent une route qui forme un virage peu après le décollage, il convient d'examiner s'il ne faudrait pas définir deux routes distinctes, vu que les appareils légers peuvent effectuer des courbes de plus petit rayon.

Routes de vol ayant de petits rayons

Les profils d'ascension des routes de vol ne sont pas définis de manière rigide, mais dépendent du type d'avion. Les informations correspondantes (vitesses d'ascension, de descente et de vol) se trouvent dans la base de données SANC-DB ou dans les données radar existantes. Si des classes d'avions sont définies, il convient d'en tenir compte et de le déclarer clairement. Des écarts par rapport aux profils de SANC-DB qui sont spécifiques d'un aéroport doivent être motivés.

Profils d'ascension selon SANC-DB

## 2.2 Exploitation de vol déterminante, nombre de mouvements

Chaque atterrissage et décollage d'un aéronef motorisé est considéré comme un mouvement. Les procédures de remise de gaz comptent pour deux mouvements. Si la piste est survolée à basse altitude (ordre de grandeur: plus bas qu'une demi longueur de piste), la manœuvre compte également pour deux mouvements.

Mouvements

La détermination de l'exposition au bruit d'un aéroport est basée sur le trafic aérien qui s'y déroule en l'espace d'une année civile. Il faut encore préciser que pour les aéroports où circulent de petits aéronefs et des avions militaires, le trafic annuel déterminant est extrapolé sur la base d'une journée moyenne avec trafic accru (trafic de pointe). Cela permet de tenir compte du fait que ces installations ne sont pas utilisées régulièrement tout au long de l'année et que les personnes sont incommodées surtout les jours où l'activité de vol est intense.

Exploitation annuelle moyenne

Le nombre de mouvements par heure  $n$  des petits aéronefs selon le ch. 3 de l'annexe 5 OPB décrit l'exploitation horaire moyenne lors des jours avec trafic de pointe. Ces jours de trafic de pointe sont déterminés à partir des deux jours ouvrables où le trafic est le plus intense durant les six mois où le trafic mensuel est le plus intense. Ce nombre de mouvements horaires  $n$  permet de déterminer un facteur  $F_k$  ( $\geq 1$ ) lequel reflète le rapport entre les activités de vol d'un jour de pointe moyen et l'exploitation journalière moyenne annuelle.  $F_k$  est le quotient du nombre de mouvements horaires (jour avec trafic de pointe moyen)  $n$  par la moyenne annuelle du nombre de mouvements horaires. Ce facteur se calcule comme suit:

Petits aéronefs: influence du trafic de pointe moyen sur le  $L_r$

$$F_k = n/N * 365 * 12$$

où  $N$  est le nombre de mouvements par an.

Le  $Leq_k$  peut ensuite être déterminé comme somme du  $Leq(12h)_{an}$ , déterminé à partir de la moyenne sur 12 heures du trafic journalier moyen annuel effectif, et du décuple du logarithme décimal du facteur  $F_k$ :

$$Leq_k = Leq(12h)_{an} + 10 * \log(F_k)$$

La méthode d'évaluation et les valeurs limites d'exposition prévues dans l'OPB pour les petits aéronefs sont conçues en premier lieu pour le trafic aérien privé. Les vols non commerciaux étant interdits en Suisse après 22 heures, l'OPB ne prévoit pas de valeurs limites pour ces appareils durant la nuit. Si de petits aéronefs circulent néanmoins après 22 heures, les calculs obéiront aux principes d'évaluation énoncés dans l'annexe 5, ch. 3, OPB, c'est-à-dire en ajoutant ces mouvements aux vols diurnes pour le calcul de la moyenne sur 12 heures, et en les évaluant selon les valeurs limites d'exposition pour les petits aéronefs.

En plus des valeurs limites d'exposition en  $L_{rk}$ , les valeurs limites d'exposition  $L_{rt}$  et  $L_{rn}$  s'appliquent au bruit de l'ensemble du trafic sur les aéroports civils où circulent de grands avions. De plus, des vols commerciaux de petits aéronefs peuvent avoir lieu jusqu'à 23 heures (art. 39b OSIA). Par conséquent, sur les aéroports où circulent de grands aéronefs, tous les mouvements de petits ou grands aéronefs doivent être pris en compte pour évaluer en termes de gêne l'exposition au bruit aérien de la première heure de nuit.

Dans le cas des aéroports militaires également, l'évaluation du bruit ne se fait pas pour une exploitation annuelle moyenne, mais pour un trafic légèrement supérieur. Comme pour les petits aéronefs, on calcule ici le facteur  $F_j$  (jets militaires) ou  $F_p$  (avions à hélices et hélicoptères militaires), aussi sur la base du nombre de mouvements horaires, en l'occurrence  $n_j$  ou  $n_p$ . À la différence toutefois des petits aéronefs, ce n'est pas le trafic de pointe moyen d'une journée qui est calculé, mais le trafic moyen des six mois présentant le trafic le plus intense, selon l'annexe 8, ch. 31, al. 6, et ch. 32, OPB. La détermination se fait séparément pour les avions à réaction et les avions à hélices:

$$\begin{aligned} \text{Facteur } F_j &= n_j/N_j * 260 * 12 \\ \text{Facteur } F_p &= n_p/N_p * 260 * 12 \end{aligned}$$

où  $N_j$  et  $N_p$  sont les nombres de mouvements annuels respectivement d'avions à réaction et d'avions à hélices. Le chiffre 260 correspond au nombre de jours où sont effectués des vols militaires (52 semaines, 5 jours par semaines) et 12 le nombre d'heures par jour d'exploitation.

Par analogie au calcul du bruit causé par les aéroports où circulent de petits aéronefs, on détermine aussi pour les avions militaires le  $Leq_j$  et le  $Leq_p$ , comme somme du  $Leq(12h)_{an}$ , déterminé à partir de la moyenne sur 12 heures du trafic journalier moyen annuel effectif, et du décuple du logarithme des facteurs respectifs:

Calcul du  $Leq$  pour les petits aéronefs

Petits aéronefs après 22 heures

Petits aéronefs après 22 heures sur les aéroports où circulent de grands avions

Avions militaires: influence du trafic de pointe moyen sur le  $L_r$

Calcul du  $Leq$  pour les avions militaires

$$Leq_j = Leq_j(12h)_{an} + 10 * \log(F_j)$$

$$Leq_p = Leq_p(12h)_{an} + 10 * \log(F_p)$$

Tout comme dans le cas des aérodromes où circulent de petits aéronefs, on ne fait pas de calcul séparé pour le bruit nocturne des aérodromes militaires. Tous les mouvements d'avions militaires, peu importe l'heure à laquelle ils ont lieu, sont pris en compte dans le calcul du niveau moyen sur 12 heures servant à déterminer le Lr.

Avions militaires après 22 heures

Si sur un aérodrome le nombre de mouvements de grands avions entre 6 heures et 22 heures n'est que de l'ordre de quelques centaines et qu'aucune valeur limite d'exposition au bruit aérien n'est dépassée, ces mouvements peuvent être ajoutés à ceux des petits aéronefs. En prenant les données d'émission correctes pour les grands avions, on aboutit alors en général à une légère surestimation du bruit. En contrepartie, on peut renoncer à la détermination du Lrt, qui est l'addition en énergie des niveaux d'évaluation partiels des petits et des grands aéronefs. Le calcul du bruit s'en trouve ainsi considérablement simplifié.

Simplification dans le cas d'un petit nombre de mouvements de grands avions

De même, si la part de mouvements d'avions militaires sur un aérodrome civil ne dépasse pas 10 % (avec des niveaux d'émission plus faibles ou à peine supérieurs à ceux des avions civils) et qu'aucune valeur limite d'exposition au bruit aérien n'est dépassée, ces mouvements peuvent être ajoutés à ceux des aéronefs civils. En prenant les données d'émission correctes pour les avions militaires, on aboutit en général à une légère surestimation du bruit. En contrepartie, on peut renoncer à la détermination du Lr selon l'annexe 8 OPB, qui est l'addition en énergie des niveaux d'évaluation partiels des aéronefs civils et des avions militaires. Le calcul du bruit s'en trouve ainsi considérablement simplifié.

Simplification dans le cas d'un petit nombre de mouvements d'avions militaires

## 2.3

### Topographie

Il faut tenir compte de la topographie à l'aide du modèle de terrain MNT25 de Swiss-topo avec un maillage de 25 m ou plus fin. Le MNT 25 est dérivé de la carte nationale au 1:25 000 et repose pour l'essentiel sur son degré de précision. Des comparaisons des hauteurs du modèle avec des points de contrôle déterminés à l'aide d'une mensuration photogrammétrique montrent que l'écart moyen est de 1,5 m sur le Plateau et dans le Jura, de 2 m dans les Préalpes et de 3 à 8 m dans les Alpes.

L'utilisation d'autres modèles ou de modèles propres afin de tenir compte des spécificités locales requiert l'assentiment des autorités d'exécution (DDPS/OFAC) et de l'OFEV.

## 3 > Calculs

*Dans le droit fil de la liberté accordée jusqu'ici dans le choix de la méthode, une nouvelle stratégie est mise en œuvre par le biais de la collection d'outils Swiss Aircraft Noise Calculation (SANC-Tools), laquelle permet d'assurer et de vérifier la conformité à l'OPB des différents programmes de calcul, ainsi qu'à l'OFEV de les recommander selon l'art. 38, al. 2, OPB. Des exigences claires sont ainsi formulées pour les calculs, afin notamment d'assurer la prise en compte des spécificités du bruit du trafic aérien ainsi que de garantir la sécurité juridique.*

### 3.1 Concept pour la recommandation de programmes par l'OFEV

La législation suisse permet un libre choix de la méthode, contrairement à celle d'autres pays. En d'autres termes, toute méthode pour calculer le bruit du trafic aérien est admise en Suisse, à condition qu'elle satisfasse aux exigences de l'OPB et corresponde à l'état de la technique et des connaissances en matière de calcul du bruit du trafic aérien.

Liberté du choix de la méthode -  
équivalence

La collection d'outils Swiss Aircraft Noise Calculation (SANC-Tools) garantit le respect des principales exigences formelles. Elle assure en particulier l'équivalence des résultats des calculs, même si les modèles utilisés et les approches programmatiques sont très différents. Les SANC-Tools se composent de trois outils: une base de données sur les émissions des aéronefs (SANC-DB, data base), un environnement de test comprenant des scénarios pour comparer différents programmes (SANC-TE, test environnement) et les calculs de référence avec le cadre de référence correspondant pour les scénarios dans l'environnement-test (SANC-REF, reference frame). Ces outils sont décrits en détail ci-après (cf. 3.2).

Swiss Aircraft Noise Calculation  
Tools (SANC-Tools)

Les procédés ou programmes de calcul appliqués en Suisse pour déterminer le bruit des aéronefs doivent être vérifiés par l'OFEV. Celui-ci peut d'une manière générale recommander pour le calcul du bruit aérien selon l'OPB, les logiciels qui satisfont aux exigences de l'OPB, correspondent à l'état de la technique, peuvent calibrer leur modèle à l'aide de la base de données SANC-DB et qui peuvent faire les calculs dans les intervalles de confiance de SANC-REF (cf. tab. 3) pour les scénarios-test d'exposition au bruit prescrits dans SANC-TE.

Conditions pour la  
recommandation

Les programmes recommandés sont publiés sur le site internet de l'OFEV:

[www.bafu.admin.ch/evaluation-bruit-aerien](http://www.bafu.admin.ch/evaluation-bruit-aerien).

Si les conditions ne sont pas remplies, l'OFEV peut aussi émettre une recommandation restreinte.

Si un programme ne bénéficie que de la recommandation pour le calcul du bruit de petits aéronefs, celle-ci peut être étendue temporairement ou au cas par cas pour quelques avions dont la masse au décollage est supérieure à 8618 kg, à condition que les preuves suivantes soient apportées pour ces avions dans le cadre du calcul du bruit et que l'OFEV les ait reconnues comme satisfaisantes.

- > Les valeurs approximatives selon SANC-DB des types d'avions considérés pour un survol dans des conditions standard à 305 m des paramètres  $L_{AE}$ ,  $L_{Amax}$ ,  $\eta$  (paramètre d'asymétrie) et  $\theta$  (angle d'émission déterminant pour  $L_{Amax}$ ) et pour une puissance de décollage standard et pour l'atterrissage sont correctement reproduites.
- > Les valeurs  $L_{AE}$  d'un survol de longueur «illimitée» effectué sous conditions standard selon SANC-TE à une distance de 800 m et 3200 m pour Takeoff Standard Power et Final Approach peuvent être correctement reproduites.

S'il y a des doutes fondés au sujet de l'adéquation de la mise en œuvre dans un logiciel ou de l'application correcte par les utilisateurs d'un programme déjà recommandé, l'autorité d'exécution peut exiger à des fins de vérification de la part des programmeurs ou des utilisateurs, outre la répétition des scénarios ordinaires SANC-TE, l'exécution de scénarios de vérification additionnels, par exemple un calcul pour un aéroport réel.

Recommandation restreinte  
Extension de la recommandation

Scénarios de vérification  
additionnels

## 3.2 Aperçu des outils SANC-Tools

### 3.2.1 SANC-DB

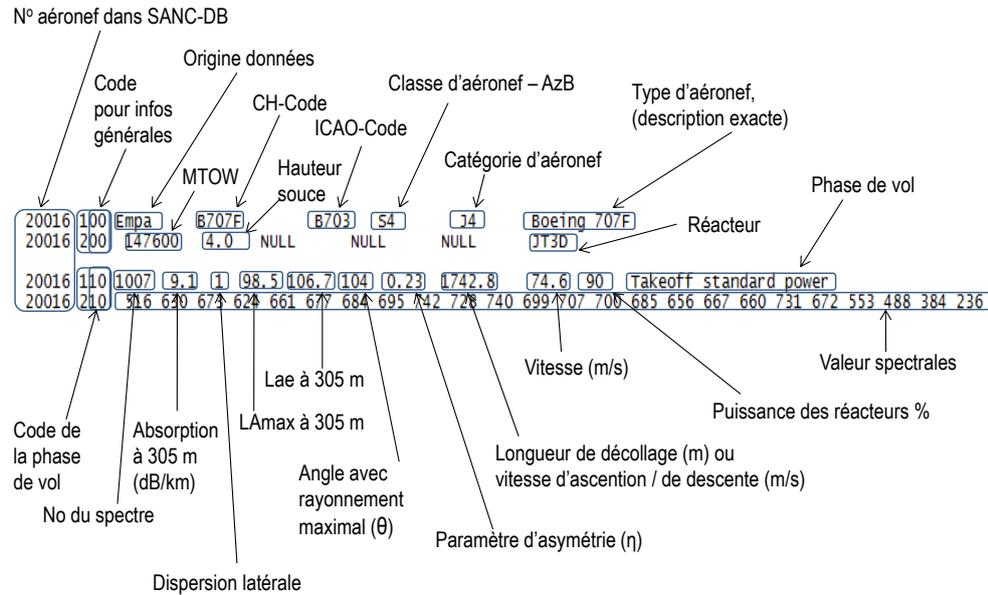
La collection d'outils contient d'abord la base de données acoustiques, Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB), laquelle est la référence contraignante des sources utilisées pour le calcul du bruit du trafic aérien selon l'OPB. La description des sources est simple et sa forme générale, de manière à permettre la calibration des différentes modélisations des sources acoustiques utilisés par les programmes de calcul du bruit aérien. Les conditions sont ainsi mises en place afin que les résultats des calculs soient uniformes. SANC-DB repose sur toutes les données acoustiques des sources utilisées jusqu'ici en Suisse par l'EMPA et l'OFAC; elle contient actuellement quelque 1800 jeux de données. En leur qualité d'autorités d'exécution, l'OFAC et le DDPS sont chargés de la mise à jour de la base de données. SANC-DB peut être obtenue gratuitement auprès de l'OFAC (<https://www.bazl.admin.ch/bazl/fr/home/das-bazl/kontakt.html>).

Swiss Aircraft Noise Calculation  
Database (SANC-DB)

La base de données contient les valeurs de la masse maximale au décollage (MTOM), la hauteur des sources (au-dessus de la piste) ainsi que les vitesses de décollage, de descente et d'ascension des aéronefs (fig. 1). Elle contient, pour différentes phases de vol (take off, initial climb, continuous climb, cruise, final approach et landing), les valeurs de l'atténuation due à l'air (à une distance de 305 m), de la dispersion latérale (classe selon Doc 29<sup>[2]</sup>), de  $L_{Amax}$ , de  $L_{AE}$ , de l'angle d'émission  $\theta$ , du paramètre d'asymétrie  $\eta$  (énergie acoustique avant/après  $L_{Amax}$ ), de la vitesse de vol et du spectre en bandes de tiers d'octave des émissions.

Valeurs sauvegardées dans  
SANC-DB

**Fig. 1** > Exemple d'un jeu de données de SANC-DB pour les émissions d'un aéronef durant la phase de vol «takeoff standard power»



$L_{Amax}$  désigne la pression acoustique maximale pondérée A,  $L_{AE}$  la pression acoustique pondérée A d'un événement de survol en ligne droite individuel effectué sous conditions de référence précises.<sup>[5]</sup>

L'asymétrie de la source est décrite à l'aide des deux paramètres  $\theta$  et  $\eta$  (fig. 2). L'angle d'émission  $\theta$  est l'angle entre la direction de vol et la propagation du son, dès que la  $L_{Amax}$  est atteint lors du survol. Le paramètre d'asymétrie  $\eta$  caractérise la différence dans la réflexion du son avant et après l'angle d'émission et se calcule comme suit:

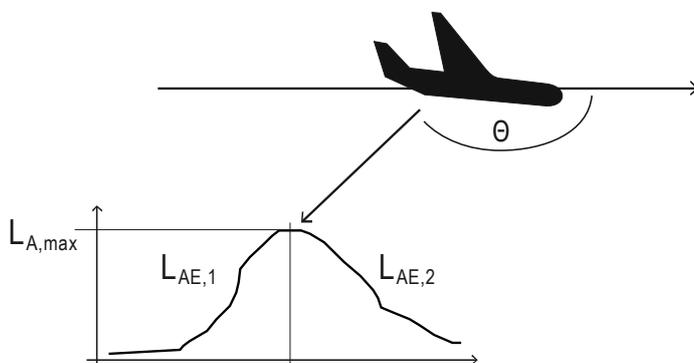
$$\eta = \frac{10^{L_{AE,1}/10} - 10^{L_{AE,2}/10}}{10^{L_{AE,1}/10} + 10^{L_{AE,2}/10}}$$

où:

$L_{AE,1}$  = niveau partiel de l'événement avant que  $L_{Amax}$  ne soit atteinte;

$L_{AE,2}$  = niveau partiel de l'événement après que  $L_{Amax}$  a été atteinte; illustré dans la figure 2.

Fig. 2 > Illustration du paramètre d'asymétrie de la description de la source de bruit dans SANC-DB



Pour simplifier, la source est considérée comme présentant une symétrie rotationnelle par rapport à la trajectoire de vol. S'agissant de la dispersion latérale, il est possible d'enregistrer la classe dans la base de données selon Doc 29<sup>[2]</sup> ou Doc 9911<sup>[6]</sup>, mais cette valeur n'est pas (encore) utilisée dans les SANC-Tools pour le calcul du bruit aérien.

Pour davantage de détails, se référer à la documentation technique<sup>[5]</sup>.

### 3.2.2 SANC-TE

L'environnement-test Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment (SANC-TE) sert à vérifier les différents programmes ainsi que de base à l'OFEV pour la recommandation de ces programmes selon l'art. 38, al. 2, OPB. Le SANC-TE, y compris protocoles de test et documentation<sup>[7]</sup>, sont disponibles sur demande auprès de l'OFEV.<sup>3</sup>

Swiss Aircraft Noise Calculation  
Test Environment SANC-TE

Les données sont fournies au format ASCII afin qu'elles puissent être utilisées dans différents programmes de calcul; l'utilisateur doit donc les convertir vers le format utilisé par son programme. SANC-TE comprend deux aérodromes factices comme environnements de test: 1) un grand aéroport AIRPORT, pour le trafic de gros avions tels que Boeing, Airbus, etc., mais aussi pour les avions de combat militaires et 2) un aérodrome régional AIRFIELD, pour les petits aéronefs. Pour chacun de ces aérodromes, un modèle de terrain schématique a été défini, tout comme différentes routes d'approche et de décollage. Sous forme d'un extrait des jeux de données SANC-DB, les propriétés acoustiques d'un certain nombre de types d'aéronefs sont définis et servent de base à la conversion ou au calibrage des données sources utilisées dans les modèles de calcul à tester. En outre, plusieurs scénarios de situations d'exposition réalistes ont été définis, ce qui permet également de vérifier le calcul du Leq. À côté des calculs relatifs à des événements individuels (Single Events Flights), les scénarios servent avant tout à vérifier qu'un programme de calcul répond aux exigences de l'OPB et peut donc être appliqué en Suisse pour déterminer le bruit aérien. Enfin, les développeurs de programmes doivent faire une déclaration spontanée conformément au tableau 2 pour que l'OFEV puisse recommander leur produit selon l'art. 38, al. 2, OPB.

Outil de test et de contrôle

<sup>3</sup> [noise@bafu.admin.ch](mailto:noise@bafu.admin.ch) ou [www.bafu.admin.ch/flugaerm-ermittlung](http://www.bafu.admin.ch/flugaerm-ermittlung)

**Tab. 2 > Informations des développeurs de programmes concernant l'état de la technique et les exigences de l'OPB (déclaration spontanée) pour une recommandation par l'OFEV**

Le nombre de mouvements peut être pris en compte selon les annexes 5 et 8 OPB (chapitre 2).
Le maillage d'immission est de 50 x 50 m pour les aérodromes régionaux et les champs d'aviation et de 150 x 150 m pour les aéroports nationaux.
Les immissions sont calculées à une hauteur de 4 m au-dessus du terrain.
La hauteur du terrain (effet de la coordonnée z) peut être prise en compte.
La hauteur du point de référence de l'aérodrome peut être prise en compte.
La déclivité de la piste peut être reproduite.
La modélisation des sources appliquée peut être calibrée à l'aide de la base de données SANC-DB.
La phase de décollage est modélisée comme un mouvement d'accélération continue.
L'effet écran du terrain peut être pris en compte.
La déclivité (effet de sol) est prise en compte (voir SANC-TE, Talflug)
L'atténuation due à l'air est appliquée selon ISO 9613-1.

Pour tester SANC-TE V1.0, des calculs ont été effectués avec quatre logiciels de calcul de bruit du trafic aérien et pour différentes variantes, et les résultats ont été évalués notamment dans l'optique du cadre de référence qui devait être défini (avec FLULA2, INM & variantes, IMMPAC & variantes, et Soundplan). Ce test avec SANC-TE V1.0 a produit essentiellement les conclusions concernant les principaux paramètres d'influence et a ainsi permis de fixer le cadre de référence selon le tableau 3.

Tests avec SANC-TE

### 3.2.3 SANC-REF

La référence Swiss Aircraft Noise Calculation Reference (SANC-REF) comprend aussi bien des modélisations référencées pour le calcul d'un intervalle de confiance que le cadre de référence à proprement parler.

Swiss Aircraft Noise Calculation Reference (SANC-REF)

Sur la base des principes de référence définis dans SANC-REF selon le tableau 2, respectivement le chapitre 3.3 et l'annexe, un intervalle de confiance a été déterminé pour chaque scénario-test dans SANC-TE, nommé Guide to the expression of uncertainty in measurement; il s'agit du cadre de référence pour contrôler l'équivalence des calculs. Même si ces calculs de base ne constituent pas la seule référence de l'OPB à reproduire, ces modélisations référencées fournissent des informations claires sur la manière dont le bruit peut être calculé conformément aux exigences de l'OPB. Si un logiciel concret obéit aux mêmes principes de modélisation, les résultats qu'il produira se situeront en général dans l'intervalle de confiance figurant au tableau 3. Ces modélisations sont décrites de manière plus détaillée dans la documentation technique relative à SANC-REF<sup>[8]</sup>. Les principes correspondent aux modèles décrits dans les documents ISO 9613<sup>[9],[10]</sup> et les documentations sur FLULA2<sup>[3]</sup> et IMMPAC<sup>[11]</sup>.

– Calcul de base de référence  
– Modélisations référencées

**Tab. 3 > Critères de conformité pour la recommandation de programmes de calcul du bruit du trafic aérien sur la base de l'environnement de test SANC-TE et du cadre de référence SANC-REF**

Tous les «Footprints» (SEF) définis dans SANC-TE sont calculés individuellement.

Tous les «scénarios»-test prévus dans SANC-TE V sont calculés.

Les résultats peuvent être exportés dans le format NMGF spécifié.

L'effet écran du terrain est visible dans les Single Event Flights.

Le régime moteur (niveau de bruit supplémentaire) est mis en œuvre selon les exigences SANC-TE et il est visible à partir des Single Grids.

La dispersion des trajectoires est prise en compte.

#### Champ d'aviation civil (Airfield)

- Extension des courbes de bruit calculées dans l'intervalle de confiance  $\pm 0,5$  dB
- Les voltes peuvent être reproduites et calculées.

#### Aérodrome civil (Airport)

- Extension des courbes de bruit calculées dans l'intervalle de confiance  $\pm 0,5$  dB

#### Aérodrome civil (Airport): trafic de nuit

- Extension des courbes de bruit calculées dans l'intervalle de confiance  $\pm 1,5$  dB

#### Aérodromes militaires

- Extension des courbes de bruit calculées dans l'intervalle de confiance  $\pm 0,5$  dB

#### Héliports

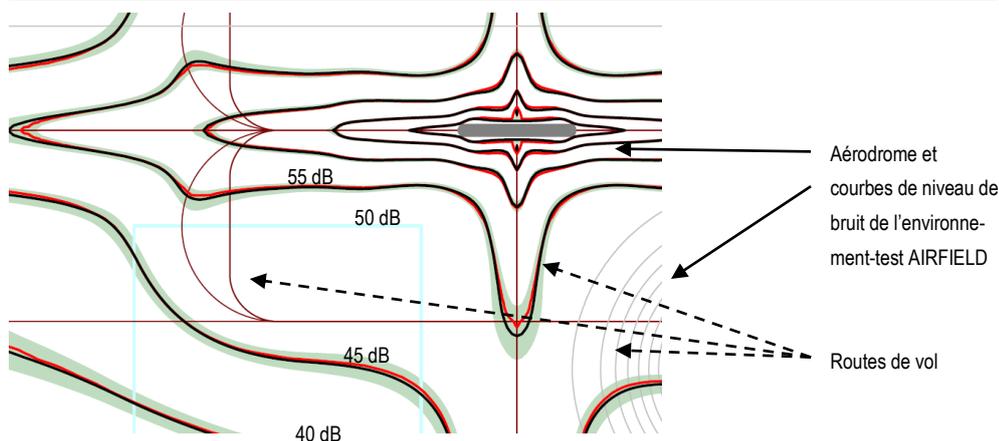
- Extension des courbes  $\bar{L}_{max}$  calculés dans l'intervalle de confiance  $\pm 0,5$  dB

Les cadres de référence sont définis comme écarts-dB par rapport aux courbes de base calculées pour chaque scénario-test. L'écart-dB ou l'intervalle de confiance devrait autant que possible être plus petit que l'incertitude de mesure de 2 à 3 dB<sup>[12]</sup>. Vu les bons résultats des calculs SANC-TE V1.0 effectués pour les programmes déjà recommandés, il a été possible de fixer l'intervalle de confiance pour tous les scénarios-test au sein de l'incertitude de mesure.

Dimension du cadre de référence

**Fig. 3 > Extrait d'un calcul du bruit dans l'environnement-test SANC-TE AIRFIELD, comparé avec le cadre de référence de  $\pm 0,5$  dB**

Les lignes noires sont les courbes de bruit du calcul de référence, les surfaces vertes sont le cadre de référence de  $\pm 0,5$  dB, les lignes rouges sont les lignes obtenues avec un programme testé. Les lignes rouges se situent partout à l'intérieur de la surface verte: le programme satisfait par conséquent au critère de conformité.



### 3.3 Exigences relatives au calcul et approches de référence

L'annexe 2 OPB précise que tout calcul des immissions de bruit doit prendre en compte les facteurs suivants:

- a) Les émissions des sources,
- b) l'atténuation due à l'air et à la distance,
- c) les effets de sol,
- d) les effets de constructions et d'obstacles naturels sur la propagation du son (atténuation d'obstacles et réflexions).

Ces exigences s'appliquent à tous les types de bruit. Pour la mise en œuvre concrète dans le cas du bruit aérien, il faut en outre prendre en considération les spécificités décrites ci-dessous. Les principales équations mathématiques (sans atténuation due à l'air selon ISO 9613) – telles qu'elles ont été également utilisées dans les calculs de référence – sont mentionnées dans l'annexe.

Si les exigences décrites dans le présent chapitre sont respectées, les courbes de bruit calculées se situent à l'intérieur du cadre de référence défini. Les programmes de calcul y répondant satisfont aux conditions formulées pour une recommandation. Ces dernières ne sont toutefois pas obligatoires, notamment lorsque les calculs, effectués selon d'autres approches de modélisation, mènent au même résultat et peuvent ainsi être considérés comme équivalents (c'est-à-dire lorsque les courbes de bruit calculées se situent à l'intérieur du cadre de référence). Ainsi, il n'y a par exemple pas de prescriptions concernant la résolution requise pour la représentation des émissions, c'est-à-dire concernant densité des points sources à placer sur une trajectoire ou la longueur des sécantes choisies pour faire l'approximation de la courbe de la trajectoire. La seule condition est que les courbes de bruit résultantes se trouvent à l'intérieur du cadre de référence. Lorsqu'un logiciel est recommandé, il faudra en principe utiliser pour les futurs calculs du bruit les paramètres ayant permis de se conformer au cadre de référence.

#### 3.3.1 Niveau de la source / émissions

Le bruit des avions est diffusé de manière non homogène dans différentes directions. Il n'y a cependant pas que les niveaux sonores qui varient selon la direction, mais aussi les spectres (et donc l'atténuation due à l'air). De plus, le bruit dépend de la phase de vol (ascension, vol en croisière, volets sortis ou rentrés, etc.). Cette complexité appelle certaines simplifications dans les programmes, qui ont jusqu'à présent été faites de différentes manières. La référence de source acoustique pour les calculs du bruit selon l'OPB est la base de données Swiss Aircraft Noise Calculation Database (SANC-DB)<sup>[5]</sup> décrite ci-dessus (cf. 3.2.1).

Si l'on veut utiliser des données sources s'écartant de celles de SANC-DB, par exemple tirées de mesurages propres ou de bases de données internationales, il faut en convenir au préalable avec l'autorité d'exécution compétente (DDPS/OFAC) et consulter l'OFEV. Dans la mesure du possible, on préférera toutefois l'extension ou l'adaptation de la base de données SANC-DB par les autorités compétentes à

Facteurs à prendre en compte

Concrétisation pour le bruit aérien

Rapport avec la recommandation de programmes

Complexité des sources; référence de source SANC-DB

Autres données sources

l'utilisation d'autres sources de données. Si, pour une raison quelconque, des données s'écartant de celles de SANC-DB devaient néanmoins être utilisées, elles devraient être documentées en détail et de façon compréhensible dans la documentation du procédé/programme.

La modélisation de l'accélération sur la piste de décollage influe sur les résultats des calculs relatifs aux environs immédiats de la piste. Dans le calcul de référence, la situation réelle de l'avion en phase de décollage a été modélisée selon l'état de la technique, comme un mouvement avec une accélération continue.

Accélération continue

Il convient de tenir dûment compte des émissions accrues pour les avions qui freinent avec une inversion de poussée après leur atterrissage. Doc 29<sup>[2]</sup> recommande à ce sujet d'appliquer +5 dB aux émissions sonores pour 20 % du régime moteur lorsqu'aucune autre donnée n'est disponible.

Inversion de poussée

S'il n'existe pas de données précises pour modéliser le bruit du roulage au sol (Taxiing), lequel est assimilé au bruit de l'industrie et de l'artisanat et doit donc être déterminé selon l'annexe 6 OPB, l'on peut recourir aux valeurs SANC-DB pour la phase de vol «final approach» diminuées de 10 dB(A). De même, il est permis de poser une vitesse de roulage de 10 m/s pour les petits aéronefs et de 15 m/s pour les grands avions en l'absence de données suffisantes. Cette réglementation s'inspire des prescriptions de l'AzB<sup>[13]</sup>.

Trafic au sol

### 3.3.2 Propagation du bruit

L'atténuation due à la distance (dilution géométrique) est déterminée physiquement par la conservation de l'énergie; elle obéit à des formules généralement valables, en fonction de la description des émissions utilisées (p. ex. niveau de puissance ou de pression, source linéaire ou ponctuelle). Pour déterminer la distance, il faut tenir compte de la hauteur au-dessus du terrain avec un modèle du terrain approprié. Les tests réalisés avec SANC-TE ont montré que les immissions calculées se situent en dehors du cadre de référence lorsque ces exigences ne sont pas considérées correctement.

Dilution géométrique  
Atténuation due à la distance, en s'appuyant sur un modèle du terrain

Pour se rapprocher des conditions réelles, le calcul doit tenir compte de manière adéquate de la dépendance spectrale de l'atténuation due à l'air. Cela ne signifie toutefois pas qu'il faille procéder à un calcul systématique de la propagation spectrale pour respecter le cadre de référence. Il est aussi possible, selon le spectre du type d'avion, d'utiliser d'autres approximations des atténuations dues à la propagation. La référence de base a été calculée en bandes de tiers d'octave, en considérant l'atténuation due à l'air selon ISO 9613, à une température de 15 °C et un degré d'humidité de 70 %.

Atténuation due à l'air  
ISO 9613

Remarque: le calcul selon SAE 1845<sup>[14]</sup> (base d'INM: <sup>[1]</sup> pp. 55 ss) se fait à peu près selon les exigences d'ISO 9613, à une température de 25 °C. Ceci résulte en des écarts de l'ordre de 1 dB à une distance de 2 km (pour plus de précisions, voir aussi p. 21 dans <sup>[1]</sup>).

Ecart par rapport à  
SAE 1845 ou INM

Pour se rapprocher des conditions réelles, le calcul doit tenir compte de manière adéquate de l'influence que la température et l'humidité de l'air ont sur l'atténuation due à l'air. Il est permis de partir de conditions moyennes ou d'attribuer à chaque aéroport des atténuations adaptées aux conditions locales. Cette dernière solution n'est toutefois pas exigée. Par conséquent, SANC-TE ne vérifie pas la prise en considération de différentes circonstances. En moyenne annuelle, les variations atmosphériques jouent un rôle négligeable, raison pour laquelle il n'est pas nécessaire d'en tenir compte. Cette influence n'est pas encore considérée comme faisant partie de l'état de la technique pour le calcul du bruit aérien.<sup>[15]</sup>

**Atténuation due à l'air:**  
température, humidité de l'air et  
anisotropie de l'atmosphère

L'influence du type de sol (p. ex. surfaces construites ou agricoles) sur l'effet de sol ne fait pas encore partie de l'état de la technique actuel. Les calculs partent donc du principe qu'il s'agit de champs («soft ground»). La déclivité du terrain en revanche est prise en compte: l'angle entre la propagation du son et la pente du terrain est déterminé et intégré dans le calcul, conformément au principe décrit dans <sup>[11],[3]</sup> et dans l'annexe. SANC-TE teste par conséquent l'effet de l'atténuation de propagation due au sol non seulement pour un terrain plat, mais également pour un terrain en pente.

**Effet de sol**

Il faut prendre en compte l'effet d'obstacle des éléments de terrain afin de calculer la propagation de manière réaliste. Cette condition est vérifiée dans SANC-TE. Le calcul de référence se fonde sur les principes décrits dans <sup>[11],[3]</sup> et dans l'annexe. Une éventuelle dérogation à cette exigence ne peut être admise que s'il est établi que l'effet sur les résultats des calculs est insignifiant.

**Effet d'obstacle du terrain**

Les réflexions et les atténuations dues aux bâtiments n'ont en général, pour le bruit des avions non terrestre, guère d'effet sur les résultats des calculs, vu que le bruit est émis par des sources se déplaçant dans les airs. A fortiori pour prendre en compte tous les objets des zones habitées survolées, le calcul déjà complexe pour le bruit aérien deviendrait trop compliqué pour être encore faisable. Il n'existe actuellement aucun programme de calcul du bruit aérien qui tienne compte des bâtiments. Cette exigence ne correspond donc pas (encore) à l'état de la technique. Pour les motifs exposés ici, le calcul de l'effet des bâtiments n'est pas exigible.

**Effet des bâtiments**  
non pris en compte

De grandes parois rocheuses peuvent entraîner des réflexions perceptibles dans des zones géographiquement limitées, se manifestant par des temps de réverbération nettement plus longs. En règle générale toutefois, le niveau sonore dû aux réflexions est nettement inférieur au niveau du son direct, en raison des distances de propagation plus longues et de la réflexion incomplète, et n'influe donc guère sur le niveau d'immissions. En conséquence et parce qu'aucun programme existant ne peut calculer de telles réflexions de bruit, on renonce dans l'état actuel de la technique à prendre ce phénomène en compte.

**Réflexions du bruit sur de**  
grandes parois rocheuses

### 3.3.3 Immissions

Les calculs modélisent de façon appropriée la propagation du son jusqu'aux points d'immissions. Les programmes calculent pour ces derniers le niveau moyen d'énergie équivalente  $L_{eq}$ , par l'addition en énergie de toutes les composantes du bruit aérien, en

**Niveaux d'immissions**

tenant compte des effets susmentionnés. Les logiciels en dérivent enfin le niveau d'évaluation  $L_r$  pertinent conformément à l'OPB.

L'art. 39 OPB définit d'une manière générale comme lieu de la détermination le milieu de la fenêtre ouverte des locaux à usage sensible au bruit, ou l'endroit où de tels locaux pourraient être construits. Ceci n'est pas praticable dans le cas du bruit aérien car, étant le fait de sources se déplaçant dans les airs, le bruit du trafic aérien génère des expositions affectant de grands espaces. La détermination se fait donc en utilisant des grilles (calculs pour les points de la grille, qui représentent de petites zones) et des courbes de bruit interpolés. L'OPB tient compte de cette réalité en permettant aussi la détermination des immissions de bruit des avions à proximité des bâtiments (art. 39, al. 1, OPB).

**Lieu de la détermination**

Les calculs du bruit aérien utilisant une grille sont donc conformes à l'OPB. Les éléments déterminants pour l'évaluation sont les niveaux sonores aux différents points de la grille et les courbes de bruit qui en sont dérivées. Cette affirmation vaut aussi bien pour des zones construites que pour des secteurs non construits selon l'art. 39 OPB. Il n'y a pas de conversion pour la fenêtre ouverte, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de supplément pour d'éventuelles réflexions spatiales près de la fenêtre ouverte.

**Calcul par grille, courbe de bruit**

Les immissions de bruit sont calculées à une hauteur de réception fixe de 4 m au-dessus du sol. Ceci est un écart des 1,5 m au-dessus du sol usuels, car le bruit vient principalement d'en haut. Il faut relever à ce propos que la hauteur du point de réception ne joue en général qu'un rôle limité dans le calcul des immissions. Qui plus est, cette hauteur 4 m est parfaitement gérable pour les mesurages de contrôle et réduit l'influence des microsituations. En outre, ces 4 m correspondent aux exigences fixées dans l'annexe 1 de la directive de l'UE sur le bruit dans l'environnement<sup>[16]</sup>.

**Hauteur de détermination**

Le maillage de la grille doit être adapté au but du calcul et à la situation particulière, notamment la taille de l'aérodrome et des courbes de bruit qu'il produit. Les résolutions standard sont de 50 m · 50 m pour les champs d'aviation et les aérodromes régionaux et de 150 m · 150 m pour les aéroports. Il n'est pas impératif d'utiliser un maillage régulier. Un maillage plus fin peut être utilisé localement; les résolutions indiquées sont les exigences minimales.

**Maillage de la grille**

La grille doit être métrique et sa position doit être compatible avec le système de coordonnées de la Suisse. Son point de départ doit se situer sur un multiple entier du point d'origine du système de coordonnées suisse.

**Position de la grille**

Les courbes de niveau de bruit (courbes de bruit) sont dessinées par interpolation entre les points de la grille. Pour le cadre de référence, ces lignes ont été tracées à l'aide de NMPlot. Il s'agit là d'un logiciel SIG en libre accès mis au point notamment spécialement pour la représentation du bruit aérien<sup>4</sup>.

**Constitution des courbes de niveau**

<sup>4</sup> [www.wasmerconsulting.com/nmplot.htm](http://www.wasmerconsulting.com/nmplot.htm)

### 3.4 Spécificités lors de la détermination du bruit des hélicoptères

Pour les aérodromes civils utilisés exclusivement par des hélicoptères, l'annexe 5 OPB précise que les valeurs limite d'exposition en  $\bar{L}_{max}$  sont applicables en sus. Le  $\bar{L}_{max}$  est la moyenne énergétique du niveau de bruit maximum d'un nombre représentatif de survols ou de passages. En cas de mesure, il faut régler les appareils sur SLOW.

Un mouvement est considéré comme survol ou passage lorsque sa pression acoustique maximale au lieu d'immission dépasse une valeur seuil donnée. Les mouvements qui n'atteignent pas ce niveau au lieu d'immission ne sont donc pas pris en compte dans la détermination de la valeur moyenne. Cette réglementation garantit que les mouvements éloignés ne contribuent pas à réduire le  $\bar{L}_{max}$  des survols et passages effectifs au lieu d'immission. Lors de cette procédure il est également possible d'utiliser, par route de vol calculée, un hélicoptère virtuel dont le profil d'émission correspond à la moyenne énergétique du mix des types d'hélicoptères qui empruntent cette route.

Étant donné la variation de la répartition effective des niveaux maximum, il n'est pas possible d'utiliser une fonction binaire pour déterminer si ce critère est rempli au lieu d'immission ou non. Pour refléter les fluctuations dans les mesurages du niveau maximum, Doc 29<sup>[2]</sup> propose en conséquence une distribution gaussienne pour le niveau maximum, avec un écart-type de 2 dB. La fonction binaire doit donc être remplacée par l'intégrale de la distribution gaussienne (fonction d'erreur), où le maximum de la distribution se situe à 65 dB et l'écart-type est de 2 dB. Les 65 dB sont le seuil du niveau maximum du mouvement, que celui-ci compte comme passage au lieu d'immission ou non.

Si la définition au moyen de valeurs seuils du survol et du passage donne des cartes de bruit avec des augmentations de bruit ou des îlots de bruit loin de l'héliport lesquels ne sont pas imputables à des modifications du terrain, il convient de relever le  $L_{max}$  de chaque route de vol séparément (sans valeur seuil) et de générer l'enveloppante des courbes de bruit des différentes routes.

Le calcul des courbes de valeurs limites  $\bar{L}_{max}$  doit inclure également les sous-routes ou trajectoires latérales de la route de vol, ainsi que précisé plus haut d'une manière générale (cf. 2.1) pour la prise en compte de la dispersion des trajectoires dans un couloir aérien. Il s'agit donc d'effectuer une moyenne énergétique des routes pondérées.

Au moment du décollage, l'hélicoptère produit du bruit pendant un certain temps déjà avant de s'envoler. C'est le cas aussi d'un hélicoptère au sol après l'atterrissage. Si ces durées ne ressortent pas des données d'exploitation, il faut tenir compte de trois minutes par départ et d'une minute par atterrissage, en utilisant la puissance de la source au décollage moins 6 dB.

Exigences relatives au calcul des immissions des hélicoptères

Définition du survol et du passage

Valeur seuil définie pour le niveau maximum des passages

$L_{max}$  séparément pour chaque trajectoire de vol

Prise en compte de la dispersion des trajectoires de vol pour  $\bar{L}_{max}$

Prise en compte du bruit avant le décollage et après l'atterrissage

## 4 > Mesurages

À grande échelle, les immissions de bruit aérien ne peuvent être déterminées que par calcul. Les mesurages sont par conséquent assez rares. Il arrive néanmoins que l'on mesure le bruit des avions pour la certification d'aéronefs, la surveillance du bruit aérien ou le contrôle de prévisions des immissions. Ce chapitre donne un aperçu des exigences existant à ce sujet.

### 4.1 Exigences générales

Il faut commencer par définir un concept de mesurage afin que les mesurages du bruit aérien puissent atteindre le but visé. Ce concept doit reposer sur des normes agréées telles que DIN 45684 Partie 2<sup>[17]</sup>, DN 45643<sup>[18]</sup> ou ISO 1996-2<sup>[19]</sup>. Il doit dans tous les cas être convenu avec l'autorité d'exécution compétente et avec l'OFEV, en sa qualité de service spécialisé. Cette exigence garantit que les connaissances soient intégrées dans les standards des procédés de calcul de manière uniforme pour toute la Suisse. L'une des exigences importantes dans les normes susmentionnées est l'obligation d'estimer l'incertitude ou l'erreur de mesurage.

Concept de mesure et indications concernant l'incertitude de mesure

Il faut utiliser des sonomètres de la classe 1. Les microphones doivent être placés 4 m, ou mieux 10 m, au-dessus du sol. L'emplacement choisi doit avoir une vue directe sur les avions; d'après DIN ISO 20906<sup>[20]</sup>, cela signifie idéalement un angle de champ avant et après le prochain point de la trajectoire de vol de 70° ou davantage. En outre, il est avantageux de mesurer le bruit au-dessus d'un sol doux (soft ground), comme un pâturage par exemple, afin que les effets du sol restent minime.

Exigences posées pour les sonomètres et leur emplacement

### 4.2 Exigences relatives à des situations spécifiques

Les mesurages automatiques servant à surveiller le bruit aérien aux alentours des aéroports doivent s'appuyer sur la norme DIN ISO 20906<sup>[20]</sup>.

Monitoring

Les mesurages du bruit pour la certification d'avions doivent être effectués selon les dispositions de l'annexe 16 de la Convention internationale de l'OACI<sup>[21]</sup>.

Mesurages pour la certification

Si des prévisions de bruit sont vérifiées ponctuellement par des mesurages de courte durée, il faut extrapoler une moyenne annuelle des résultats obtenus. Pour ce faire, il convient de tenir compte adéquatement des types d'avions ainsi que des trajectoires de vol et de leur dispersion (comme suggéré dans ISO 1996-2).

Mesurages de contrôle pour des prévisions de bruit

## 5 > Documentation des résultats

*Ce chapitre résume les exigences posées pour la documentation des calculs ou des mesurages du bruit. Il s'agit de prescriptions concernant les informations requises sur les bases de calcul et les normes applicables aux rapports de mesure.*

### 5.1 Exigences relatives aux calculs

Les rapports sur support papier doivent contenir des cartes de l'exposition au bruit accompagnées de données digitales telles que des calculs pour les points de la grille ou des courbes de niveau de bruit. Les données digitales seront complétées de descriptions des attributs sous une forme adéquate.

Principes

Les calculs doivent être documentés dans le cas particulier afin d'en assurer l'intelligibilité. Il convient notamment de fournir les indications suivantes:

Indications pour l'intelligibilité

- > programme de calcul utilisé et sa version ainsi que le paramétrage;
- > numéro d'aéronef SANC-DB des émissions de bruit utilisées;
- > composition de la flotte pour les différentes routes et les périodes d'évaluation;
- > classes d'avions utilisées, avec motivation du regroupement en classes;
- > représentation des trajectoires de vol, le segment pris en compte, y compris les différentes phases de vol selon SANC-DB, sous forme graphique (profils) et sur une carte (traces);
- > traces sélectionnées, avec motivation ou informations et explications relatives à l'inclusion de données radar;
- > statistiques mensuelles et hebdomadaires ayant servi à déterminer N1 et N2 pour les petits aéronefs ainsi que facteur d'extrapolation Fk, ou facteurs Fj et Fp pour les aéroports militaires;
- > données d'entrée utilisées pour le trafic aérien calculé, telles que données sur les sources, années des valeurs moyennes, facteurs utilisés pour les extrapolations des prévisions;
- > indication de l'incertitude estimée pour les niveaux sonores déterminés pour les aéroports nationaux.

Les informations dans les cadastres de bruit (CdB) doivent obéir aux exigences formulées à l'art. 37 OPB. Pour les aéroports comptant une part importante de mouvements de grands avions, il convient de déterminer aussi bien les valeurs limites d'exposition au bruit causé par le trafic des petits aéronefs que les valeurs limites d'exposition au bruit du trafic aérien global (petits aéronefs et grands avions). Il faut représenter les courbes de bruit des valeurs de planification (VP), des valeurs limites

Informations spécifiques relatives aux cadastres de bruit

d'immissions (VLI) et des valeurs d'alarme (VA), ce pour tous les degrés de sensibilité (DS).

Il peut s'avérer utile de générer une courbe enveloppante des valeurs limites (EVL) pour représenter et évaluer l'exposition au bruit aérien. L'EVL est l'enveloppante de toutes les courbes pertinentes représentant les valeurs limites pour les différents niveaux d'évaluation; elle délimite le périmètre où les valeurs limites sont dépassées. Les segments de la courbe sont représentés différemment selon le niveau d'évaluation concerné; leur attribution ressort de la légende. Les surfaces de zones d'affectation se situant à l'intérieur de l'EVL sont affectées par un bruit dépassant les valeurs limites.

Enveloppante des valeurs limites

Exemple d'un aérodrome militaire avec trafic mixte: l'EVL du DS II correspond pour la VLI à l'enveloppante des courbes des niveaux d'évaluation suivants: Lr = 65 dB, Lrk = 60 dB, Lrt = 60 dB, Lrn1 = 55 dB, Lrn2 = 50 dB et Lrn3 = 50 dB. Les zones de DS II avec dépassement de la VLI se trouvent à l'intérieur de cette courbe enveloppante.

Exemple d'enveloppante des valeurs limites

Les données vectorielles numériques (données SIG, polygones, etc.) doivent être dotées notamment des attributs ci-dessous afin que l'autorité de surveillance puisse les utiliser dans ses systèmes de monitoring. Pour les données raster, ces informations seront fournies dans un fichier texte par exemple, à titre de description du fichier:

Descriptions des attributs des données SIG

**Tab. 4 > Description du fichier**

Nom de l'attribut	Type de données/Remarques
Nom	Nom de l'aérodrome
Code OACI de l'aérodrome	Code
Type d'aérodrome	Aéroport national, aérodrome régional, champ d'aviation, hélicoptère, aérodrome militaire, ancien aérodrome militaire, aérodrome militaire avec utilisation civile
Utilisation civile	oui/non
Utilisation militaire	oui/non
Mouvements total	Nombre
Nb grands avions civils par jour	Nombre
Nb grands avions civils par nuit 1	Nombre
Nb grands avions civils par nuit 2	Nombre
Nb grands avions civils par nuit 3	Nombre
Nb petits aéronefs civils	Nombre
Nb hélicoptères civils	Nombre
Nb jets militaires	Nombre
Nb avions militaires à hélices	Nombre
Nb hélicoptères militaires	Nombre
Type de calcul	CdB, EIE, immissions de bruit admissibles selon art. 37a OPB, trafic annuel effectif (calcul de contrôle), prévision
Période du calcul	Année
Date du calcul	Date
Calculé par	Nom (bureau)
Programme utilisé	Nom, y compris version

## 5.2 Exigences relatives aux mesurages

D'une manière générale, la procédure menée selon les exigences décrites dans le chapitre 4 doit être documentée de façon compréhensible. Il convient d'attirer l'attention spécialement sur les points suivants:

L'emplacement du mesurage et la disposition des microphones doivent être documentées en détail, par des cartes et des photos. En effet, des décalages minimes peuvent entraîner des écarts importants. Il faut décrire aussi les environs avec précision, en raison des éventuelles réflexions.

L'incertitude de mesure doit être indiquée en dB pour les valeurs moyennes au moins. Outre l'écart-type (dispersion des événements individuels), il convient de prendre en compte aussi les incertitudes concernant différents facteurs d'influence, ou au moins les thématiser. Le «Guide» international pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)<sup>[22]</sup> est un ouvrage de référence sur ces questions.

Il convient de documenter non seulement les mesurages valables, mais aussi le nombre de ceux qui sont non valides, décision qu'il faut motiver.

Lors des mesurages surveillés visant à vérifier les prévisions sur les immissions (campagnes brèves, à la différence du monitoring à long terme), il faut s'assurer de l'attribution à la route ou trajectoire de vol, et consigner ces informations dans le rapport. Il convient en outre de documenter, de manière plausible et intelligible, l'extrapolation de la moyenne annuelle. À cet égard, il faut noter d'une manière générale que l'extrapolation n'a pas été vérifiée par les mesurages.

**Exigences selon le chapitre 4**

**Description des positions des microphones**

**Indications concernant l'exactitude des mesures**

**Documentation de mesures non valides**

**Mesurages surveillés pour vérifier des calculs des immissions**

## > Annexe

### A1 **Bref descriptif des principaux éléments de Swiss Aircraft Noise Calculation Reference Frames (SANC-REF)**

Les modèles et les principes les plus importants du calcul des niveaux de bruit pour la grille de référence sont résumés ci-après. La source de bruit est décrite à l'aide des valeurs dans la base de données SANC-DB (cf. 3.2.1; <sup>[5]</sup>). Les immissions, elles, sont déterminées en soustrayant des émissions la réduction résultant des réductions dues à la propagation:

*niveau d'immission = niveau d'émission – réductions dues à la propagation:*

$$L(r, \theta) = L(r_0, \theta) - 20 \cdot \log\left(\frac{r}{r_0}\right) - a(r, r_0) - b(r, \gamma) - h(r_1, r_2, \dots)$$

où:

- $r$  = distance (émissions – immissions)
- $\theta$  = angle entre l'axe de vol et la direction de propagation du son
- $L(r, \theta)$  = niveau d'immissions dB
- $r_0$  = distance (proche) lors des mesurages des émissions
- $L(r_0, \theta)$  = niveau d'émission en dB
- $a(r, r_0)$  = atténuation due à l'air sur le chemin de propagation, entre  $r_0$  et  $r$ , en dB
- $\gamma$  = angle entre le sol et la direction de propagation du son
- $b(r, \gamma)$  = atténuation due au sol sur la distance  $r$ , avec un angle  $\gamma$ , en dB
- $h(r_1, r_2, \dots)$  = atténuation due aux obstacles, pour  $r_1, r_2, \dots$ , en dB

Les termes de propagation sont arrêtés comme suit:

- > L'atténuation due à l'air  $a(r, r_0)$  est calculée selon ISO 9613-1<sup>[9]</sup>. Les valeurs pour l'atmosphère sont: pression  $p = 1013,25\text{mB}$ , température  $T = 15\text{ }^\circ\text{C}$ , humidité relative de l'air  $rh = 70\%$ .
- > L'atténuation due au sol  $b(r, \gamma)$  se calcule selon l'équation suivante:

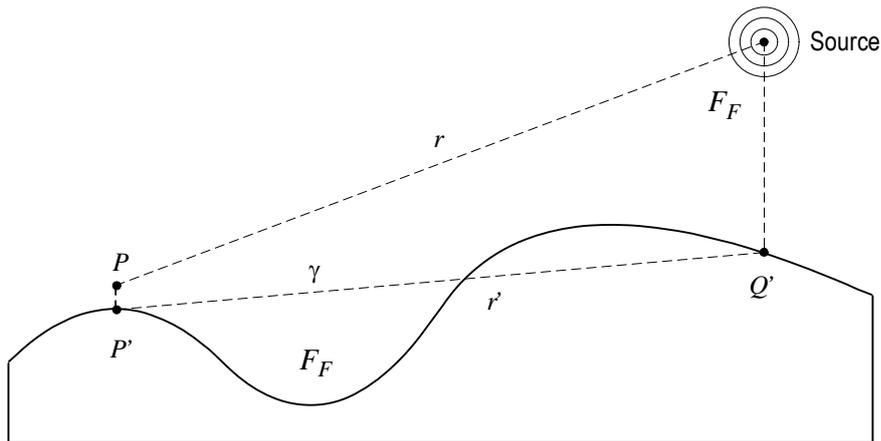
$$b(r, \gamma) = \left(10.1451 - 9.9e^{-0.00134r}\right) (1 - 3.8637 \sin(\gamma)) \quad \gamma < 15^\circ$$

où  $\gamma$  est l'angle d'élévation, calculé selon la formule:

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{2 \cdot F_F}{r \cdot r'}\right)$$

où  $F_F$  est le champ libre entre la source Q et le point de réception P;  
 r et r' sont les distances selon le profil longitudinal de l'esquisse ci-après.

**Fig. 4** > Champ libre  $F_F$  et distances r, r' pour calculer le de l'atténuation due au sol

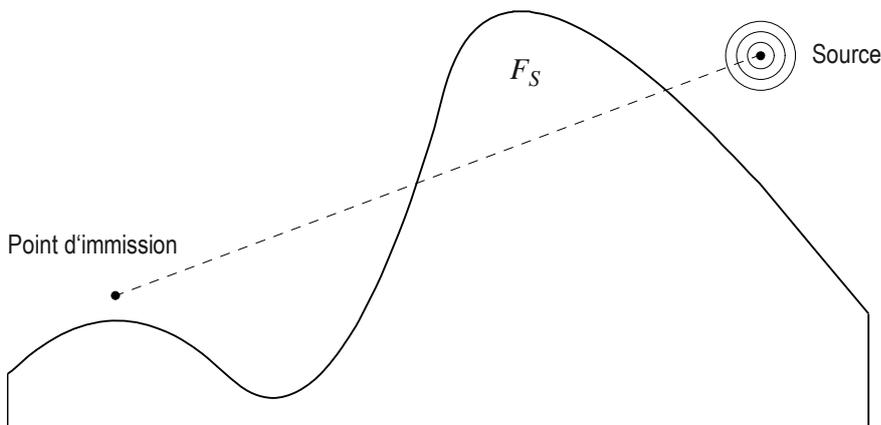


L'atténuation due aux obstacles  $h(r_1, r_2, \dots)$  enfin se calcule selon la formule:

$$h(r_1, r_2, \dots) = k_H \cdot F_s / k_H = 8.67 \text{ dB/ha (ha=hectare)}$$

où  $F_s$  est la surface au-dessus de la ligne de visibilité entre la source Q et le point de réception P selon le profil longitudinal suivant:

**Fig. 5** > Surface  $F_s$  au-dessus de la ligne de visibilité pour le calcul de l'atténuation due aux obstacles h



Pour des informations plus détaillées, voir la documentation<sup>[8]</sup> ou les ouvrages de référence<sup>[1]</sup> et<sup>[11]</sup>.

## > Bibliographie

- [1] Bütikofer R., Eggenschwiler K. 2004: Empa, division Acoustique. Übersicht über Fluglärmrechnungsverfahren. Bericht Nr. 433 411 - 1.
- [2] CEAC Conférence européenne de l'aviation civile 2005: Doc no 29; Rapport sur la méthode normalisée de calcul des courbes de niveau de bruit autour des aéroports civils; volume 2: Guide technique. 3e édition.
- [3] Krebs W., Thomann G., Bütikofer R. 2010: Empa, division Acoustique. FLULA 2; Ein Verfahren zur Berechnung und Darstellung der Fluglärmbelastung; Technische Programm-Dokumentation. Version 4.
- [4] Schäffer B., Bütikofer R., Plüss S., Thomann G. 2011: Aircraft noise: accounting of changes in air traffic with time of day. Journal of the acoustical society of America. Vol. 129(1), 185–199.
- [5] Krebs W., Empa, Abt. Akustik; Lobsiger E., Lobsiger Consulting. Swiss Aircraft Noise Database, Technische Dokumentation.
- [6] OACI Organisation de l'aviation civile internationale 2008: Doc 9911 Recommended method for computing noise contours around airports.
- [7] Krebs W., Empa, Abt. Akustik; Lobsiger E., Lobsiger Consulting. SANCTE Swiss Aircraft Noise Calculation Test Environment; Technische Dokumentation zur standardisierteren Testumgebung für Fluglärmrechnungsprogramme.
- [8] Lobsiger E. 2007: Ansätze für Bodendämpfung und Geländeabschattung bei Fluglärmrechnungen. Version 1.0.
- [9] ISO Organisation internationale de normalisation. 9613-1 Acoustique – Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre – Partie 1: Calcul de l'absorption atmosphérique. 1993.
- [10] 9613-2 Acoustique – Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre – Partie 2: Méthode générale de calcul. 1996.
- [11] Lobsiger E. 2005. IMMPAC, ein Verfahren und Programm zur Berechnung und Darstellung von Fluglärmmissionen. Version 1.0.
- [12] Thomann G. 2007: Mess- und Berechnungsunsicherheit von Fluglärmbelastungen und ihre Konsequenzen. Zurich: Diss. EPF No 17 433.
- [13] Ministère allemand de l'intérieur 2008: Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen nach dem Gesetz gegen den Fluglärm vom 30 März 1971.
- [14] SAE International 1986: SAE AIR 1845, Procedure for the Calculation of Aircraft Noise in the Vicinity of Airports.
- [15] Binder U. 2008: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik. Untersuchung des Einflusses realer atmosphärischer Bedingungen auf die Ausbreitung von Fluglärm. Göttingen: DLR, 2008. ISRN DLR-FB-2008–18.
- [16] Journal officiel des Communautés européennes 2002: Directive 2002/49/CE. Directive relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. Bruxelles: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0012:FR:PDF>
- [17] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 45684-2, 2007: Ermittlung von Fluggeräuschmissionen an Landeplätzen; Teil 2: Bestimmung akustischer und flugbetrieblicher Kenngrößen.
- [18] DIN 45643 Messung und Beurteilung von Fluggeräuschen 2011.
- [19] ISO; Organisation internationale de normalisation, 2007: ISO 1996–2, Acoustique – Description, évaluation et mesurage du bruit de l'environnement – Partie 2: Détermination des niveaux de bruit de l'environnement.
- [20] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. DIN ISO 20906, 2009: Acoustique – Surveillance automatique du bruit des aéronefs au voisinage des aéroports.
- [21] Annexe 16 à la Convention de l'Organisation internationale de l'aviation civile, 2008: International Standards and Recommended Practices, Environmental Protection. Volume 1: Aircraft Noise. Organisation internationale de l'aviation civile (OACI).
- [22] JCGM, Joint Committee for Guides in Metrology 2008: Évaluation des données de mesure – Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure.

# > Index

## Abréviations

---

### AzB

Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen (instructions pour le calcul des zones de bruyance à proximité des aérodromes civils et militaires) du Ministère allemand de l'intérieur

### GAP

Groupe auxiliaire de puissance (générateur auxiliaire des avions pour l'alimentation au sol des systèmes de bord)

### VA

Valeur d'alarme selon LPE et OPB

### DOC n° 29

Instructions de la CEAC concernant le calcul du bruit de l'aviation

### DOC 9911

Instructions de l'OACI concernant le calcul du bruit de l'aviation

### CEAC

Conférence européenne de l'aviation civile

### EVL

Enveloppante des valeurs limites: voir 5.1

### SIG

Système d'information géographique

### VLI

Valeur limite d'immission selon LPE et OPB

### INM

integrated noise model (modèle de bruit intégré)

### OACI

Organisation de l'aviation civile internationale

### L<sub>Amax</sub>

Niveau de pression acoustique maximal pondéré A

### L<sub>AE</sub>

Niveau de pression acoustique d'un événement isolé en dB(A) (selon ISO 1996-1)

### L<sub>eq</sub>

Niveau de pression acoustique continu équivalent en dB(A)

### CdB

Cadastre de bruit selon OPB

### L<sub>r</sub>

Niveau d'évaluation selon OPB

### $\bar{L}_{max}$

Le moyen de L<sub>Amax</sub> des passages d'hélicoptères selon l'annexe 5 de l'OPB

### OPB

Ordonnance du 15 décembre 1986 sur la protection contre le bruit

### NMPlot

Logiciel SIG open source ([www.wasmerconsulting.com/nmplot.htm](http://www.wasmerconsulting.com/nmplot.htm))

### VP

Valeur de planification selon LPE et OPB

### SAE

Society of Automotive Engineers

### SANC-Tools

Swiss aircraft noise calculation – tools; collection d'outils servant à vérifier les programmes de calcul du bruit de l'aviation

### SANC-DB

Swiss aircraft noise calculation – data base; base de données de SANC-Tools

### SANC-TE

Swiss aircraft noise calculation – test environment; environnement de test de SANC-Tools

### SANC-REF

Swiss aircraft noise calculation – reference frame; cadre de référence de SANC-Tools

### LPE

Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement

## Figures

---

### Fig. 1

Exemple d'un jeu de données de SANC-DB pour les émissions d'un aéronef durant la phase de vol «takeoff standard power» 19

### Fig. 2

Illustration du paramètre d'asymétrie de la description de la source de bruit dans SANC-DB 20

### Fig. 3

Extrait d'un calcul du bruit dans l'environnement-test SANC-TE AIRFIELD, comparé avec le cadre de référence de  $\pm 0,5$  dB 22

### Fig. 4

Champ libre  $F_f$  et distances  $r, r'$  pour calculer le  $\gamma$  de l'atténuation due au sol 33

### Fig. 5

Surface  $F_s$  au-dessus de la ligne de visibilité pour le calcul de l'atténuation due aux obstacles  $h$  33

## Tableaux

---

### Tab. 1

Répartition des mouvements et de la distance des trajectoires latérales par rapport à la route centrale 13

### Tab. 2

Informations des développeurs de programmes concernant l'état de la technique et les exigences de l'OPB (déclaration spontanée) pour une recommandation par l'OFEV 21

### Tab. 3

Critères de conformité pour la recommandation de programmes de calcul du bruit du trafic aérien sur la base de l'environnement de test SANC-TE et du cadre de référence SANC-REF 22

### Tab. 4

Description du fichier 30