

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.
Université Saad Dahleb de Blida 01
-Institut d'Aéronautique et des Etudes Spatiales-



Mémoire de projet de fin des études

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Aéronautique

Option : Opérations Aériennes.

Thème :

***Etude préliminaire des nuisances sonores au niveau de
l'aéroport d'Alger.***

Encadré par :

Mr Rezoug Tahar

Présenté par :

Daoudi Sarra

Djebbabi Nour Hane

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu, le bon dieu (Allah) qui nous a donné la force, la volonté et le courage pour terminer ce projet de fin d'étude.

Nous remercions profondément notre promoteur Mr REZOUG TAHAR pour avoir dirigé ce mémoire et pour qui nous exprimons tous nos reconnaissances pour son aide, son soutien, sa disponibilité et ses conseils pertinents tout au long de ce travail.

Nous remercions Mr AIDOUH MAHMOUD, Directeur de la Sécurité Aéronautique au niveau de l'aéroport d'Alger pour son aide et son soutien tout au long de notre stage.

Nous remercions Mme BOUAZZA IMANE, Chef Département de gestion des risques

Air Algérie pour son aide précieuse.

Nous voudrions également exprimer nos vifs remerciements aux membres de jury pour avoir accepté d'évaluer notre travail.

Des remerciements particuliers à nos parents pour leur grand soutien.

Enfin, nous tenons aussi à témoigner nos sincères gratitude à tous ceux qui nous ont assistés de près ou de loin par leurs encouragements, leurs conseils, et leurs critiques.



Dédicaces



Je dédie ce modeste travail à tous ceux qui me sont chères :

A mes chers parents Driss et Samia qui ont toujours proches de moi et qui m'ont donné le courage de continuer jusqu'au bout.

A mes chers oncles Nadjib et Farid qui malgré la distance et les difficultés ne cessent de m'encourager et me pousser à donner le meilleur de moi-même.

A ma petite sœur Dina grâce à qui mes journées sont illuminées.

A l'ensemble de mes proches, mes tantes et oncles pour leur encouragement et leur soutien tout au long de mes longues années d'études.

A mes très chères cousines Sofia et Lina pour leur amour.

A ma meilleure amie Affaf.

A ma chère binôme Nour Hane.

A tous mes amis et tous ceux qui me connaissent.



Sarra





Dédicaces



A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans mes moments les plus durs et ceux à qui je
dois tant

A mes parents Samir et Nadjia pour leur amour et leur support affectif.

A mon adorable frère Mohamed et ma très chère sœur Sirine.

A mes grandes mères Nadjia et Fatma.

A ma chère tante Saida.

A ma chère binôme Sarra.

A tous mes amis et tous ceux qui me connaissent.



Nourhane



Tables des matières

INTRODUCTION GENERALE	01
PARTIE 01 : CONTEXTE GÉNÉRAL ET OBJECTIFS	
I. LE BRUIT	02
1. Définitions.....	02
1.1. Le son.....	02
1.2. Le bruit.....	02
1.3. L’acoustique.....	02
1.4. La nuisance sonore.....	02
1.5. La pollution sonore.....	02
2. Caractéristiques physiques du bruit.....	03
3. Unité de mesure.....	04
3.1. Le décibel.....	04
3.2. Le décibel A.....	04
3.3. L’EPNDB	04
3.4. LDEN.....	04
3.5. N _{Ax}	04
4. Indicateurs acoustiques.....	05
4.1. Indicateurs énergétiques.....	05
4.1.1. Les niveaux acoustiques équivalents.....	05
4.1.2. Les niveaux fractals.....	05
4.1.3. Les indicateurs de gêne globaux définis par la directive bruit.....	06
4.2. Indicateurs événementiels.....	07
5. Les sources du bruit.....	07
5.1. Les bruits structurels.....	07
5.2. Les bruits conjoncturels.....	07
6. Les sources du bruit des aéronefs.....	08
6.1. Le bruit moteur.....	08
6.2. Le bruit aérodynamique.....	10

II. la réglementation acoustique internationale.....	11
III. le plan d'exposition au bruit PEB.....	12
1. Définitions.....	12
2. Schéma type d'un PEB.....	13
IV. Le plan de gêne sonore PGS.....	13
V. Méthode d'élaboration des cartes.....	14

PARTIE 02 : METHODOLOGIE

I. Introduction.....	17
II. Protocole de mesures.....	17
1. Matériel de mesures	17
2. Période de mesures.....	18
3. Points de mesures.....	18
4. Conditions météorologiques	19

PARTIE 03 : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Réalisation des mesures.....	20
II. Résultats des mesures et discussion	32

CONCLUSION GENERALE.....34

ANNEXES

Annexe A : les effets du bruit des aéronefs sur la santé.....	35
Annexe B : la lutte contre le bruit aéronautique.....	40

Liste des abréviations

ACNUSA :	Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires
ANP :	Aircraft Noise and Performance
APU :	Auxiliaire Power Unit
CEAC :	Conférence Européenne d'Aviation Civil
DACM :	Direction de l'Aviation Civile et de la Météorologie _Algérie
dB :	décibel
dB(A) :	le décibel A
DGAC :	Direction Générale de l'Aviation Civile _ France
ENNA :	Etablissement National de la Navigation Aérienne
EPNDB:	Effective Perceived Nose Decibel
FAA:	Federal Aviation Administration
INM :	Integrated Noise Model
LAm_{ax} :	Niveau instantané maximum avec une pondération A
L_{den}:	day-evening-night assessment sound Level
Leq :	Niveau acoustique équivalent
NA_x :	Noise events Above x dB(A)
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
PEB :	Plan d'Exposition au Bruit
PGS :	Plan de Gene Sonore
PLU :	Plans Locaux d'Urbanisme
SEL ou LEA :	Niveau d'Exposition au Bruit
SPL :	Sound Pressure Level.
TNSA :	Taxe sur les Nuisances Sonores Aériennes
ULM :	vol Ultra Léger Motorisé

Mots clés : Nuisances Sonores, PEB, PGS, Approche équilibrée.

Liste des figures

Figure 1- Le bruit des groupes motopropulseurs	9
Figure 2- Les principaux éléments qui contribuent au bruit aérien.....	10
Figure 3- Schéma type d'un plan d'exposition au bruit.....	13
Figure 4- Modèle de bruit.....	15
Figure 5- Emplacement de 5 points de mesures de bruit.....	18
Figure 6- Résultat de mesure de bruit de décollage d'un B737-800.....	20
Figure 7- Résultat de mesure de bruit de décollage d'un B737-800+ Roulage/Décollage ATR42.....	21
Figure 8- Résultat de mesure de bruit de mise en route, roulage et décollage d'un ATR42.....	22
Figure 9- Résultat de mesure de bruit d'un roulage/décollage B737-800.....	23
Figure 10- Résultat de mesure de bruit de décollage B737-800.....	24
Figure 11- Résultat de mesure de bruit de décollage A330-200.....	25
Figure 12- Résultat de mesure de bruit de décollage ATR72.....	26
Figure 13- Résultat de mesure de bruit de mise en route et roulage B737-800.....	27
Figure 14- Résultat de mesure de bruit de décollage B737-200.....	28
Figure 15- Résultat de mesure de bruit de décollage B737-800.....	29
Figure 16- Résultat de mesure de bruit d'atterrissage ATR42.....	30
Figure 17- Résultat de mesure de bruit de décollage ATR42.....	31
Figure 18- Evolution de bruit en fonction du taux de dilution.....	41
Figure 19- les techniques de contrôle du bruit des turboréacteurs.....	43

Liste des tables

Tableau 1- des ordres de grandeurs pour des bruits familiers.....	3
Tableau 2- Caractéristiques du sonomètre utilisé	17
Tableau 3-Synthèse des données météorologiques pour la période de mesurage.....	19
Tableau 4- Décollage B737-800.....	20
Tableau 5- Décollage B737-800 + Roulage/décollage ATR 42.....	21
Tableau 6- Mise en route, roulage/décollage d'un ATR42.....	22
Tableau 7-Roulage/ décollage d'un B737-800.....	23
Tableau 8- Décollage d'un B737-800.....	24
Tableau 9- Décollage d'un A330-200.....	25
Tableau 10- Décollage d'un ATR72.....	26
Tableau 11- Mise en route/Roulage d'un B737-800.....	27
Tableau 12- Décollage d'un B737-200.....	28
Tableau 13- Décollage d'un B737-800.....	29
Tableau 14- Atterrissage d'un ATR42.....	30
Tableau 15- Décollage d'un ATR42.....	31
Tableau 16- Les résultats des mesures de bruit et l'évaluation de la conformité réglementaire.....	32

Liste des annexes

Annexe A : les effets du bruit des aéronefs sur la santé.....	35
Annexe B : la lutte contre le bruit aéronautique.....	40

Résumé

Cette étude traite une étude préliminaire des nuisances sonores au niveau de l'Aéroport d'Alger.

Il s'agit d'effectuer des mesures de bruit sur des points bien choisis à l'aide d'un sonomètre numérique avec l'interface graphique pour déterminer les SPL en différentes phase de vol entre autres les décollages et les atterrissages des périodes à fréquence de vols importante communiqué par la direction des opérations des vols.

Les résultats obtenus donnent un aperçu de ces nuisances et confirment les dépassements constatés du seuil fixé par l'OACI pour certains vols qu'il faut traiter et proposer des solutions afin de préserver la santé du personnel exposé.

تناول هذه المذكرة دراسة اولية للتلوث الضوضائي على مستوى مطار الجزائر العاصمة، يتضمن ذلك قياس الضوضاء على نقاط مختارة باستخدام آلة رقمية لقياس الصوت مع واجهة بيانية لتحديد المستويات الصوتية في مراحل الطيران المختلفة، بما في ذلك الاقلاع والهبوط في الفترات التي تكون فيها عدد الرحلات كبير مأخوذة من قبل ادارة العمليات الجوية

النتائج التي تم الحصول عليها تقدم لمحة عامة عن التجاوزات وتؤكد أن العتبة التي حددتها المنظمة الدولية للطيران المدني لرحلات معينة قد تم تجاوزها والتي يجب معالجتها واقتراح حلول من اجل حماية صحة الافراد المعرضين للصوت

This study deals with a preliminary study of noise pollution at Algiers Airport.

This involves performing noise measurements on well-chosen points using a digital sound level meter with the graphical interface to determine the SPLs in different flight phases, including take-offs and landings of frequency periods of significant flights taken by the air operations departments.

The results obtained provide an overview of these nuisances and confirm that the threshold set by the ICAO for certain flights has been exceeded and which must be treated and solutions proposed in order to protect the health of exposed personnel.

Introduction générale

Le bruit engendré par les avions reste au niveau de l'aéroport de HOUARI BOUMEDIENE une des nuisances sonores les plus durement ressenties par la population locale.

La zone habitée à proximité de cet aéroport en l'occurrence Dar El Beida et ses environs n'échappe pas ainsi au survol des avions lors du décollage et de l'atterrissage ainsi que l'approche.

En effet, le nombre de mouvements au niveau de l'aéroport d'Alger annuel tend à augmenter ces dernières années en amplifiant cette nuisance surtout avec l'ouverture récente ou prochaine d'une nouvelle aérogare.

Pour cela, l'Etablissement National de la Navigation Aérienne sis à l'aéroport d'Alger, en concert avec le Laboratoire des Sciences Aéronautique a vu la nécessité première de faire une étude préliminaire des nuisances sonores au niveau de cet aéroport.

Il s'agit donc de définir un état des lieux par les mesures de bruit à des points par un sonomètre dans une première étape et établir une cartographie du bruit du trafic aérien par la suite.

On pourra quantifier si possible en fonction des résultats de ces mesures le bruit émis et le modéliser pour en déduire le plan de gêne sonore.

En fin un plan de dispersion des vols décollant de cet aéroport peut être proposé comme palliatif à ces nuisances dans le cas échéant.

A cet effet, cette étude est scindée en cinq chapitres :

Le premier chapitre présente les notions de base sur les nuisances sonores et son traitement.

Le second traite la méthodologie pour les mesures de bruit pour en déterminer le Plan d'Exposition de Bruit ainsi que le Plan de Gêne Sonore.

Le troisième chapitre concerne les mesures propres effectuées au niveau de l'Aéroport d'Alger pour une période choisie en fonction des fréquences importantes des vols, ainsi que la discussion des résultats obtenues pendant cette étude préliminaire de nuisance sonore.

Le quatrième présente les différents effets du bruit des aéronefs sur la santé de l'être humain.

Le dernier chapitre consiste à déterminer les solutions possibles et recommandées par l'OACI dans la lutte contre le bruit aéronautique.

Partie 01 : Contexte général et objectifs.

I. Le bruit

1. Définitions

1.1. Le son

Le son est un ébranlement élastique des éléments du milieu où il se propage, ce milieu étant un gaz (air), un liquide ou un solide. Un son pur peut être caractérisé par son intensité (sa force) et sa fréquence (grave ou aiguë).

1.2. le bruit

Un bruit est un ensemble de sons sans harmonie. Pour les avions en vol on distingue le bruit des groupes motopropulseurs, prépondérant lors des phases de décollage, et le bruit aérodynamique qui devient aussi important que le bruit des moteurs pour les phases d'atterrissage.

Ex. : lorsqu'un avion atterrit, le bruit perçu n'est pas celui du moteur mais essentiellement celui de l'écoulement de l'air le long de la carlingue de l'avion.

1.3. L'acoustique

L'acoustique est la partie de la physique qui traite des lois suivant lesquelles le son se produit et se transmet. C'est l'une des sciences les plus anciennes.

1.3. La nuisance sonore

Une nuisance sonore est un bruit qui trouble la tranquillité d'autrui et la bonne santé de l'homme.

1.4. La pollution sonore

Une pollution sonore est caractérisée par un niveau de bruit élevé au point d'avoir des conséquences sur la santé humaine et l'environnement.

2. caractéristiques physiques du bruit

Le bruit est une oscillation de l'air qui frappant le tympan, est interprétée par l'oreille et le cerveau. On parle en général de bruit pour les sons non nécessaires et qui déplaisent. Le son ou bruit est caractérisé par sa fréquence, sa vitesse de propagation et son amplitude.

Fréquence :

On parle de sons graves (de basses fréquences) ou de sons aigus (de hautes fréquences). La gamme audible s'étend entre 20Hz et 20.000Hz autrement dit entre 20 oscillations par seconde et 20.000. En dessous de 20Hz on parle d'infrasons (moulin à vent par exemple) et au-dessus d'ultrasons.

✚ Vitesse de propagation :

La vitesse de propagation est de 340m/s, Quand il se réfléchit sur un obstacle (un mur, un rideau d'arbres...), on parle d'un écho : on entend le bruit atténué mais tel qu'il était.

Quand il se réfléchit sur les murs, le sol, le plafond d'un local, on parle de réverbération : on ne peut plus reconnaître le bruit initial, on a simplement un bruit qui continue et disparaît progressivement.

✚ Amplitude :

L'oreille n'entend pas les bruits de toutes les fréquences de la même façon et a tendance à atténuer les bruits graves. Pour tenir compte de ce phénomène, les appareils (sonomètres de bruit) disposent d'un circuit électronique permettant également d'atténuer ces bruits de basses fréquences. Lorsque l'on mesure le bruit, non plus comme il existe, mais comme il est entendu, on parle en dB(A).

L'échelle des décibels est difficile à utiliser (elle est logarithmique), de sorte que si deux bruits identiques, par exemple de 60dB(A) surviennent en même temps, le total ne fait pas 120dB(A) mais seulement 63dB(A). Doubler l'intensité sonore correspond donc à un niveau majoré de 3dB(A). Réduire de 3dB(A) un niveau sonore revient à le diviser par deux. Un niveau de 0dB(A) ne veut pas dire que le bruit n'existe pas mais que le niveau correspond au seuil d'audition de la moyenne de la population. En général, on est peu familier aux dB(A).

Conversation	Sensation auditive	Niveau sonore dB(A)	Exemples
Voix chuchotée	Très calme	<30	Appartement dans quartier tranquille.
Voix normale	Assez calme	50	Restaurant tranquille, Rue très tranquille
Voix élevée	Bruyant mais supportable	70	Circulation importante
Voix très forte	Pénible	85	Radio très puissante
Voix crée	Peu supportable	90	Trafic très intense
Voix extrême	Insupportable	100	Scie circulaire
Impossible	Seuil de douleur	120	Bruit d'avion au décollage.

Tableau 1- des ordres de grandeurs pour des bruits familiers.

3. unité de mesure

3.1. Le décibel

Le décibel (dB) est l'unité retenue pour le niveau sonore. Cette unité présente l'avantage de bien se calquer sur la sensibilité différentielle de l'ouïe, puisqu'un écart de 1 décibel entre 2 niveaux de bruit correspond sensiblement à la plus petite différence de niveau sonore décelable par l'oreille humaine.

3.2. Le décibel A

Le décibel A (dB(A)) est l'unité retenue pour représenter les sensibilités de l'oreille humaine. Elle permet de traduire une sensibilité plus forte aux sons aigus qu'aux sons graves.

3.3. L'EPNDB

L'EPNDB est l'unité de base permettant d'exprimer le niveau effectif du bruit perçu. Il est utilisé pour la certification des avions à réaction.

3.4. LDEN

Le LDEN est un niveau composite d'évaluation du niveau sonore sur 24H (jour-soir-nuit), exprimé en décibels pondérés A. il désigne le niveau sonore continu équivalent composé de la moyenne énergétique des niveaux sonores continus équivalents mesurés sur trois intervalles de références de jour, de soirée et de nuit, auxquels sont appliqués des termes correctifs majorants, avec des pénalisations différentes selon l'heure.

3.5. N_{Ax}

Le N_{Ax} représente le nombre d'évènements (survols) dépassant un seuil de bruit fixé.

A titre d'exemple, les indices NA62 et NA65 correspondent respectivement au nombre d'évènements de type aéroportuaire dont le niveau maximal L_{Amax} dépasse 62 dB(A) et 65 dB(A). Cet indice est facile à comprendre et paraît relativement bien adapté pour décrire la gêne liée à de nombreux pics de bruit.

4. Indicateurs acoustiques

4.1. Indicateurs énergétiques

4.1.1. Les niveaux acoustiques équivalents

Le « niveau acoustique équivalent » ($L_{eq, t}$ exprimé en dB) d'un bruit stable ou fluctuant est équivalent, d'un point de vue énergétique, à un bruit permanent et continu qui aurait été observé au même point de mesure et durant la même période. Le niveau acoustique équivalent correspond donc à une « dose de bruit » reçue pendant une durée de temps déterminée.

Il est le résultat du calcul de l'intégrale des niveaux sonores relevés à intervalles réguliers (échantillonnage de 1,2,...n fois par seconde) et pour une période donnée, t (10 min, 1 heure, 24 h, ...). Si l'échantillonnage a été effectué avec une pondération fréquentielle (A par exemple), le niveau équivalent, sera alors exprimé en dB(A) et symbolisé par $L_{Aeq,t}$.

Ce niveau est très régulièrement utilisé comme indicateur de gêne. On observe en effet, dans la pratique, une bonne corrélation entre cette valeur et la gêne auditive ressentie par un individu exposé au bruit. Cependant, l'indicateur $L_{Aeq,t}$ gomme les pics d'amplitude de courte durée observés durant la période considérée. C'est pourquoi, d'autres indicateurs de type « événementiels » sont également utilisés.

4.1.2. Les niveaux fractals

Le « niveau fractale » est exprimé en dB et est symbolisé par le paramètre L_x , où x est compris entre 0 et 100 (par exemple : L_{10}). Il exprime le niveau sonore dépassé pendant le pourcentage de temps x (10%, 95%, ...) par rapport à la durée totale de la mesure.

Comme pour les niveaux équivalents, les niveaux fractals sont déterminés sur base de niveaux sonores relevés à intervalles réguliers (échantillonnage) et pendant une période donnée. L'analyse statistique consiste à classer l'ensemble des échantillons ainsi récoltés en fonction de leur niveau et à calculer la durée, exprimée en %, où un niveau de bruit donné a été dépassé. Les valeurs L_1 et L_5 caractérisent généralement les niveaux de pointes et permettent de prendre en compte la caractéristique d'émergence forte de certains bruits tandis que les valeurs L_{90} et L_{95} caractérisent les niveaux de bruit de fond.

Si l'échantillonnage a été effectué avec une pondération (A par exemple), les niveaux fractales seront alors exprimés en dB(A) et symbolisés par L_{Ax} .

4.1.3. Les indicateurs de gêne globaux définis par la « directive bruit »

Au niveau européen, la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit ambiant a défini différents indicateurs globaux, en particulier :

L day

L day correspond au niveau de bruit moyen représentatif d'une journée (LAeq (7h-19h)), déterminé sur une année. Il constitue un indicateur de bruit associé à la gêne pendant la période diurne.

L evening

L evening correspond au niveau de bruit moyen représentatif d'une soirée (LAeq (19h-23h)), déterminé sur une année. Il constitue un indicateur de bruit associé à la gêne en soirée.

L night

L night correspond au niveau de bruit moyen annuel représentatif d'une nuit (LAeq (23h-7h)). Il constitue un indicateur de bruit associé aux perturbations du sommeil.

L den

L'indicateur pondéré L den (day-evening-night) représente le niveau annuel moyen sur 24h évalué à partir des niveaux moyens de journée (07h-19h), de soirée (19h-23h) et de nuit (23h-07h). Dans son calcul, les niveaux moyens de soirée et de nuit sont augmentés respectivement de 5 et 10 dB(A). En d'autres termes, cet indicateur de bruit est associé à la gêne acoustique globale liée à une exposition au bruit de longue durée et tient compte du fait que le bruit subi en soirée et durant la nuit est ressenti comme plus gênant. Il est utilisé notamment pour l'établissement de cartes de bruit stratégiques. Il est calculé selon la formule :

$$LDEN=10*\log_{10} \left[\frac{12*10^{\frac{LAeq,7-19}{10}}}{24} + \frac{4*10^{\frac{(LAeq,19-23)+5}{10}}}{24} + \frac{8*10^{\frac{(LAeq,23-7)+10}{10}}}{24} \right]$$

1 : guide technique de l'aviation civile GUID/STAC/ACE/087 du 29/10/13_France

4.2. Indicateurs événementiels

Parmi les indicateurs événementiels, on peut citer les indicateurs suivants :

L_{Amax} ou « niveau instantané maximum »

Le L_{Amax} est le niveau maximum de bruit mesuré (avec une pondération fréquentielle A) durant une période de temps donnée. Il correspond à un niveau sonore qui n'est jamais dépassé et est donc égal au niveau fractal LA0.

SEL

Le SEL (ou LEA) est le niveau d'exposition acoustique. Il intègre à la fois le niveau de bruit et la durée durant laquelle le bruit est présent. Le SEL est défini comme étant le niveau constant pendant une seconde ayant la même énergie acoustique que le son original perçu pendant une durée donnée. Cet indicateur acoustique est souvent utilisé pour quantifier l'énergie sonore d'un événement simple (passage d'un véhicule) et pour comparer entre eux les événements sonores issus d'une même source. Le SEL se calcule suivant la formule :

$$\text{SEL} = \text{LA}_{\text{eq}, t} + 10 * \log(t)$$

Avec t = durée de l'événement exprimée en secondes.

5. Les sources du bruit

On distingue deux grandes catégories de bruits, chacune nécessitant des mesures de lutte spécifiques.

5.1. Les bruits structurels

Liés à la circulation routière (voitures, camions, motos, bus, tram, métro et encore collecte de déchets et nettoyage de voirie), la circulation ferroviaire et la circulation aérienne.

5.2. Les bruits conjoncturels

Plus locaux et/ou plus occasionnels, et liés aux installations (chantiers, conditionnements d'air, machines, établissement HORECA, salles de spectacle, discothèques, salles de sport, etc.), au voisinage (écoles ou musique, travaux, chiens, etc.) et à la voie publique (comportements individuels, marchés, foires, etc.).

Les bruits propres au milieu urbain sont les suivants :

- ✚ **Bruit routier** : L'intensité du bruit du trafic routier est essentiellement fonction du volume et du type de trafic (voitures, camions...), du type de moteur et de pneus ainsi que de l'aménagement et du revêtement des voiries. Le niveau sonore est également tributaire de la vitesse des véhicules et de la manière de conduire des automobilistes.
- ✚ **Bruit des transports publics** : Globalement, les bruits sont fonction de l'état du matériel roulant et des voies. L'aménagement et le revêtement des voiries peuvent également y contribuer ainsi que le style de conduite des chauffeurs.
- ✚ **Bruit du chemin de fer** : Le bruit du chemin de fer est essentiellement dû à l'état des voies, du type de convois (train passagers, train marchandises) ainsi que de la qualité du matériel roulant. La vitesse et les fréquences de passage des trains influencent également le niveau sonore.
- ✚ **Bruit des installations** : Le fonctionnement d'installations frigorifiques, de cheminées d'aération, de conditionnements d'air, de systèmes de chauffage... peut être la source de bruits gênants pour le voisinage.
- ✚ **Bruit de voisinage** : Les terrasses de cafés et de restaurants, les discothèques... peuvent être bruyantes. L'utilisation de divers engins domestiques tels que TV contribue également à augmenter le niveau sonore ambiant. Enfin, les comportements des habitants (bruits de pas, pratique d'un instrument de musique, jeux d'enfants, aboiements de chiens...) sont également des sources de bruit.
- ✚ **Bruit des avions** : Globalement, le niveau de bruit est fonction des fréquences des vols, des procédures de vol et du type d'avions.

6. Les sources du bruit des aéronefs

6.1. Le bruit du moteur

✚ **Dans le groupe motopropulseur, il s'agit :**

-Du bruit de jet,

-Du bruit des parties tournantes du moteur (soufflantes amont et aval, compresseur et turbine),

-Du bruit de combustion, et des bruits internes.

Le bruit de jet est dû à la génération de fortes turbulences dans la zone où les gaz chauds à haute pression éjectés de la tuyère du moteur se mélangent à l'air ambiant.

✚ Dans le groupe turboréacteurs, il s'agit :

Le bruit de jet, le bruit des parties tournantes constituées par la soufflante, les compresseurs et les turbines.

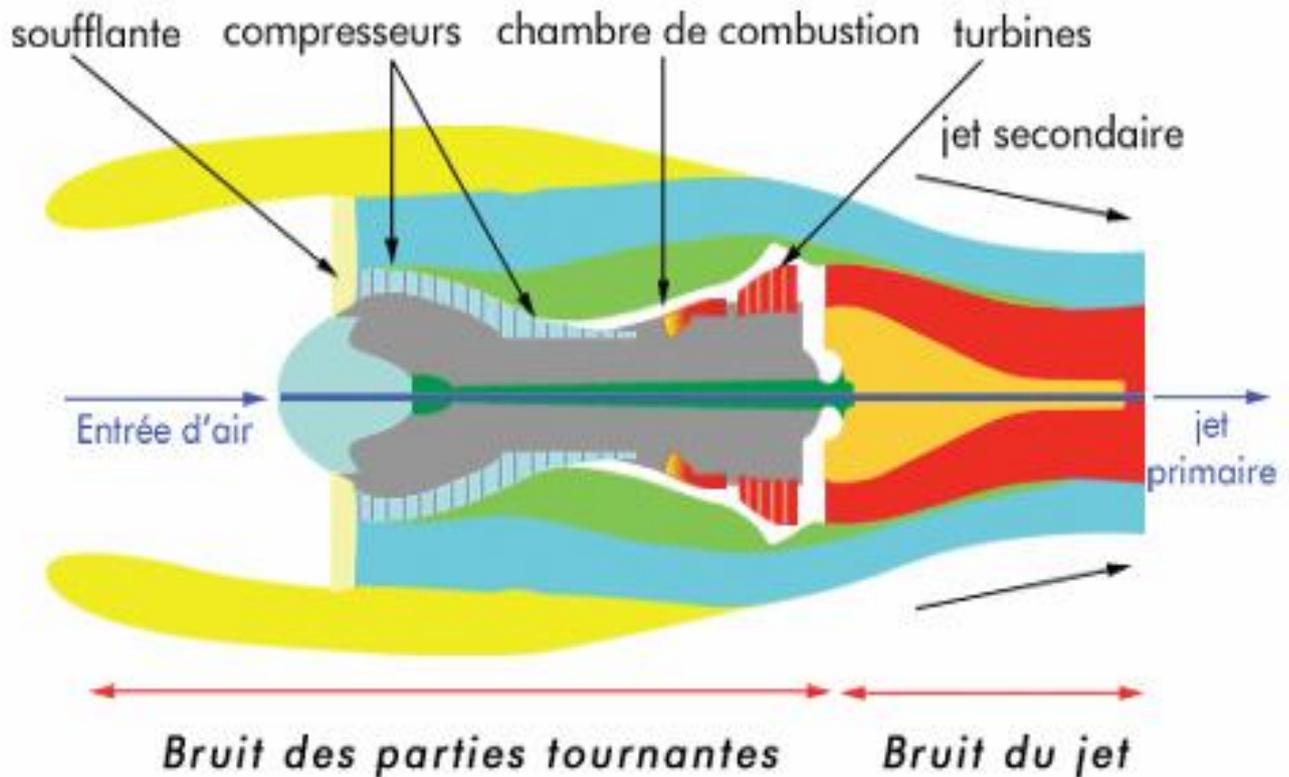


Figure 1- le bruit des groupes motopulseurs

6.2. Le bruit aérodynamique

Le bruit aérodynamique est dû aux turbulences aérodynamiques créées autour de l'avion. Le bruit des volets, des bords de fuite et du train d'atterrissage en sont des exemples.

Compte tenu des progrès réalisés sur les moteurs, cette source de bruit devient aussi importante, voire supérieure au bruit du moteur pour les phases d'atterrissage avec un grand développement des volets.

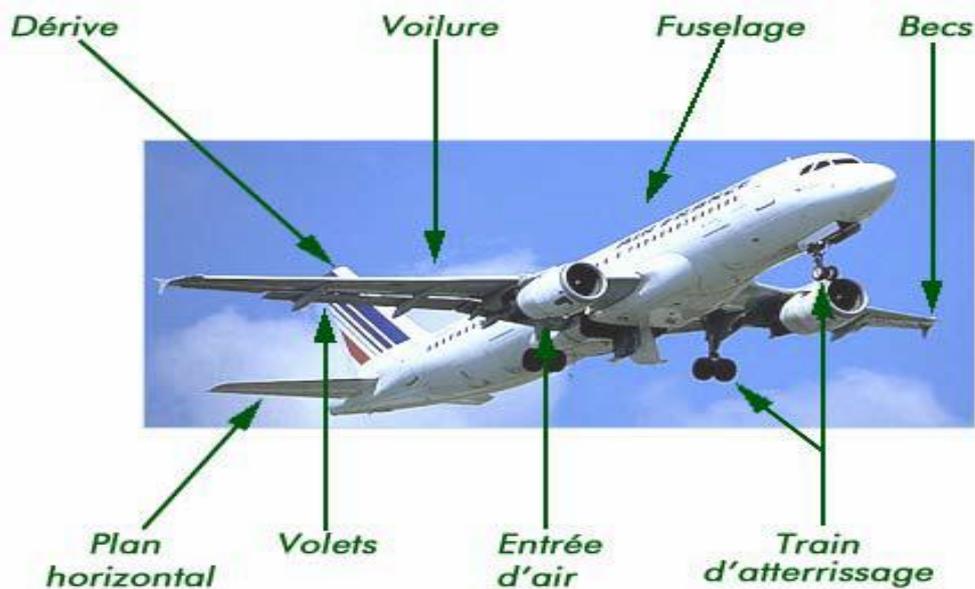


Figure 2- les principaux éléments qui contribuent au bruit aérien

Le bruit produit par les aéronefs lors de leur stationnement (essais moteurs) ou de leur roulage au sol peut-être une source de nuisances sonores également pour les riverains des aérodromes.

Le bruit des hélicoptères a quant à lui trois origines : le bruit du rotor principal, le bruit du rotor anti-couple et le bruit moteur.

II. La réglementation acoustique internationale

Le bruit engendré par les aéronefs reste une des nuisances sonores les plus durement ressentie par la population. Les états, les aéroports se sont préoccupés de le limiter par voie réglementaire.

Des normes internationales ont été exigées pour minimiser les nuisances sonores. Ces normes sont définies par l'organisation d'aviation civile internationale dans un document intitulé l'annexe 16 « protection de l'environnement Volume I bruit des aéronefs ».

Malgré l'augmentation du trafic aérien dans le monde entier, cette réglementation vise à réduire le bruit aérien. Pour cette raison l'OACI incite les constructeurs et les exploitants des aéronefs à l'utilisation des technologies de réduction des nuisances les plus performantes, compatibles avec les impératifs de sécurité et de fiabilité économique.

Certification acoustique des aéronefs

Avant sa mise en exploitation, chaque couple avion / motorisation fait l'objet de mesures très précises de ses différents niveaux de bruit dans les 3 phases de vol décollage à pleine puissance / approche / survol : c'est l'objet de la certification acoustique réglementée par l'OACI.

L'unité de base pour la certification des avions à réaction est le EPNDB qui se caractérise par une forte pondération des fréquences moyennes à élevées fortement génératrices de gêne.

Pour les avions à réaction subsonique qui constitue la source essentielle des nuisances sonores au voisinages d'aérodromes, une réglementation a été établie au début des années 1970 et avant le 6 octobre 1977 et énoncée au chapitre 2 de l'annexe 16 d'OACI, définit les niveaux de bruit maximaux en fonction des différentes catégories d'aéronefs et de la masse au décollage.

Cette évolution amène à classer les avions de transport à réaction en **trois générations**, dont chacune représente une diminution par rapport à la précédente d'au moins 50 % en niveau d'énergie acoustique :

-les avions à réaction subsonique certifiés avant le 6 octobre 1977 selon le chapitre 01 de l'annexe 16 d'OACI.

-les avions à réaction subsonique certifiés entre l'année 1970 et avant le 6 octobre 1977 selon le chapitre 02 de l'annexe 16 d'OACI.

-les avions à réaction subsonique certifiés entre le 6 octobre 1977 ou à une date ultérieure et avant le 1er janvier 2006 selon le chapitre 03 de l'annexe 16 d'OACI.

III. Le plan d'exposition au bruit PEB

La loi n°85-696 du 11 Juillet 1985 relative à l'urbanisme au voisinage des aérodromes a instauré les plans d'exposition au bruit (PEB) dont l'objet est de permettre un développement maîtrisé des communes avoisinantes sans exposer de nouvelles populations au bruit engendré dans certaines zones par l'exploitation des aéroports.

Il s'agit de protéger les aéroports d'une urbanisation galopante et en particulier d'empêcher de nouvelles populations de s'installer aux abords d'un aéroport.

1. Définition

Les plans d'exposition au bruit (PEB) délimitent des zones (A, B et C) à l'intérieur desquelles des prescriptions d'urbanisme sont définies (allant jusqu'à l'interdiction de construire dans les zones les plus exposées), compte tenu des hypothèses de trafic (sur dix à quinze ans). A ce titre, les PEB doivent être annexés aux PLU (Plan Locaux d'Urbanisme) des communes concernées et sont opposables à toute demande de construction. La loi du 12 Juillet 1999 a ouvert la possibilité de doter les PEB d'une 4^{ème} zone, dite zone D. Dans cette zone, les constructions sont permises sous réserve de respecter des normes spécifiques d'isolation (La définition d'une zone D est obligatoire pour les 9 principaux aéroports et facultative sur les autres plates-formes).

Il est de la responsabilité des élus de faire en sorte que les PEB soient les plus larges possibles, soient défendus et respectés, construits en pleine campagne soient aujourd'hui dans la situation que l'on connaît). Sur la base des recommandations de l'ACNUSA, un nouveau décret signé en Avril 2001 a modifié les règles d'établissement de ces plans. Tous les PEB en vigueur devront être révisés selon ces nouvelles règles d'ici au 31 décembre 2005. L'utilisation d'un nouvel indice de planification, le Lden conforme aux recommandations européennes, ainsi que le choix de valeurs adaptées à cet indice, amèneront un élargissement substantiel des zones du PEB.

2. Schéma Type d'un PEB

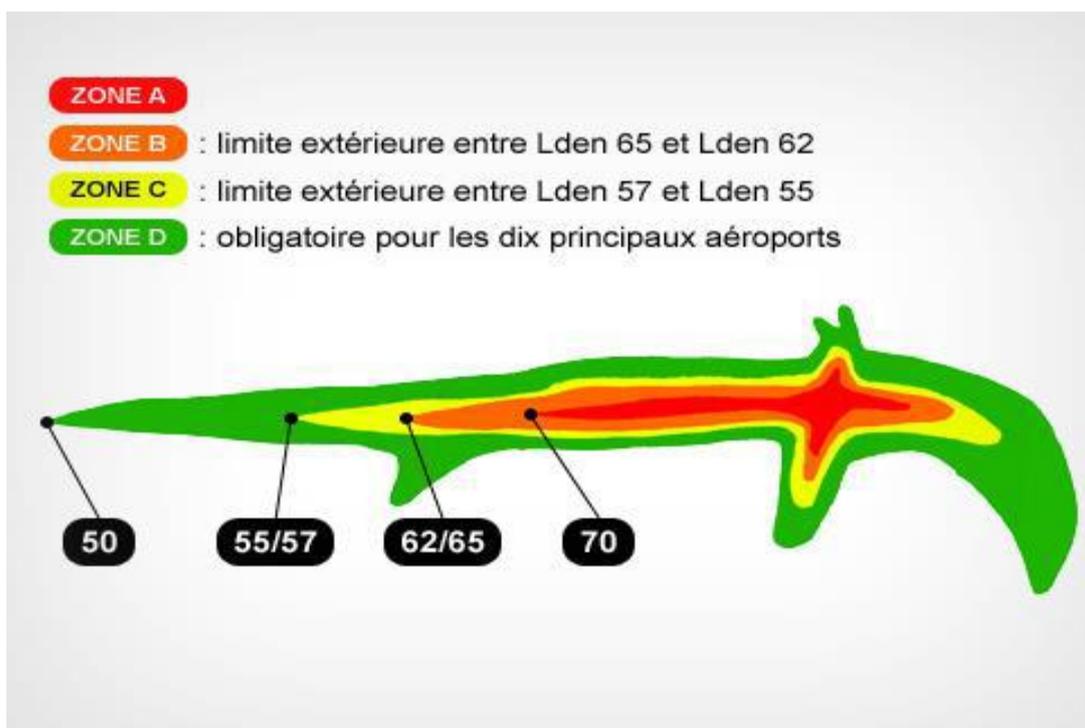


Figure 3-Schéma type d'un plan d'exposition au bruit

L'importance de l'exposition est indiquée par les lettres A, B, C, ou D.

Zone A : Exposition au bruit très forte.

Zone B : Exposition au bruit forte.

Zone C : Exposition au bruit modérée.

Zone D : Exposition au bruit faible.

IV. Le plan de gêne sonore PGS

Alors que le PEB est un outil de maîtrise de l'urbanisme (à échéance de 10 ou 15ans), le PGS (instauré par la loi n°92-1444 du 31 décembre 1992) est un outil permettant à court terme l'aide aux riverains des aérodromes en matière d'insonorisation des logements. Le PGS définit les zones –hors PEB- à l'intérieur desquelles les riverains peuvent demander une aide.

Il se présente sous forme d'un rapport et d'une carte à l'échelle 1/25 000 indiquant 3 types de zones :

- la zone 1 dite de très forte nuisance comprise à l'intérieur de la courbe d'indice Lden 70.
- la zone 2 dite de forte nuisance, entre la courbe d'indice Lden 70 et Lden 65 ou 62.
- la zone 3 dite de nuisance modérée inclut entre la limite extérieure de la Z2 et Lden 55.

V. Méthode d'élaboration des cartes

La modélisation du bruit des aéronefs autour des aéroports repose sur trois composantes :

- ✚ Une méthode de calcul de bruit implémentée dans un programme informatique ;
- ✚ Une base de données des aéronefs nécessaire pour caractériser finement les émissions sonores de chaque appareil ;
- ✚ Des données relatives aux infrastructures, au trafic, aux trajectoires et aux conditions d'exploitation propres à chaque aéroport.

La méthode de calcul de bruit ainsi que la base de données aéronefs sont harmonisées au niveau international et utilisées de la même manière quels que soient le type de carte de bruit et la taille de l'aéroport étudié. Les documents de référence en la matière sont le doc 9911 de l'OACI et le doc 29 de la CEAC, 3e édition. Ce référentiel technique international devrait être également officiellement reconnu par les instances communautaires dans le cadre de la prochaine révision de la directive 2002/4913.

Cette méthode harmonisée au niveau international a été initialement développée pour le calcul des contours de bruit autour des aéroports civils, les hélicoptères et l'aviation militaire n'étant pas inclus dans le champ d'application originel du doc 29 et du doc 9911. Toutefois, en l'absence d'autres méthodologies opérationnelles spécifiques définies au niveau international, la DGAC a fait le choix d'utiliser les mêmes outils logiciels pour l'ensemble des aéroports quelle que soit la typologie du trafic.

Le bruit des aéronefs au sol (roulage, essais moteurs, APU), qui n'est la plupart du temps pas dimensionnant par rapport au bruit généré pendant des phases d'atterrissage et de décollage, n'est pas traité dans cette méthode. À l'inverse, l'ensemble des phases de vol sur la piste (y compris la mise en puissance avant le décollage et l'activation des inverseurs de poussée à l'atterrissage) est bien couvert par la méthode de modélisation du bruit décrite ci-dessous.

✚ Le moteur de calcul

La méthode de calcul définie au niveau international ne renvoie pas vers un outil logiciel spécifique. Pour les cartes de bruit dont elle a la charge, la DGAC a fait le choix d'utiliser le logiciel INM développé par l'administration américaine de l'aviation civile (FAA) et compatible avec la méthode de calcul harmonisée au niveau de l'OACI et de la CEAC.

En l'état actuel des connaissances, la méthode dite « de segmentation » - méthode intermédiaire entre les modèles simples (calcul de la plus courte distance à la trajectoire de vol) et les simulations intégrales est le meilleur compromis coût/efficacité/faisabilité/précision pour calculer des courbes de bruit autour des aéroports.

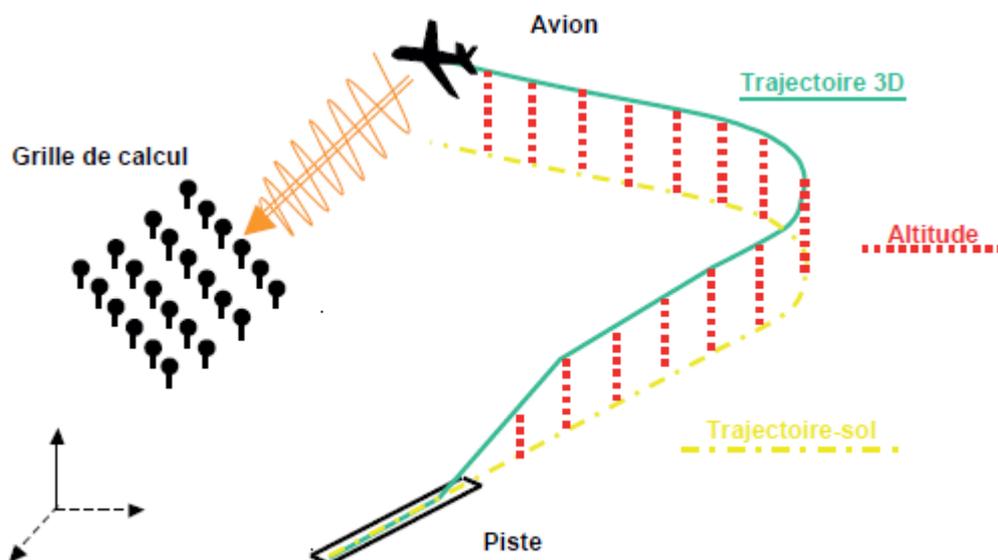
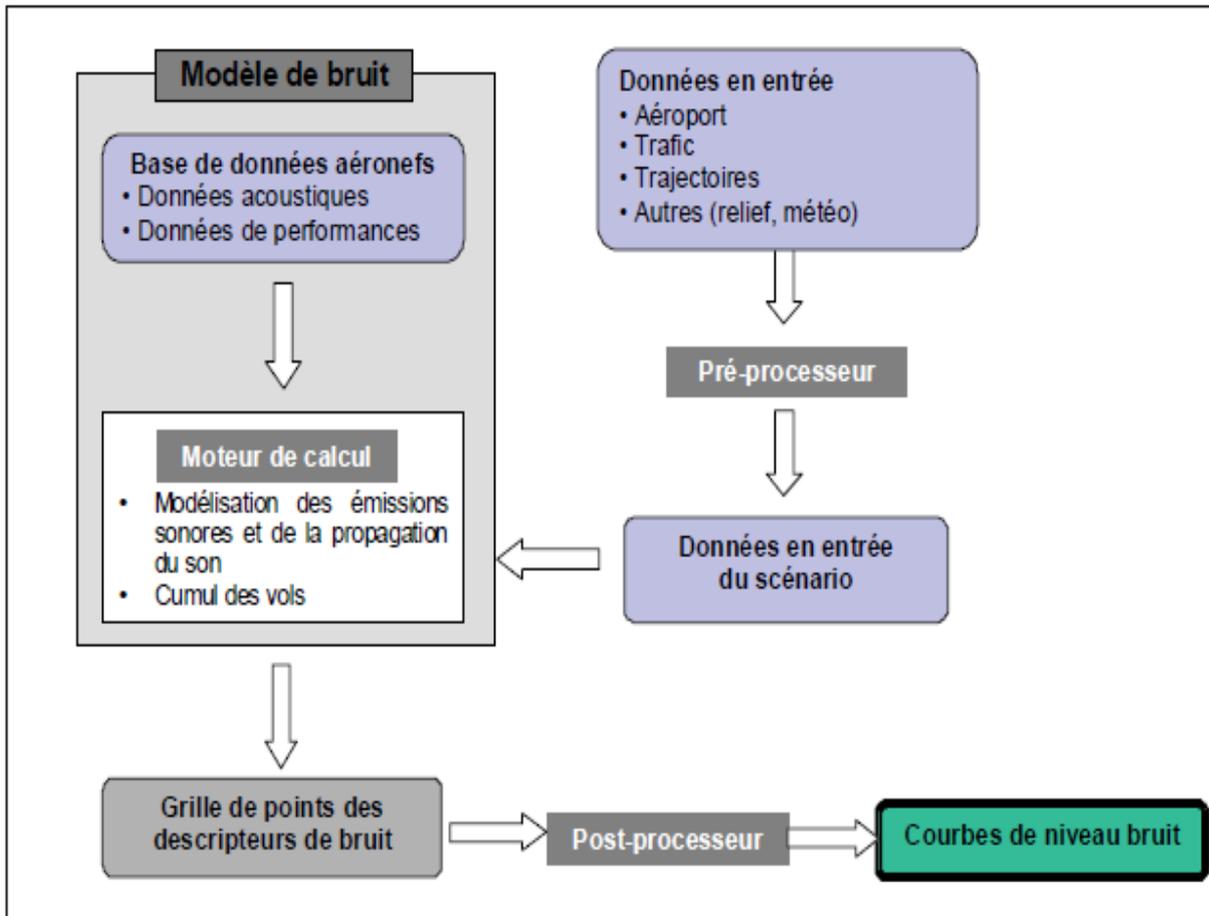


Figure 4- Modèle de bruit

La méthode de segmentation consiste tout d'abord à découper la trajectoire d'un avion en plusieurs segments et à évaluer la contribution de chaque segment au niveau d'exposition au bruit induit par le passage de l'avion à partir :

- ✚ de la distance source récepteur au sol,

- ✚ des données acoustiques et de performance spécifiques à chaque aéronef (données issues de l'ANP),
- ✚ de la directivité latérale de la source induite par les effets d'installation des moteurs¹⁴,
- ✚ et de l'atténuation latérale du bruit (effet de sol).

Les « fractions de bruit » des segments significatifs (ceux qui contribuent de manière significative au niveau de bruit généré par le passage de l'avion) sont ensuite additionnées.

Le module de bruit calcule ainsi les niveaux de bruit en des points discrets d'une grille de calcul prédéfinie.

Ces valeurs sont les données entrantes d'un post-processeur qui génère des courbes isophones.

La valeur de l'indice Lden (ou ln) est finalement obtenue par sommation énergétique des niveaux sonores calculés pour chaque passage d'avion en affectant (pour le Lden exclusivement) les pondérations prédéfinies pour les trois périodes jour/soirée/nuit.

La méthode pour le calcul des niveaux sonores induits par chaque passage d'avion est décrite dans le détail dans le volume 2 du document 29 de la CEAC et dans le doc 9911 de l'OACI.

Partie 02 : Méthodologie

I. Introduction

Dans le cadre de notre projet de fin d'étude, nous avons fait un stage pratique au niveau de l'Etablissement National de la Navigation Aérienne aéroport d'Alger –HOUARI BOUMDIENE- du 28 mars 2021 au 08 avril 2021, et à cause de la faible densité du trafic aérien et l'utilisation d'une seule piste 09/27, on a bien choisi les jours où le trafic est important pour avoir des bonnes résultats de mesurage, cette étude a été réalisé à l'aide d'un sonomètre professionnel.

II. Protocole de mesures

1. Matériel de mesure utilisé

Les mesures de bruit ont été réalisées à l'aide d'un sonomètre homologué et étalonné dont les caractéristiques principales sont présentées dans le tableau suivant :

Appareil	Sonomètre
Marque	SM-20-A
Gamme dynamique	50 dB
Résolution	0.1Db actualisation de l'affichage : 0.5 s
Pondération temporelle	Rapide 125ms, lente 1s
Gamme de fréquence	31.5 Hz à 8 kHz
Gamme de niveau de mesure	Gamme automatique
Pondération A	30 à 130 dB
Pondération C	35 à 130 dB
Précision	± 1.5 dB
Cycle d'étalonnage	1 an
Norme Appliquée	CEI 651 type 2, ANSI 1.4 type 2

Tableau 2- Caractéristiques du sonomètre utilisé

Pendant les mesures, les sonomètres étaient placés sur trépied, permettant de les stabiliser et de respecter la position suivante :

- ✚ Entre 1,2 et 1,5 m au-dessus du sol.

4. Conditions météorologiques rencontrées pendant les mesures

Les conditions météorologiques au cours des périodes de mesurage sont synthétisées dans le tableau inséré ci-après. Les données météorologiques sont extraites de la base de données de bureau Météo ENNA.

Date	Plage horaire	Température	Précipitations	Humidité	Vent
30/03/2021	10h__12h	23°C	0%	31%	4KT 77° ENE
31/03/2021	11h__12h	21°C	0%	36%	6KT 55° NE
06/04/2021	10h	18°C	0%	56%	5KT 241°WSW
07/04/2021	10h__11h	16°C	0%	66%	14KT 53° NE

Tableau 3-Synthèse des données météorologiques pour la période de mesurage

Partie 03 : Résultats et Discussions

I. Réalisation des mesures

La campagne de mesures de bruit s'est déroulée sur 4 jours :

1.1 Les mesures du premier point P01 le 30 mars

1.1.1 Décollage d'un B737-800

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
10 :01Z	B737-800	Décollage	75.8 dB	55.9dB

Tableau 4- Décollage B737-800

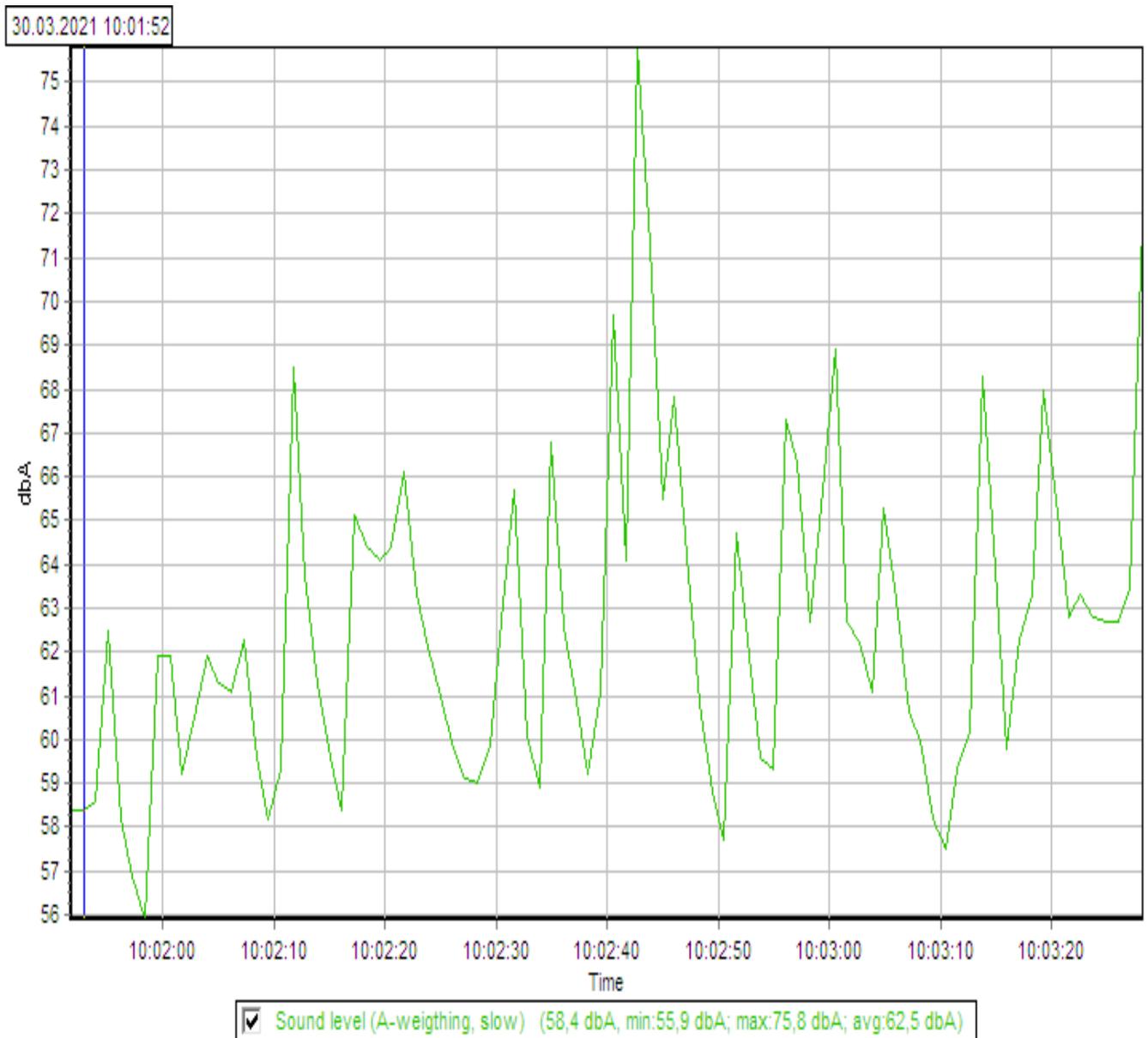


Figure 6-Résultat de mesure de bruit de décollage d'un B737-800

1.1.2 Décollage d'un B737-800 + Roulage et décollage d'un ATR 42

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
10 :50 Z	-B737-800 -ATR 42	-Décollage -Roulage/Décollage	88.4dB	57.3dB

Tableau 5- décollage B737-800 + Roulage/décollage ATR 42

Generic historical graph (#4)

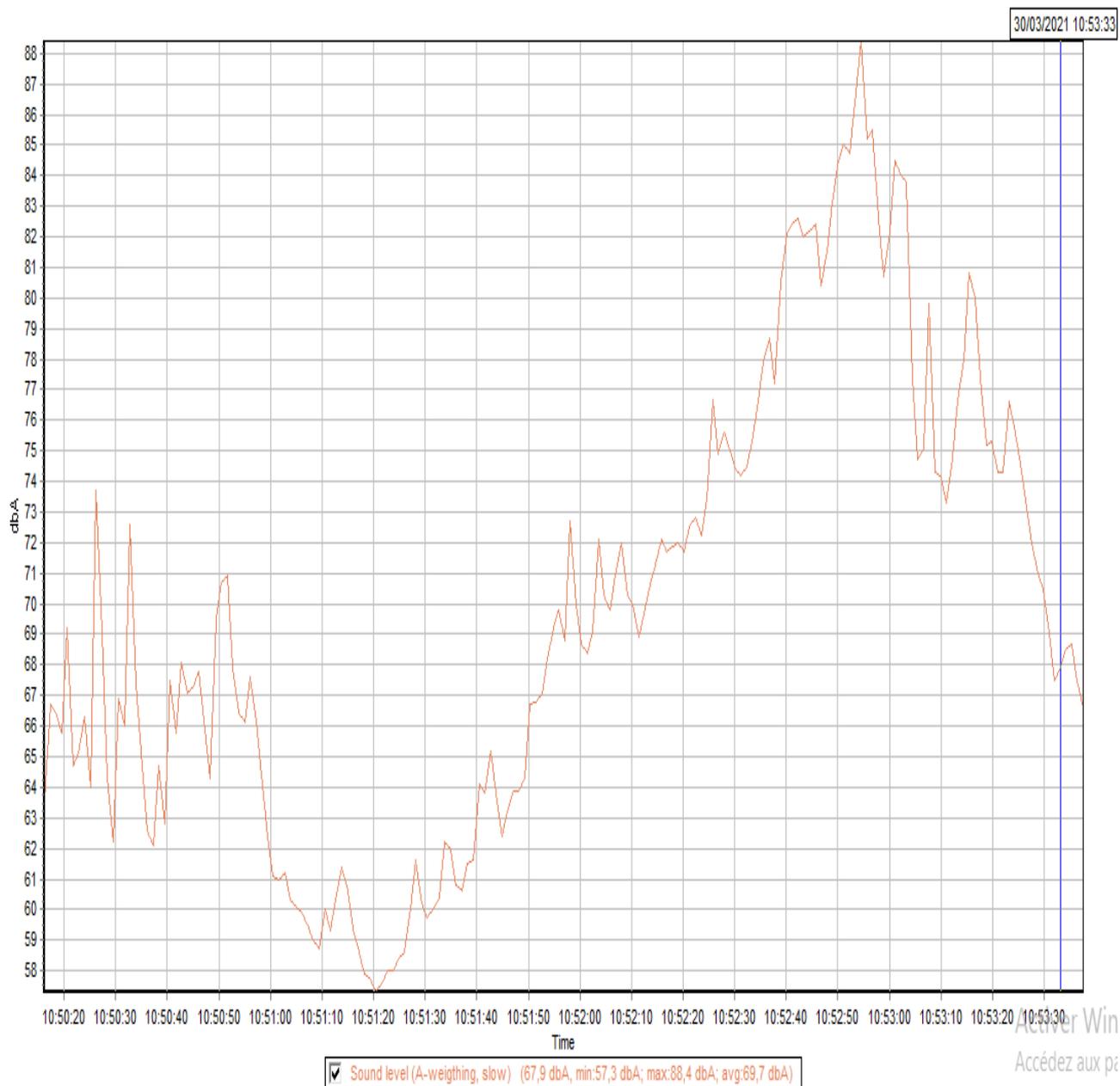


Figure 7- Résultat de mesure de bruit d'un décollage B737-800 + Roulage/Décollage ATR 42

1.1.3. Mise en route, roulage et décollage d'un ATR42

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
11 :17 Z	-ATR42	-Mise en route -roulage et décollage	88.2dB	52.1dB

Tableau 6-Mise en route, roulage/décollage d'un ATR42

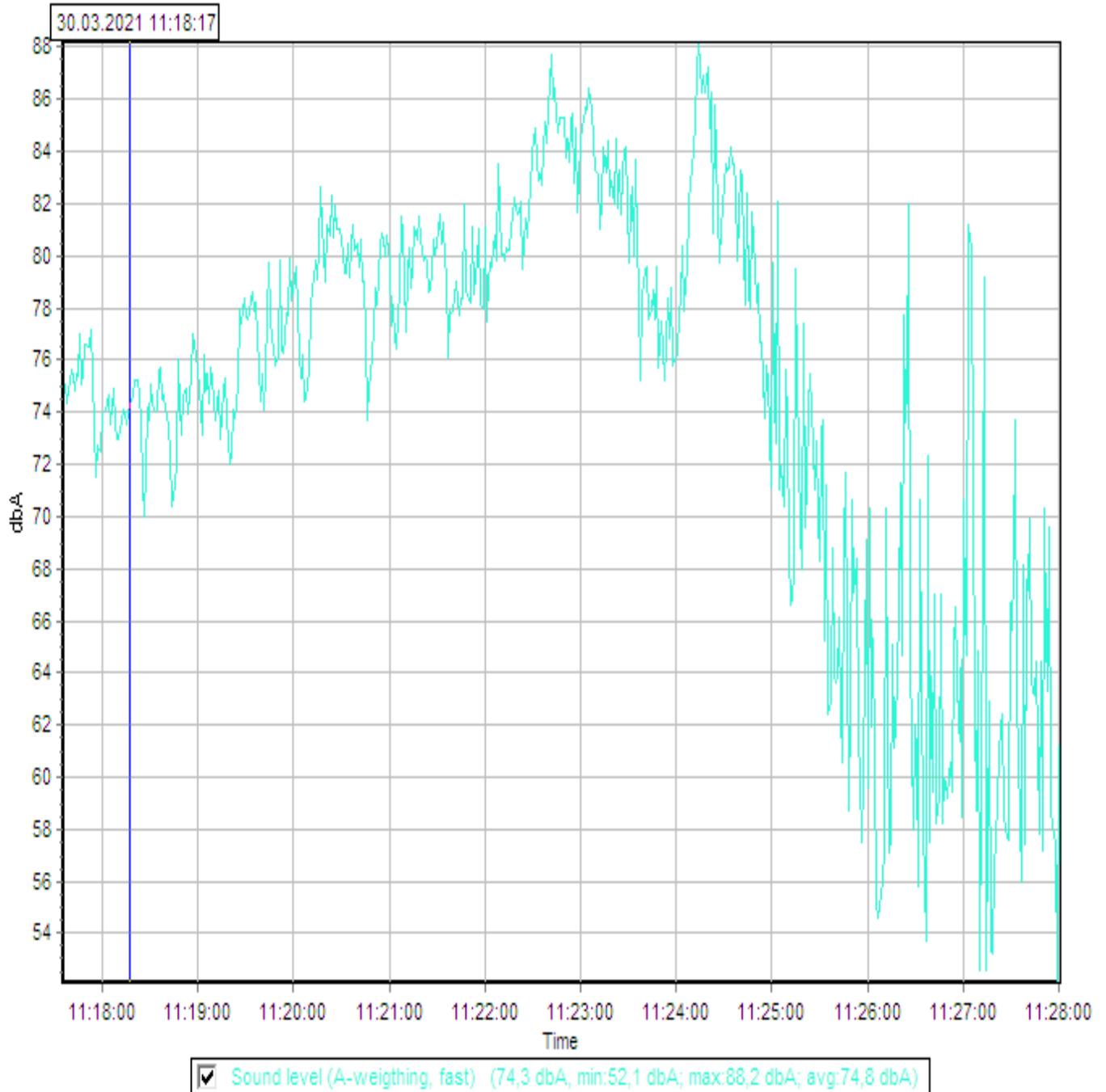


Figure 8- Résultat de mesure de bruit de mise en route, roulage/décollage d'un ATR42

1.1.4. Roulage et décollage d'un B737-800

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
11 :30 Z	-B737-800	-Roulage/Décollage	82.9dB	54.7dB

Tableau 7-Roulage/ décollage d'un B737-800

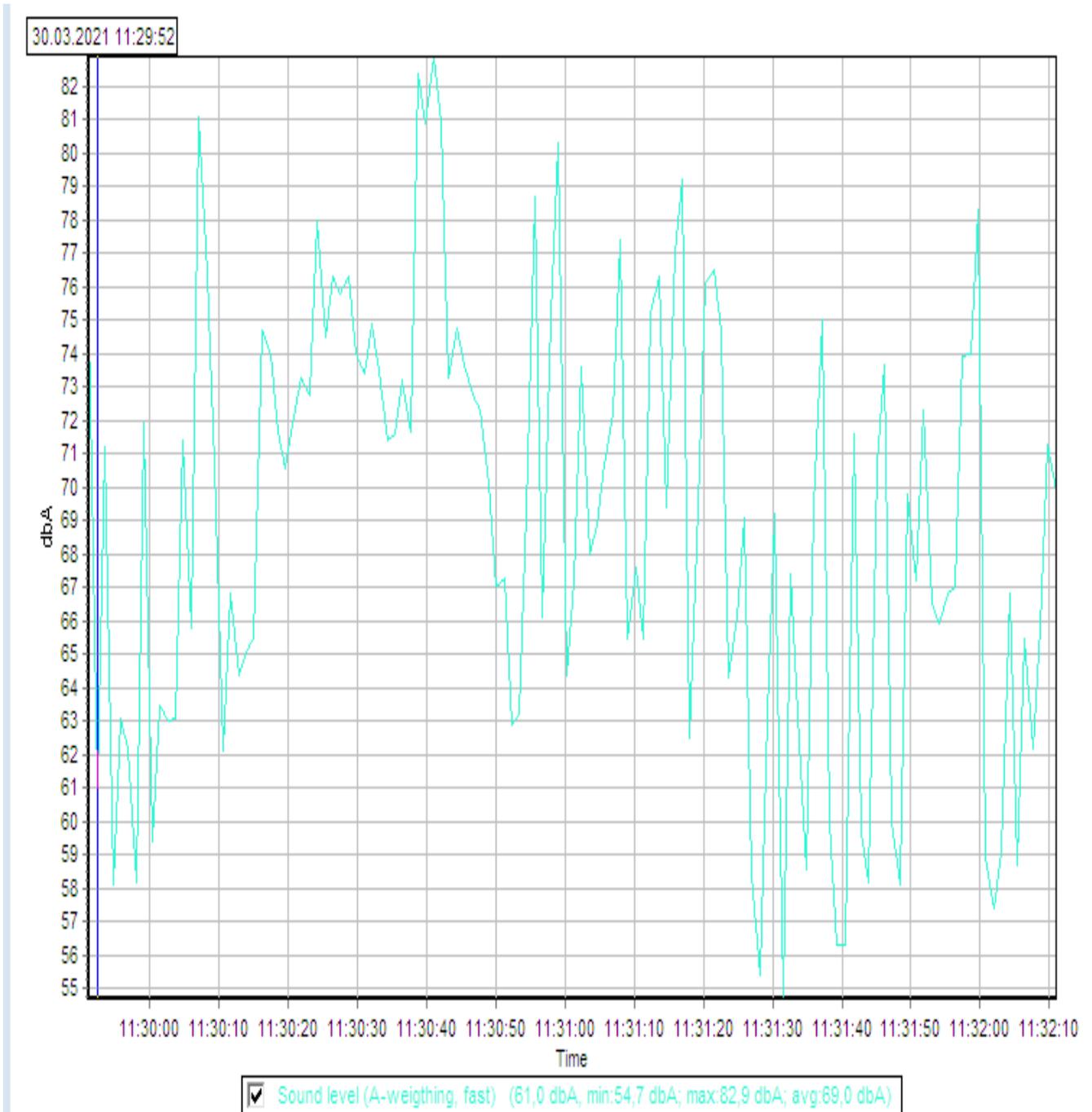


Figure 9-Résultat de mesure de bruit d'un Roulage/ décollage B737-800

1.2. Les mesures du deuxième point A08 le 31 mars

1.2.1 Décollage d'un B737-800

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
11 :39 Z	-B737-800	-Décollage	92.3dB	51.9dB

Tableau 8- Décollage d'un B737-800

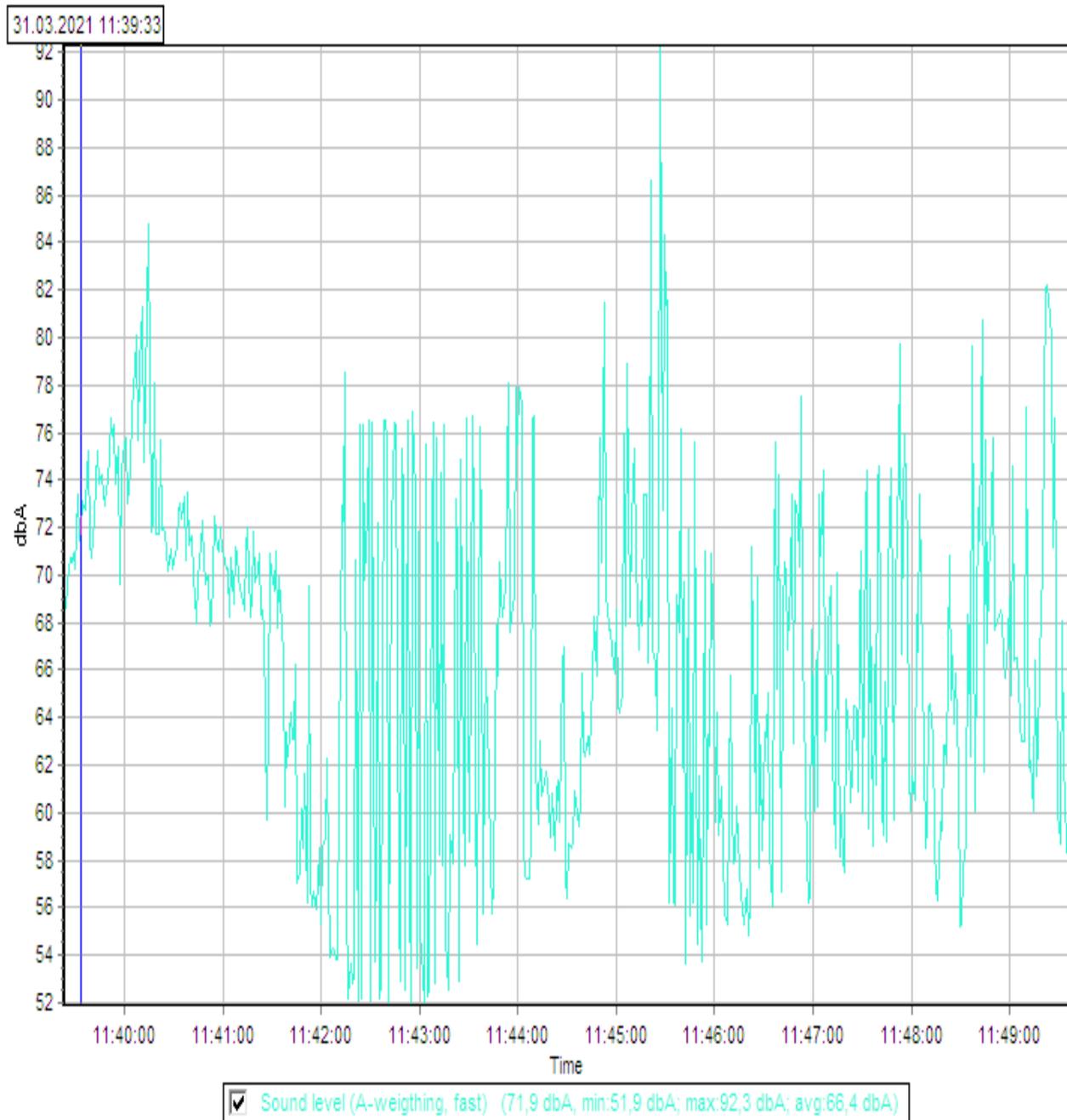


Figure 10-Résultat de mesure de bruit d'un décollage B737-800

1.2.2 Décollage d'un A330-200 et B737-800

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
11 :50 Z	-A330-200	-Décollage	100.5dB	58.8dB

Tableau 9- Décollage d'un A330-200

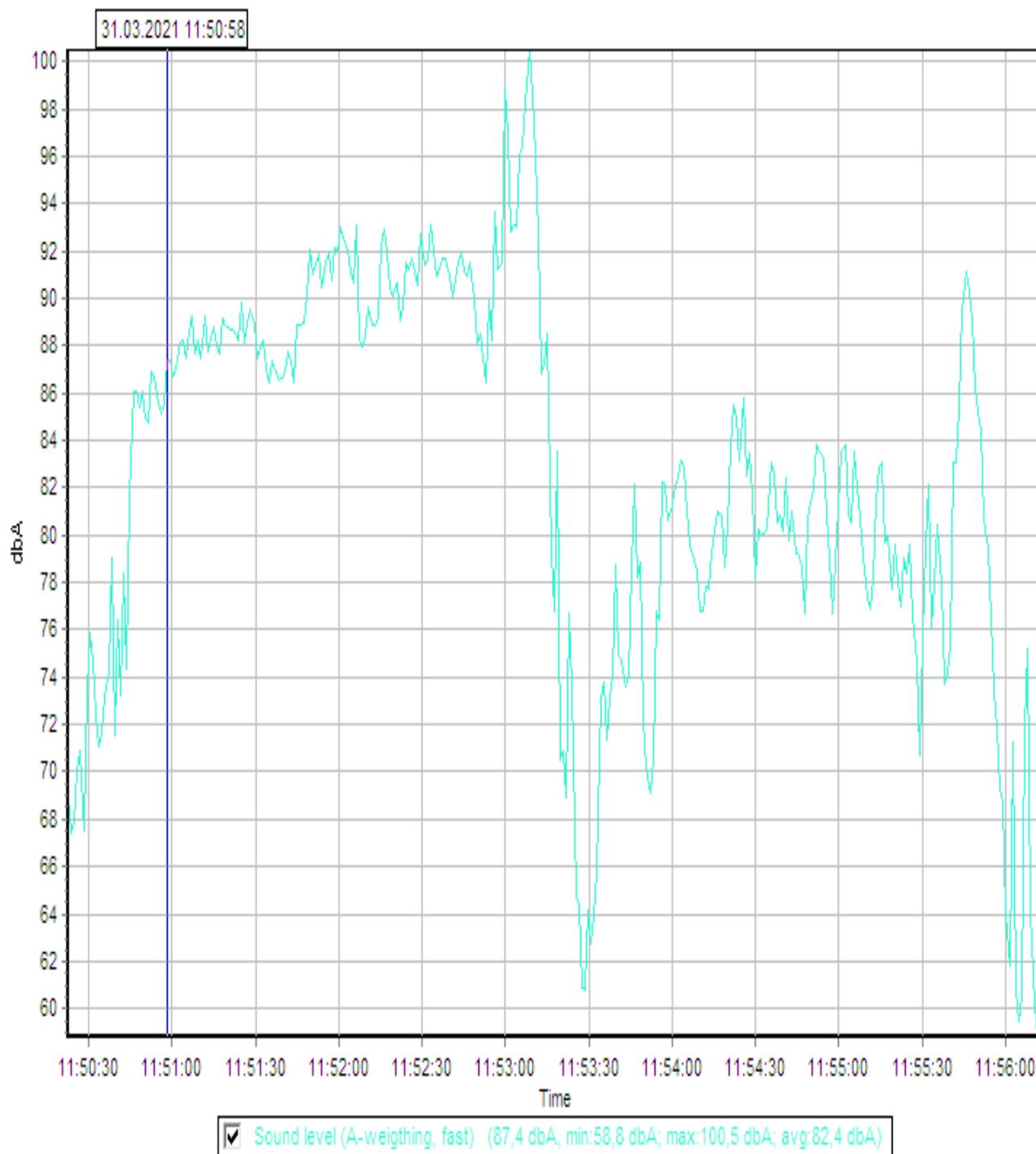


Figure 11-Résultat de mesure de bruit d'un décollage A330-200

1.2.3 Décollage d'un ATR72

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
11 :56Z	-ATR72	-Décollage	94.8dB	55.5dB

Tableau 10-Décollage d'un ATR72

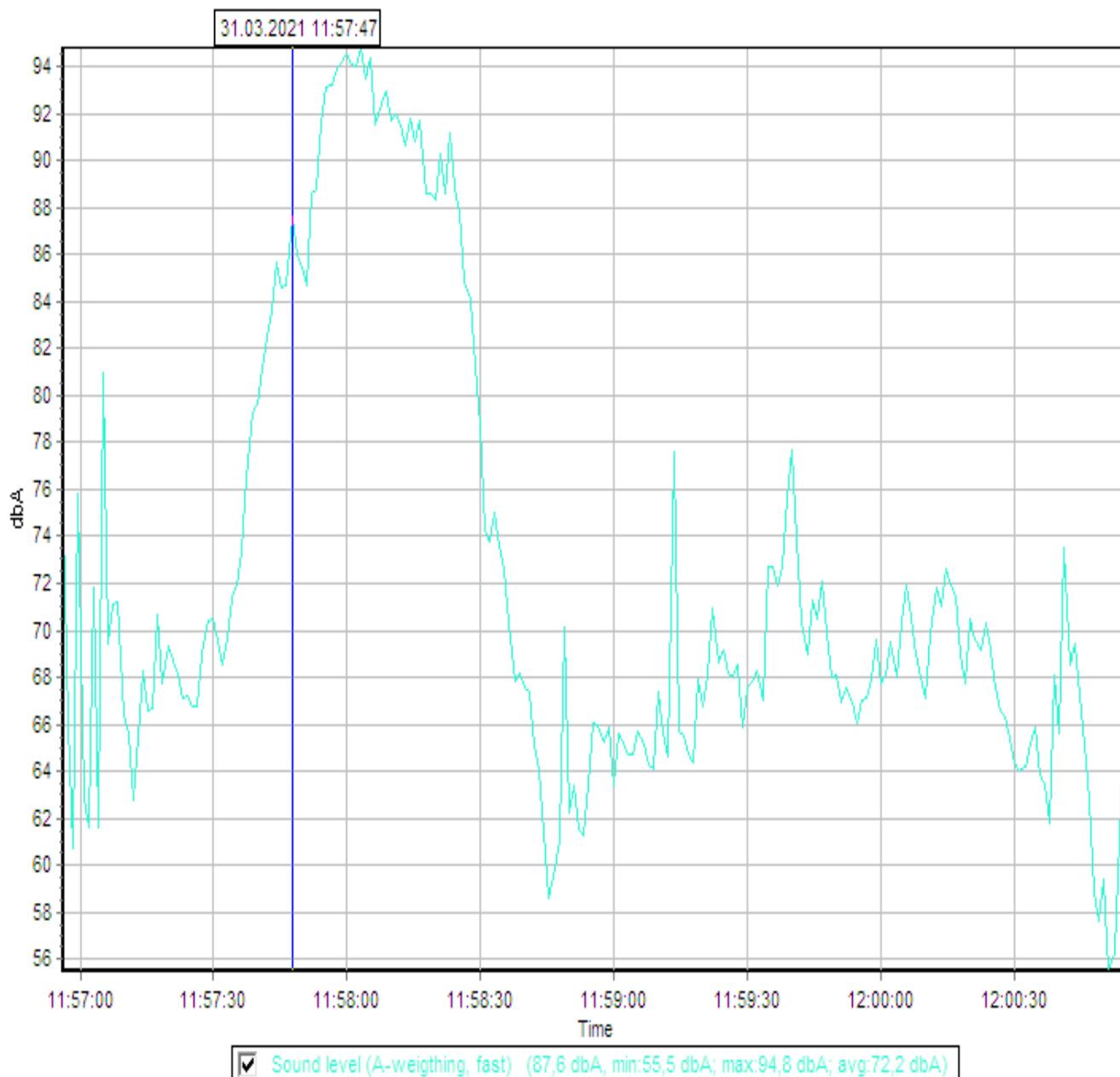


Figure 12-Résultat de mesure de bruit d'un décollage ATR72

1.3 Les mesures du troisième point P10 le 06 avril

1.3.1 Mise en route et roulage d'un B737-800

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
09 :53Z	-B737-800	-Mise en route/Roulage	98.7dB	73.7dB

Tableau 11-Mise en route/Roulage d'un B737-800

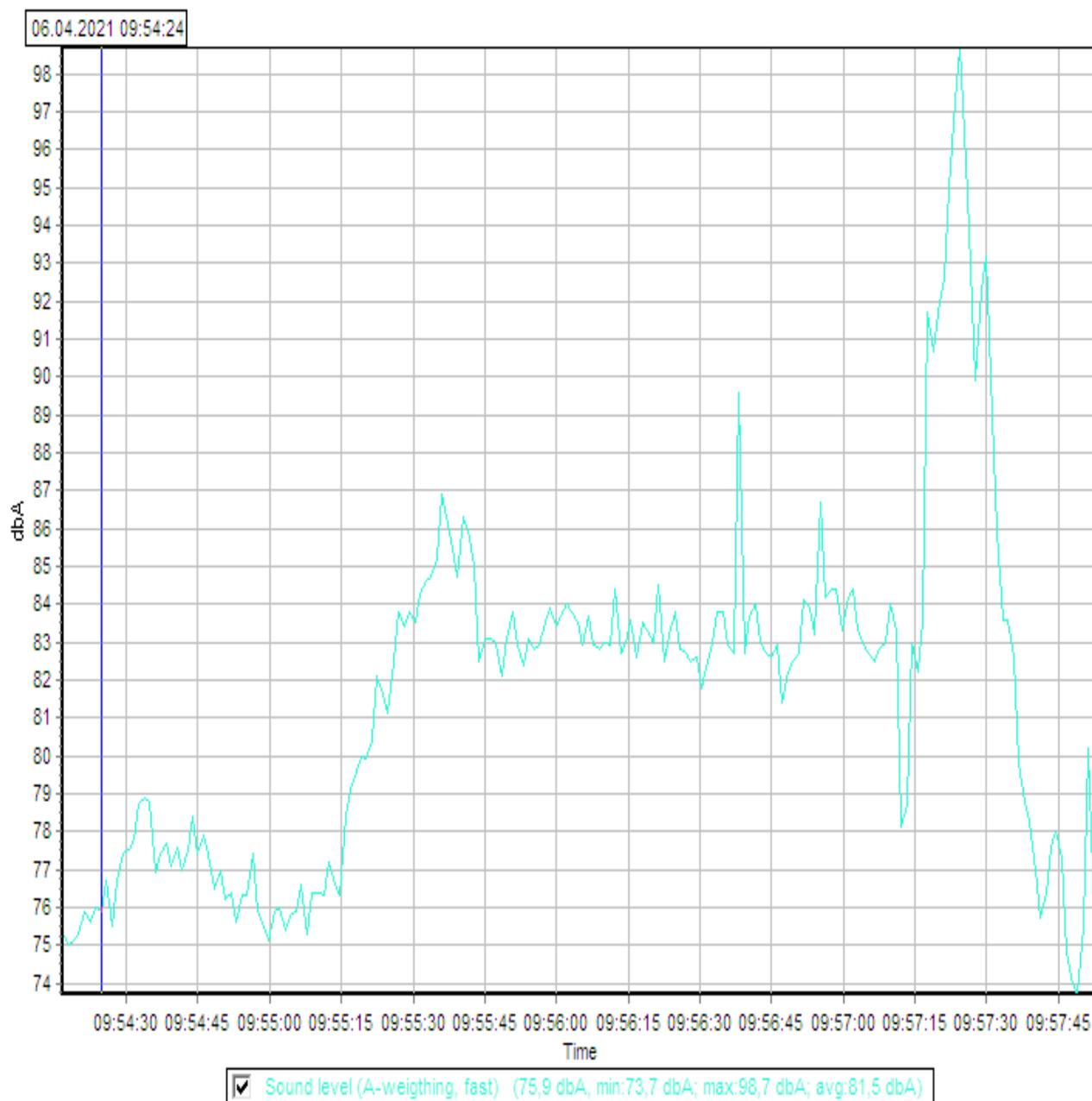


Figure 13-Résultat de mesure de bruit de mise en route et roulage B737-800

1.4 Les mesures du quatrième point extrémité de la piste 09 le 07 avril

1.4.1 Décollage d'un B737-200

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
10 :35Z	-B737-200	-Décollage	93.0dB	57.2dB

Tableau 12-Décollage d'un B737-200

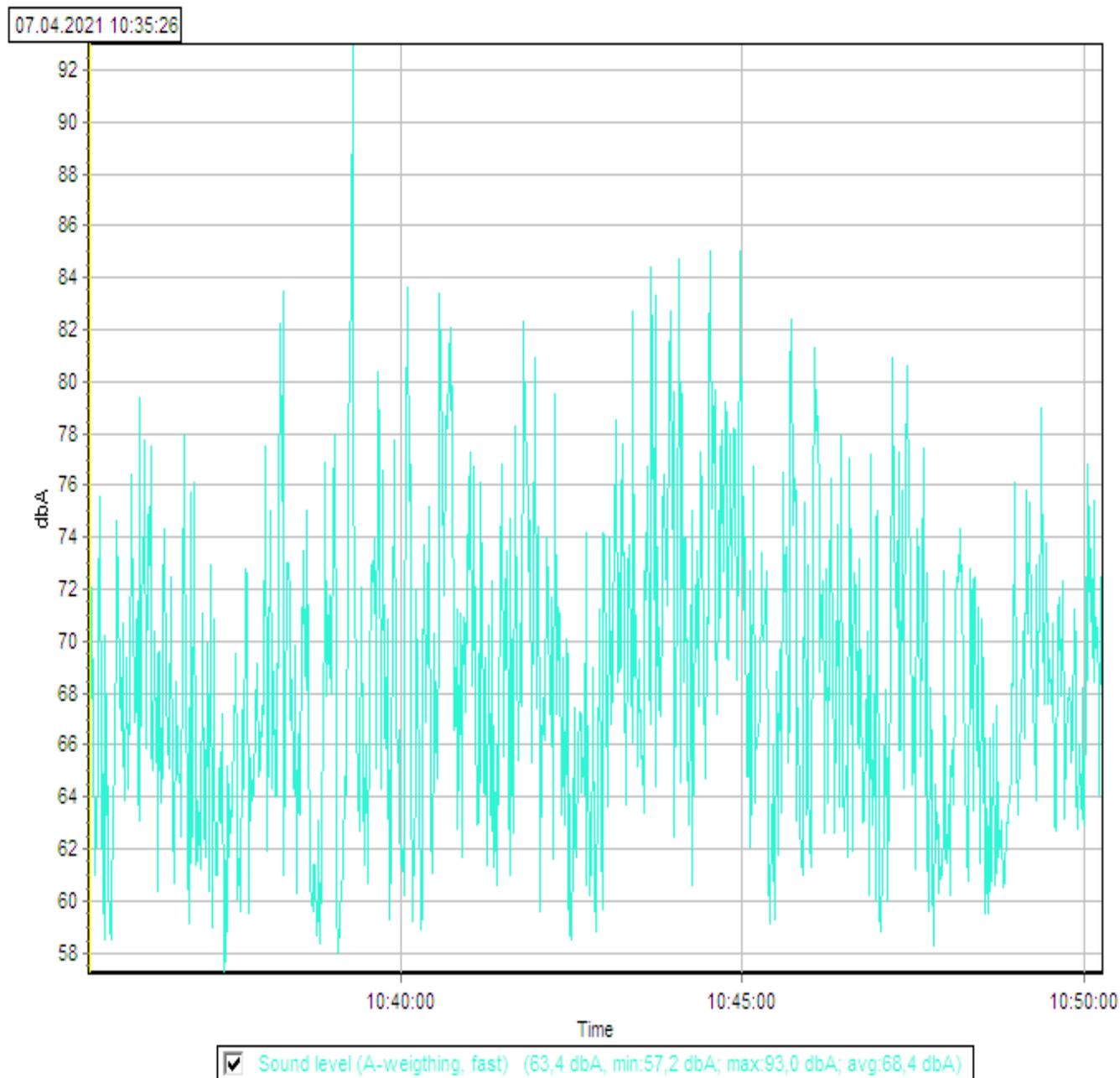


Figure 14-Résultat de mesure de bruit d'un décollage B737-200

1.4.2 Décollage d'un B737-800

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
10 :24Z	-B737-800	-Décollage	75.7dB	54.0dB

Tableau 13-Décollage d'un B737-800

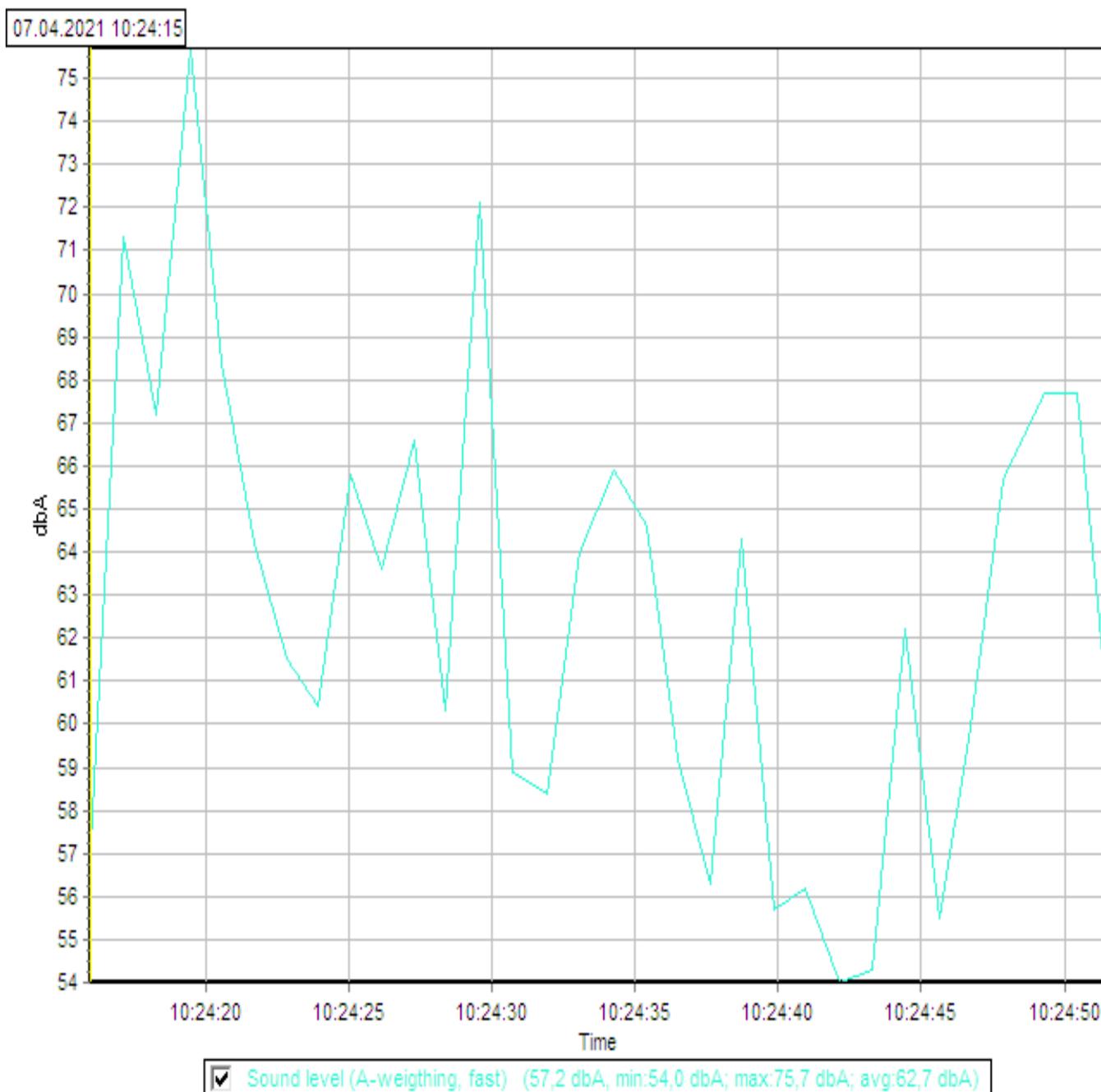


Figure 15-Résultat de mesure de bruit d'un décollage B737-800

1.4.3 Atterrissage d'un ATR42

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
10 :24Z	-ATR42	-Atterrissage	91.0dB	55.1dB

Tableau 14-Atterrissage d'un ATR42

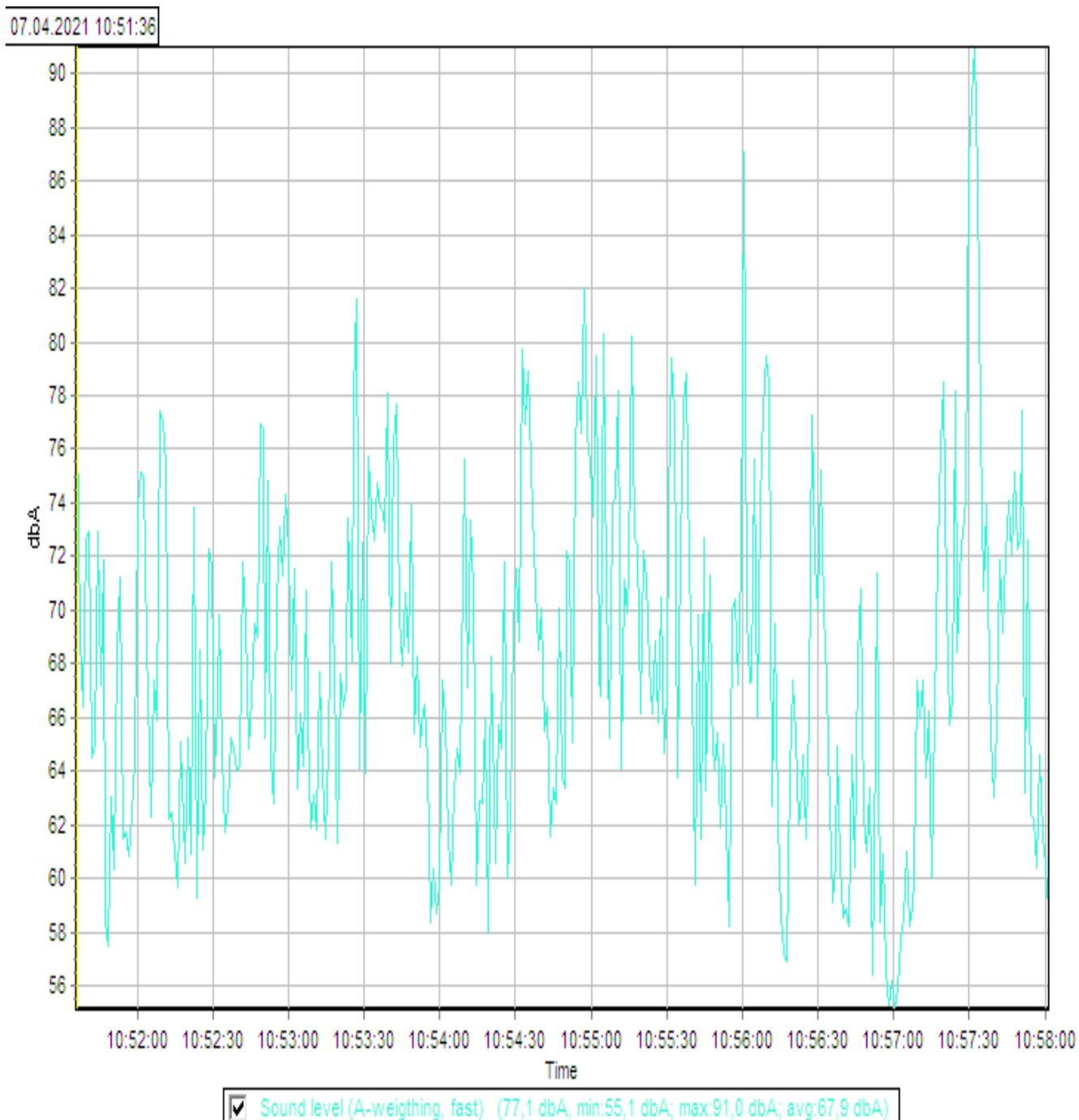


Figure 16-Résultat de mesure de bruit d'atterrissage ATR42

1.5 Les mesures du cinquième point en parallèle de la piste 09/27 le 07 avril

1.5.1 Décollage d'un ATR42

Heure de mesure	Type d'avion	Phase de vol	Valeur maximal	Valeur minimal
11 :11Z	-ATR42	-Décollage	90.9dB	57.1dB

Tableau 15-Décollage d'un ATR42

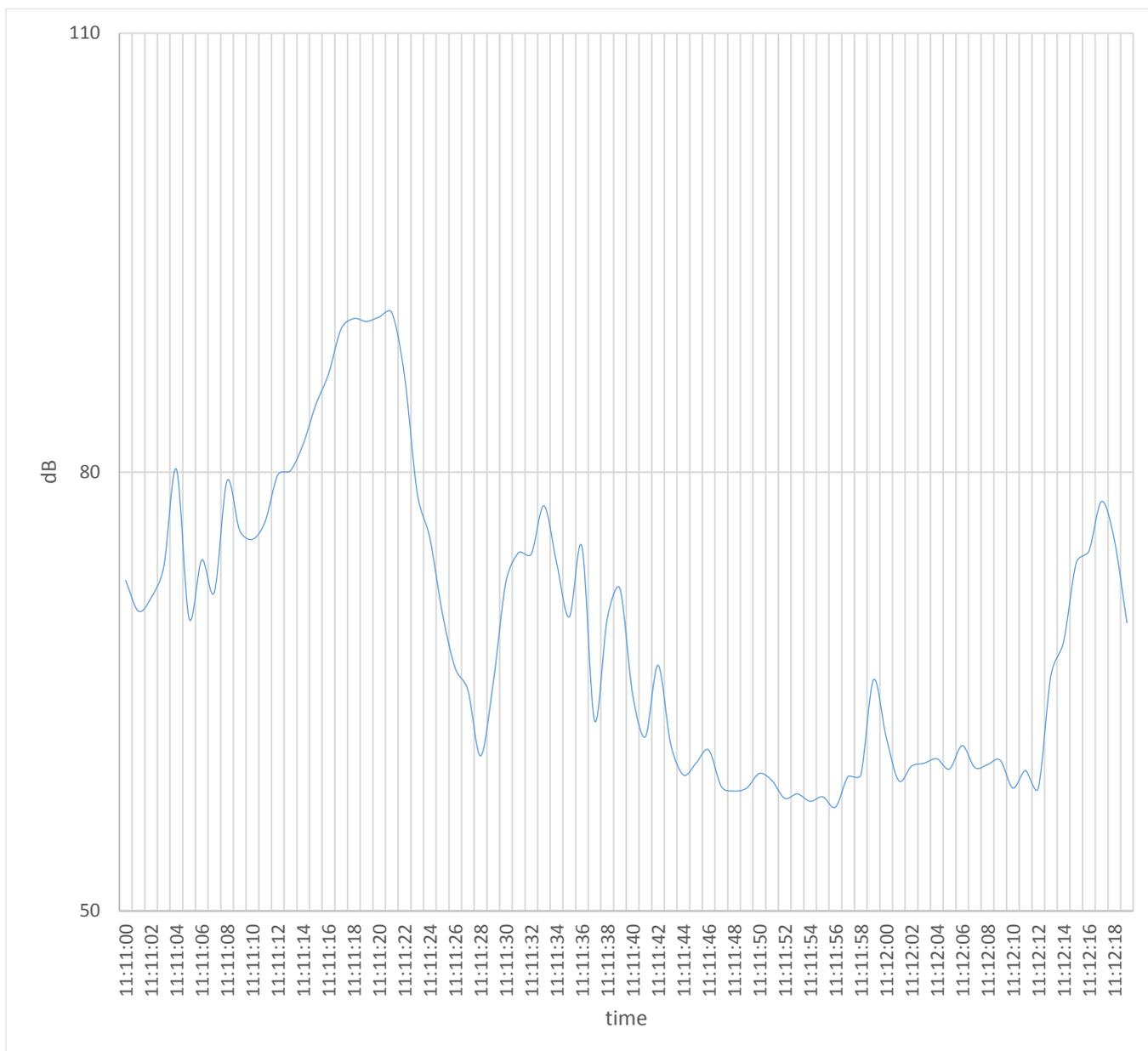


Figure 17-Résultat de mesure de bruit de décollage ATR42

II. Discussion des résultats de mesures de bruit

Les aéronefs génèrent des nuisances sonores qui peuvent vraiment réduire les capacités des travailleurs et aussi gêner la vie des riverains.

L'OMS recommande un seuil maximal acceptable d'exposition au bruit de 80dB sur une journée de travail de 8 heures, si ce le niveau est trop élevé (supérieur à 130dB), toute exposition même de très courte durée est dangereuse.

Les résultats des mesures de bruit et l'évaluation de la conformité réglementaire sont synthétisés dans le tableau ci-après :

Période de mesurage				
Points	Type d'avion	dBmin(A)	dBmax(A)	Seuil maximal acceptable
01	B737-800	55.9	75.8	80dB(A)
	B738+ATR42	57.3	88.4	
02	ATR42	52.1	88.2	
	B737-800	54.7	82.9	
03	B737-800	51.9	92.3	
	A330-200	58.8	100.5	
	ATR72	55.5	94.8	
04	B737-200	57.2	93	
	B737-800	54	75.7	
	ATR42	55.1	91	
05	ATR42	57.1	90.9	

Tableau 16-Les résultats des mesures de bruit et l'évaluation de la conformité réglementaire

On note qu'il y a quelques avions qui ont dépassés le seuil de douleur tel que l'A330-200 avec 100.5dB, le dépassement du seuil minimal était d'une manière ponctuel et parfois d'une manière spectrale (large bande)

Au regard des seuils d'émissions sonores prescrits dans l'annexe 16 d'OACI et dans les règlements d'OMS, nos mesures en tous points ne sont pas conformes à la réglementation.

Remarque : dans quelques mesures, il est difficile de statuer sur le caractère impulsif du bruit émis par les avions, notamment en raison des évènements sonores ponctuels qui peuvent survenir ou les bruits parasites (passage de camions, voitures...) qui peuvent être nombreux et perturbateurs de l'analyse.

D'une manière générale, notre étude pratique sur les nuisances sonores confirme qu'il y a des dépassements considérables de bruit.

Ce bruit peut avoir de sérieuses incidences sur la qualité de vie des personnes directement concernées, c'est un agent majeur de stress environnemental qui peut avoir un impact négatif sur la vie quotidienne. Les effets du bruit peuvent aller d'une simple gêne vers une réduction de la performance au travail, la perturbation du sommeil voire jusqu'au déclenchement de maladies cardio-vasculaires et au déficit auditif, ce qui nécessite de mettre en place des solutions pour lutter contre ces nuisances dans l'objectif principale de protéger la santé des travailleurs et de ceux qui vivent à proximité de l'aéroport de tout risques.

Conclusion

L'étude préliminaire consacrée aux nuisances sonores au niveau de l'Aéroport d'Alger HOUARI BOUMEDIENE a démontré l'existence du dépassement du seuil de douleur selon les exigences de l'OMS pour la majeure partie du trafic aérien choisi.

Le bruit a toujours existé et existera toujours, depuis le développement aéronautique, il est considéré comme un facteur majeur de gêne sonore autour des aéroports, il favorise des maladies cardiovasculaires, il est source de fatigue, d'irritabilité et de stress même à un niveau inférieur à 80 dB(A).

En effet, de nouvelles réponses peuvent être apportées pour limiter ce problème principalement disponibilité futur du grille de calcul de bruit et une station de mesure de bruit, la modélisation du bruit des aéronefs se base sur trois étapes : la méthode de calcul de bruit en utilisant un programme informatique, une base de données d'aéronefs, données relatives aux infrastructures, trafic, aux trajectoires et aux conditions d'exploitation propres à chaque aéroport.

On souhaite la prise en charge effective du problème de nuisance sonore par la DACM au niveau des principaux aéroports où la densité du trafic est importante, en mettant les moyens ci-dessus cités disponibles.

Références Bibliographiques

[1] : Annexe 16 à la convention relative à l'aviation civile internationale _protection de l'environnement VOL 1 Bruit des aéronefs.

[2] : Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores ACNUSA.

[3] : Centre de connaissance belge sur le bien-être au travail BeSWIC.

[4] : Elaboration des cartes de bruit autour des aéroports, services technique de l'aviation civile 3eme édition, février 2014.

[5] : J. Parant. Les nuisances acoustiques autour des aéroports. Journal de Physique IV Proceedings, EDP Sciences, 1994.

[6] : Notions acoustiques et indices de gêne Bruxelles environnement-IBGE, collection fiches documentées, thématique bruit.

[7] : Vedura, société spécialisée dans l'information, l'éducation, le conseil et la formation au développement durable.

[8] : Cours Master 01 Bruit et Environnements à l'institut d'aéronautique et des études spatiales de Blida.

[9] : La loi n°85-696 du 11 juillet 1985 relative à l'urbanisme_ France.

[10] : La loi n°92-1444 du 31 décembre 1992_ France.

Annexe A : les effets du bruit des aéronefs sur la santé

I. Les effets auditifs d'une exposition au bruit

L'oreille est exposée à différents agents traumatisants : chocs directs, effets des variations pressionnelles et traumatismes acoustiques.

La fragilité du système auditif est aussi due aux caractéristiques anatomiques, histologiques et physiologiques de l'oreille interne.

Les effets du bruit sur l'audition sont de deux types :

La fatigue auditive qui est temporaire et les pertes auditives partielles ou totales qui sont irréversibles.

La nocivité du bruit est liée à certains de ses paramètres à savoir sa qualité, sa pureté, son intensité, son émergence et son rythme, mais aussi à la durée d'exposition, la vulnérabilité individuelle, et l'association avec d'autres expositions à risque.

Plus un niveau de bruit est élevé, plus la durée d'exposition pouvant causer des lésions auditives est courte.

Le seuil de nocivité pour une exposition d'une durée de huit heures est de 80 dB(A).

En dessous de 80 dB(A), aucune fatigue mécanique n'apparaît. Au-delà de 80 dB(A), le bruit peut endommager, de façon irréversible, les structures de l'oreille interne et peut mener à une surdité totale ou partielle. À 120 dB(A), le bruit procure une sensation douloureuse.

Une exposition de quelques secondes à des niveaux de 120 à 140 dB(A) suffit à provoquer des dégâts irréversibles. Une exposition chronique à des niveaux de bruit élevés, ou particulièrement intenses, peut également provoquer des sifflements d'oreilles ou des bourdonnements appelés acouphènes, Ces derniers peuvent s'installer de façon définitive.

Une étude menée chez des employés de zones aéroportuaires a montré une perte auditive liée à l'exposition continue au bruit des avions.

Autour des aéroports, des études ont montré des liens significatifs entre l'exposition au bruit des avions à un niveau élevé et la perte d'audition. En outre, des lésions des organes internes de l'appareil auditif causées par l'exposition au bruit des avions à des niveaux pouvant atteindre 100 dB(A) pendant un survol, ont été trouvées chez les enfants vivant à proximité d'un aéroport. Ces lésions ont aussi été observées chez des adultes exposés fréquemment

Au bruit des avions ($L_{dn} > 75 \text{ dB(A)}$). Chez les travailleurs liés à la coordination de la circulation routière, la prévalence de la perte d'audition due au bruit routier est plus élevée pour les travailleurs des milieux les plus bruyants (L_{Aeq} compris entre 71 et 80 dB(A) et L_{Amax} pouvant atteindre 108 dB(A)).

II. Les effets biologiques extra-auditifs du bruit

Outre les effets du bruit sur l'audition, d'autres effets physiologiques et psychosociologiques peuvent exister.

1. Bruit et stress

Le bruit stresse et rend malade. Des niveaux sonores élevés entraînent des lésions auditives irréversibles. Mais les sons indésirables de niveau plus bas ne sont pas inoffensifs non plus : ils peuvent porter atteinte au bien-être psychique et physique.

Le bruit, c'est du son indésirable. A chaque bruit qui dérange, le corps se met en état d'alerte. Il produit des hormones de stress telles que l'adrénaline ou le cortisol, le cœur bat plus rapidement, la pression sanguine et la fréquence respiratoire augmentent.

L'augmentation de la sécrétion de ces hormones est des facteurs de risque de maladies cardiovasculaires, et notamment d'hypertension et d'infarctus du myocarde.

2. Bruit et sommeil

L'exposition au bruit la nuit dégrade la qualité du sommeil sur le plan subjectif comme sur le plan objectif. Elle prolonge le temps d'endormissement (qui peut augmenter de quelques minutes à près de 20 minutes), provoque des réveils intermittents et prématurés, des changements de phase de sommeil, des mouvements du corps, des changements de posture, des réponses du système autonome, augmente le temps total d'éveil au détriment du sommeil profond et/ou du sommeil paradoxal et diminue la durée totale du sommeil.

Sur le plan subjectif, on observe une diminution de l'auto-estimation de la qualité du sommeil, de l'humeur ainsi que des performances.

3. Effets du bruit sur la sphère végétative

Le bruit provoque l'élévation de la pression artérielle et celle-ci peut être élevée de façon permanente chez des populations soumises de manière chronique à des niveaux de bruit élevés (Jonsson A. et Hansson L., 1977). On ne sait pas si cette relation est une relation directe, ou une relation indirecte, par le biais du stress généré par le bruit. Un grand nombre de travaux montre

que l'exposition à des niveaux élevés de bruit entraîne très souvent des désordres cardio-vasculaires de type hypertension artérielle et troubles cardiaques ischémiques.

Les atteintes de la pression artérielle sont fréquemment combinées avec d'autres modifications du fonctionnement cardiaque telles que l'arythmie, l'accélération du rythme cardiaque de repos, une plus forte accélération cardiaque lors d'un exercice physique, ou encore une diminution de la circulation sanguine au niveau du myocarde.

Des résultats récents indiquent que le risque de développer une hypertension artérielle est augmenté pour une exposition à des bruits de trafic routier ou aérien d'un niveau équivalent ou supérieur à 70 dB(A) sur la période 6h-22h.

4. Effets du bruit sur le système endocrinien

Les nuisances sonores peuvent provoquer des réactions non spécifiques de stress physiologique qui entraînent la libération excessive d'hormones telles que le cortisol ou les catécholamines (adrénaline, dopamine) ainsi que d'acides gras libres.

L'augmentation de ces éléments entraîne à leur tour divers effets cardiovasculaires comme l'hypertension artérielle, le risque d'infarctus du myocarde, ainsi que des modifications du métabolisme pouvant engendrer des risques accrus de diabète de type 2 et d'obésité.

Les effets à long terme de l'exposition chronique au bruit à des niveaux élevés ont été étudiés chez l'animal, montrant des changements permanents et des altérations vasculaires dans le muscle cardiaque, qui indiquent un risque accru de mortalité cardiovasculaire.

Les études épidémiologiques menées sur l'exposition des travailleurs ont montré que les employés travaillant dans des environnements très bruyants ont un risque plus élevé d'avoir de l'hypertension et un infarctus du myocarde. Ces études chez l'homme et l'animal sont concordantes et indiquent que l'élévation du taux nocturne de cortisol peut avoir des conséquences sur le système cardio-vasculaire, telles que l'élévation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle, ou encore des troubles du rythme cardiaque. Des études épidémiologiques en population générale ont également montré que le risque de développer une hypertension artérielle est augmenté par une exposition importante aux bruits du trafic routier ou du trafic aérien. A noter que peu d'études en la matière ont été réalisées sur des populations soumises au bruit du trafic ferroviaire.

5. Effets du bruit sur le système immunitaire

Les modifications induites par le bruit au niveau endocrinien peuvent entraîner également une atteinte des défenses immunitaires. Des études indiquent que le stress prolongé pourrait entraîner, du fait de la sécrétion excessive de cortisol, une atrophie de l'hippocampe, structure nerveuse d'importance majeure.

6. Effets du bruit sur la santé mentale

L'exposition au bruit aurait une influence sur la réponse au stress et le bien-être psychologique.

En effet, différentes études menées autour de l'aéroport de Schiphol au Pays-Bas suggèrent que le bruit influencerait sur le développement ou la révélation de troubles mentaux.

Le bruit est par ailleurs considéré comme la nuisance principale chez les personnes présentant un état anxiodépressif.

La présence de ce facteur joue un rôle déterminant dans l'évolution et le risque d'aggravation du syndrome. De nombreuses études ont montré une augmentation des consultations et des hospitalisations psychiatriques ainsi de la consommation de médicaments à visée neuropsychiatrique parmi les riverains d'aéroports. Il convient toutefois de mentionner que ces études sont confrontées à la difficulté de dissocier les effets liés au statut socio-économique des populations exposées au bruit.

III. Les effets subjectifs et comportementaux du bruit

1. La gêne due au bruit

Selon l'OMS, la gêne peut se définir comme « une sensation de désagrément, de déplaisir provoquée par un facteur de l'environnement (le bruit, par exemple) dont l'individu ou le groupe connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé » (OMS, 1980).

Appelé couramment « gêne sonore », le trouble dû au bruit est une sensation de désagrément venant perturber les activités de tous les jours et entraînant rapidement irritation, fatigue puis épuisement et souffrances psychophysiologiques pouvant à leur tour susciter des réponses négatives telles que la colère, l'agressivité. Chaque individu a sa propre perception du bruit. Le trouble qu'il ressent est le résultat de facteurs liés au bruit enduré (intensité sonore, émergence par rapport au bruit de fond, répétitivité du bruit, spectre, durée) mais également de facteurs contextuels et individuels tels que la période de la journée pendant laquelle le bruit survient, le caractère subi ou choisi du bruit, l'image positive ou non que la personne a de la source sonore,

son histoire personnelle et ses habitudes socio-culturelles, son âge... Le bruit non choisi engendre, chez celui qui le subit sans pouvoir le faire cesser, un état hautement perturbant. S'il se prolonge, il devient une source de stress important qui entraîne, chez la plupart des individus, une dégradation rapide du comportement et de leur santé physique et mentale à plus ou moins long terme.

2. Les effets du bruit sur les attitudes et les comportements

✚ Bruit, agressivité et troubles du comportement

Le bruit ne provoque pas une augmentation des cas pathologiques mais semble plutôt aggraver les problèmes psychologiques préexistants. Des expériences en laboratoire ont clairement montré qu'une plus grande agressivité pouvait être manifestée par des personnes exposées au bruit, surtout chez celles qui ont été au préalable irritées et/ou contrariées.

✚ Bruit et diminution de la sensibilité et de l'intérêt à l'égard d'autrui

De nombreuses études de terrain font état d'un comportement d'aide à autrui diminué dans le bruit et/ou après exposition au bruit. Placées dans une ambiance désagréable, les personnes n'éprouveraient absolument pas l'envie d'aider autrui mais tenteraient au contraire de fuir aussi rapidement que possible la situation.

Annexe B : la lutte contre le bruit aéronautique

En 2001, l'assemblée de l'OACI a approuvé le principe de **l'approche équilibrée** de la gestion du bruit des aéronefs. En 2007, elle a réaffirmé ce principe et appelé les états contractants à reconnaître le rôle de l'OACI dans la lutte contre les problèmes ayant trait au bruit des aéronefs.

L'approche équilibrée consiste à déterminer les problèmes de bruit aux aéroports, puis à analyser les diverses mesures de réduction disponibles, en étudiant 4 principaux éléments : la réduction du bruit à la source, la planification et la gestion d'utilisation des terrains, les procédures opérationnelles d'atténuation du bruit et les restrictions d'exploitation.

L'OACI a élaboré des politiques sur chacun de ces éléments, ainsi que sur les redevances liées au bruit. Les pratiques recommandées concernant l'approche équilibrée figurent dans le DOC9829_Orientations relatives à l'approche équilibrée de la gestion du bruit des aéronefs.

I. Les principaux facteurs d'évolution du bruit des moteurs

Au cours des 40 dernières années, une grande partie des efforts déployés par l'OACI pour s'occuper du bruit des aéronefs a porté sur la réduction du bruit à la source. Les avions et les hélicoptères construits de nos jours doivent satisfaire les normes de certification acoustique adoptées par le conseil de l'OACI, qui figurent dans le volume I_Bruit des aéronefs de l'annexe 16_Protection de l'environnement à la convention relative à l'aviation civile internationale. Des éléments d'orientation pratiques à l'intention des services de certification, concernant la mise en œuvre des procédures techniques de l'annexe 16, figurent dans le manuel technique des procédures de certification acoustique des aéronefs DOC 9501.

1. La réduction du bruit de jet

Si l'on considère les progrès réalisés dans le domaine du bruit durant ces 30 dernières années, on peut distinguer 3 phases d'évolution successives du système propulsif :

- ✚ La première phase correspond aux turboréacteurs monoflux ou à faible taux de dilution ($\alpha < 2$). Pour lesquels le bruit de jet est la source de bruit dominante. Les zones de mélange du jet avec l'air ambiant sont les plus acoustiquement énergétiques. Situées à plusieurs diamètres en aval de l'éjection, elles se sont révélées très difficiles à traiter. Pratiquement les technologies de réduction du bruit de jet consistant à introduire des silencieux dans la tuyère d'éjection se sont traduites par une efficacité acoustique proportionnelle à une perte de poussée difficilement acceptable.

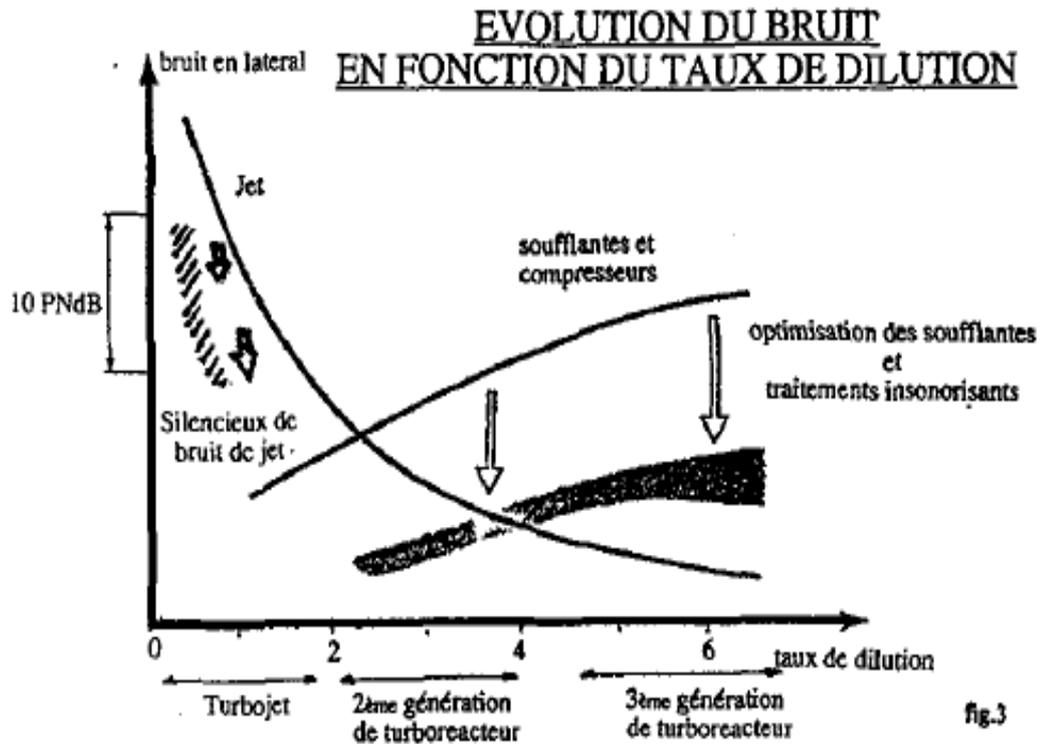


Figure 1-Evolution du bruit en fonction du taux de dilution.

✚ La deuxième phase correspond à l'apparition au début des années 70 des premiers turboréacteurs double flux à faible taux de dilution ($\alpha=2$). Le bruit de jet reste prédominant mais les niveaux sonores, à puissances égales, sont nettement plus faibles. Dans ce type de moteurs, la force propulsive est fournie à la fois par le jet primaire de combustion et par un jet secondaire coaxial généré uniquement par la propulsion de l'air au travers de la soufflante. Sa vitesse plus faible que celle du jet primaire a contribué à réduire le bruit de jet. De plus ce jet secondaire qui entoure le jet primaire participe par un certain effet de masque à la diminution du bruit émis par le jet primaire.

✚ La troisième phase correspond aux turboréacteurs actuels, double flux à grand taux de Dilution ($\alpha>5$) se caractérisant par un bruit de jet relativement faible et un bruit de soufflante pratiquement prédominant à tous les régimes.

Il est important de remarquer que durant ces 3 phases d'évolution des turboréacteurs, la réduction du bruit de jet qui est due à une diminution des vitesses d'éjection compensée par des augmentations de débit, n'est que le sous-produit des progrès technologiques ayant permis la réduction des consommations spécifiques des moteurs.

2. La réduction du bruit des parties tournantes

Parallèlement à cette augmentation des taux de dilution, les études aéro-acoustiques menées sur les mécanismes de génération du bruit dans les composants majeurs des turboréacteurs, sur la propagation du son dans les conduits, sur les matériaux insonorisant ont permis l'incorporation. L'incorporation dans les systèmes propulsifs modernes, et ce dès la conception, de technologies efficaces du contrôle acoustique à la source.

- ✚ Le choix optimal du couple vitesse de rotation - charges aérodynamiques sur les aubes, à iso performances.
- ✚ L'optimisation du nombre d'aubes fixes et mobiles de telle sorte que les nombres de Mach de rotation des modes circulaires soient inférieurs au nombre de Mach critique (Cut off frequency)
- ✚ L'augmentation de l'espacement rotor stator qui permet de réduire les bruits d'interaction.
- ✚ La suppression des aubes fixes qui sont sources de perturbation amont.
- ✚ La sélection de matériaux insonorisant pour revêtir les parois de la manche d'entrée d'air, du conduit secondaire d'éjection.

L'implantation de toutes ces solutions, associées à l'augmentation des taux de dilution, ont conduit sur les moteurs actuels à un équilibre entre les différentes sources de bruit, si bien que les efforts actuels mis en œuvre pour réduire encore plus le bruit de l'une de ces sources ont des effets faibles sur le bruit total pour un coût souvent important de la modification envisagée.

LES TECHNIQUES DE CONTROLE DU BRUIT DES TURBOREACTEURS

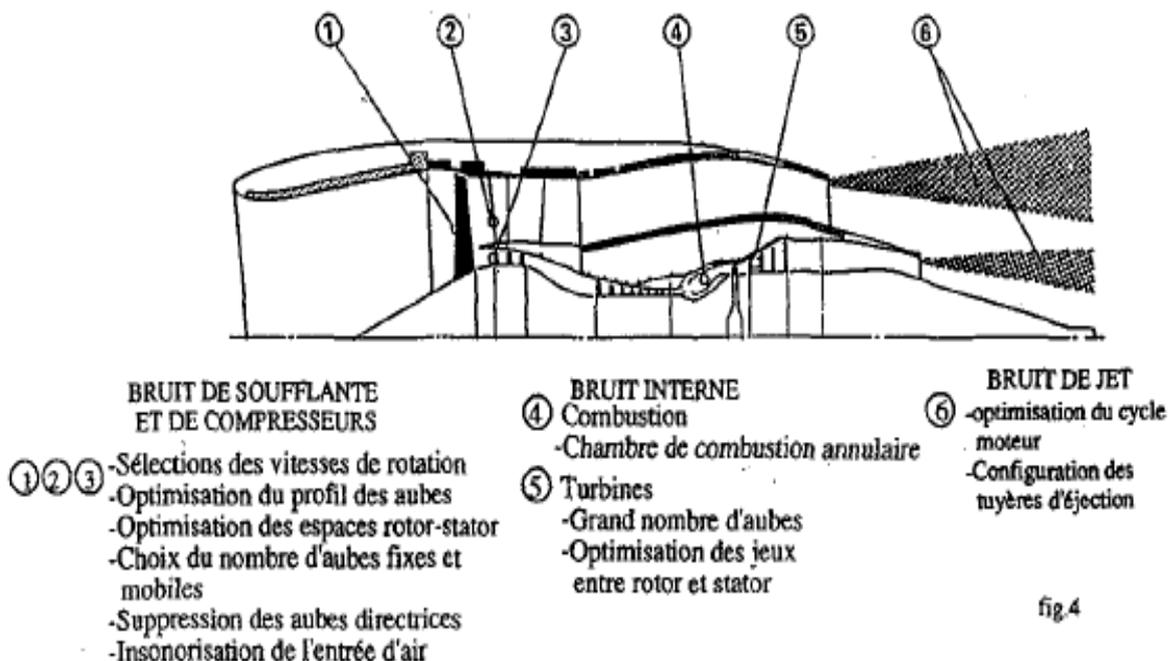


Figure 2-les techniques de contrôle du bruit des turbo réacteurs.

II. prévention du bruit des avions

1. certification acoustique des aéronefs

Les avions sont soumis à une certification acoustique permettant de réduire le niveau de nuisances sonores qu'ils génèrent pour les riverains des aérodromes.

La certification acoustique des avions est régie par l'annexe 16 de la convention de Chicago du 7 décembre 1944 relative à l'aviation civile internationale. Celle-ci classe les avions de transport de passagers en quatre chapitres en fonction de leurs performances acoustiques, du plus bruyant (chapitre 1, interdit d'exploitation) au moins bruyant (chapitre 4, créé en 2001 et correspondant aux avions les plus récents).

La norme de bruit prend en compte trois points de certification : le décollage, l'approche et le survol. Elle est exprimée en EPNdB. Il s'agit d'une mesure de la gêne pour l'oreille humaine, causée par le bruit des aéronefs, le niveau de bruit perçu et sa durée étant pris en compte.

Afin d'être en conformité avec le droit international et européen, les articles R.133-1 à R. 133 du Code de l'aviation civile prévoient que les aéronefs de certaines catégories, définies par arrêtés ministériels, ne pourront être utilisés que s'ils sont munis d'un « certificat individuel de limitation de nuisances ».

Ce certificat atteste leur conformité, au point de vue du bruit qu'ils produisent, avec le type du même genre ayant obtenu le « certificat type ».

2. restrictions d'exploitation des aérodromes

Est qualifiée de restriction d'exploitation, une mesure liée au bruit qui limite l'accès à un aéroport ou en réduit la capacité opérationnelle.

Les restrictions d'exploitation se caractérisent, notamment, par la limitation du nombre de mouvements autorisés, l'interdiction de certains vols, l'aménagement des horaires (couvre-feux) et des trajectoires, ainsi que le relèvement des altitudes de vol à l'approche des zones urbanisées.

La question des vols de nuit constitue, selon l'ACNUSA l'un des principaux enjeux des années à venir. Cette autorité administrative indépendante préconise la mise en œuvre progressive de restrictions d'exploitation visant, notamment, à limiter le nombre de mouvements ou à fixer des quotas de bruit sur une période nocturne de 7 à 8 heures.

Outre ces restrictions d'exploitations, une réglementation est également applicable en matière de survol, s'agissant, notamment, des hélicoptères et ULM.

Autre mesures peuvent se décliner sous différents formes telle que :

- ✚ Optimisation des trajectoires sol afin d'éviter certaines zones sensibles.
- ✚ Utilisation de pistes ou de routes préférentielles.
- ✚ Optimisation des procédures d'approche_ mise en œuvre d'opérations en descente continue, relèvement des altitudes de palier ou des procédures de décollage_ procédures de départs moindre bruit de type OACI 1 ou 2.
- ✚ Limitation de l'utilisation des inverseurs de poussée, des systèmes auxiliaires du type APU.
- ✚ Plafonnement total ou partiel du nombre de mouvements et Quota de bruit.

3. Réglementation des survols

Le trafic des hélicoptères dans les zones à forte densité de population est réglementé par les articles L. 571-7 et suivants du code de l'environnement. Peuvent ainsi être fixé, le nombre maximal de mouvements d'hélicoptères par plage horaire, par jour, mois, saison et année, ainsi que les plages horaires et hebdomadaires pour lesquelles les hélicoptères les plus bruyants et les essais moteurs sont interdits. Ces restrictions sont assorties de sanctions en cas de non-respect (articles R. 571-31- 6 et R. 571-97-1 du Code de l'environnement).

S'agissant des hélistructures, c'est au préfet qu'il appartient d'accorder son autorisation spéciale, en vertu de l'article D. 132-6 du Code de l'aviation civile.

Les vols d'ULM sont eux aussi réglementés par un arrêté du 23 septembre 1998, lequel dispose qu'aucun vol ne peut être effectué à une hauteur inférieure à 150 mètres au-dessus du sol et que le niveau sonore constaté doit être inférieur à 65 dB.

4. Maîtrise de l'urbanisation autour des aérodromes

La prévention de la gêne occasionnée par le bruit des avions se fait également par le biais d'une réglementation visant à limiter l'urbanisation autour des aérodromes.

Régi par le Code de l'urbanisme, le Plan d'Exposition au Bruit (PEB) constitue un outil de maîtrise de l'urbanisation autour des aérodromes. Il s'agit d'un document ayant valeur de servitude d'utilité publique annexé au plan local d'urbanisme. Il vise à prévenir l'exposition de nouvelles populations au bruit généré par le trafic d'un aérodrome. 250 aérodromes français sont concernés par cette réglementation. Chaque plan d'exposition au bruit est établi par le Préfet de département. En fonction du trafic de l'aérodrome considéré et de ses potentialités de développement, ce document interdit ou restreint la construction de logements au voisinage de l'aérodrome afin d'éviter l'installation de nouvelles populations dans les zones de bruit. Les PEB délimitent trois zones autour des aérodromes, de la plus bruyante à la moins bruyante, A, B, C.

Dans les zones A et B, les constructions à usage d'habitation sont en principe interdites.

En zone C, peuvent être autorisées des constructions individuelles non groupées situées dans des secteurs déjà urbanisés et desservis par des équipements publics dès lors qu'elles n'entraînent qu'un faible accroissement de la capacité d'accueil d'habitants exposés aux nuisances. La zone D correspond quant à elle à une aire à l'intérieur de laquelle les constructions sont autorisées mais doivent faire l'objet de mesures d'isolation acoustique renforcées.

A cette réglementation visant à prévenir les nuisances occasionnées par le bruit des avions, s'ajoute une réglementation fiscale permettant d'apporter une aide financière à l'insonorisation des logements riverains d'aéroports.

III. Protection contre le bruit des avions

Afin de réduire au maximum l'impact de ces nuisances, des mécanismes de protection contre le bruit des avions sont mis en place, au rang desquels figure le dispositif d'aide financière à l'insonorisation des logements riverains des aéroports.

1. Taxe sur les nuisances sonores aériennes TNSA

Une Taxe sur les Nuisances Sonores Aériennes (TNSA) a été instituée afin de générer des ressources destinées à l'insonorisation des logements riverains des aéroports.

Cette taxe ne s'applique cependant pas aux aéronefs de masse maximale au décollage inférieure à 2 tonnes, ni aux aéronefs appartenant à l'Etat ou participant à des missions de protection civile ou de lutte contre l'incendie. Son montant est corrélé au besoin de financement des aides aux riverains et à l'évolution prévisible des coûts d'insonorisation. Ce tarif, par groupe d'aéronefs et par aérodrome, est fixé par arrêté.

2. Opérations bénéficiant de l'aide à l'insonorisation

Sont éligibles à cette aide financière :

- L'ensemble des études et opérations préalables à la réalisation des travaux de renforcement de l'isolation acoustique.
- Les honoraires de syndics, dans la limite de 2 % du montant hors taxes des travaux.
- Les travaux de renforcement de l'isolation acoustique et de ventilation induits, conformes à la réglementation en vigueur.

La répartition du montant de l'aide de financière se fait selon les critères de priorisation suivants :

- Priorité accordée aux locaux soumis au niveau d'exposition au bruit le plus élevé, les locaux situés en limite extérieure du plan de gêne sonore étant les moins prioritaires ;
- Priorité accordée aux opérations groupées.
- Priorité accordée aux demandes les plus anciennes.

L'exploitant d'aérodrome doit informer les demandeurs, dès la réception des demandes, des critères de priorisation sur lesquels est fondé le programme et du délai prévisible dans lequel la demande fera l'objet de l'attribution de l'aide.

IV. Répression du bruit des avions

1. Sanction des manquements aux mesures de limitation du bruit des aérodromes

L'ACNUSA peut prononcer une amende administrative à l'encontre de la personne physique ou morale responsable de l'avion n'ayant pas respecté les mesures prises par le ministre chargé de l'aviation civile sur un aérodrome fixant :

- des restrictions permanentes ou temporaires d'usage de certains types d'avions en fonction notamment de leurs émissions atmosphériques polluantes ou de leur classification acoustique.
- des restrictions permanentes ou temporaires apportées à l'exercice de certaines activités en raison des nuisances environnementales qu'elles occasionnent.
- des procédures particulières de décollage ou d'atterrissage en vue de limiter les nuisances environnementales engendrées par ces phases de vol.
- des règles relatives aux essais moteurs.
- des valeurs maximales de bruit ou d'émissions atmosphériques polluantes à ne pas dépasser.

Les amendes administratives sont prononcées par l'ACNUSA et ne peuvent excéder un montant de 1 500 € par manquement constaté, pour une personne physique et de 20000 € pour une personne morale. Elles font l'objet d'une décision motivée notifiée à la personne concernée et peuvent faire l'objet d'un recours de plein contentieux devant les tribunaux administratifs. Le délai de prescription de l'action est de deux ans.

2. Mise en œuvre des sanctions prononcées par l'ACNUSA

Aux termes de l'article L. 6123-2 du Code des transports, le non-paiement ou le paiement partiel des amendes administratives prononcées par l'ACNUSA expose le redevable, après mise en demeure, à la saisie conservatoire d'un avion qu'il exploite ou qui lui appartient, auprès du juge du lieu d'exécution de la mesure.

Une immobilisation de 24 heures a par exemple eu lieu concernant un avion de la société Turkménistan Airlines sur demande de l'ACNUSA. La société ne réglant pas sa dette, L'Autorité avait dû procéder à la saisie conservatoire pour le recouvrement d'une somme de 204 000 € correspondant au montant des amendes augmenté de la pénalité de 10 % pour paiement tardif.

Le Conseil d'Etat confirme souvent les amendes administratives prononcées à l'encontre des compagnies aériennes, comme en témoignent les quelques décisions suivantes.

Par six arrêts au contenu identique, le Conseil d'Etat a confirmé les amendes administratives prononcées à l'encontre de la compagnie aérienne irlandaise Ryanair par l'ACNUSA pour non-

respect de l'arrêté du 25 avril 2002 portant restriction d'exploitation de l'aérodrome de Beauvais-Tillé (voir C.E., 7 déc. 2005, n° 270424).

Le détail des amendes prononcées est consultable sur le site Internet de l'ACNUSA, dans la partie « sanctions ». Pour l'année 2016, 158 compagnies ont été poursuivies. 435 dossiers ont été instruits :

- 118 manquements n'ont pas fait l'objet d'une amende ;

- 317 manquements ont fait l'objet d'une amende ;

Soit, 4 785 400 € d'amendes infligées, avec un montant moyen de 15 100 €.

V. Agir sur le renouvellement des flottes

C'est l'intérêt même des compagnies aériennes d'exploiter des avions modernes plus respectueux de l'environnement. Ces avions consomment moins de carburant, sont plus faciles à maintenir, plus confortables pour les passagers et plus ergonomiques pour les équipages. Cependant, le renouvellement des flottes est un investissement très coûteux. Le retrait des avions bruyants est coordonné au niveau européen et international, en concertation avec les industriels et les exploitants. Chaque Etat peut renforcer cette action en modulant, en fonction du bruit, les taxes et redevances aéroportuaires payées par les compagnies.