

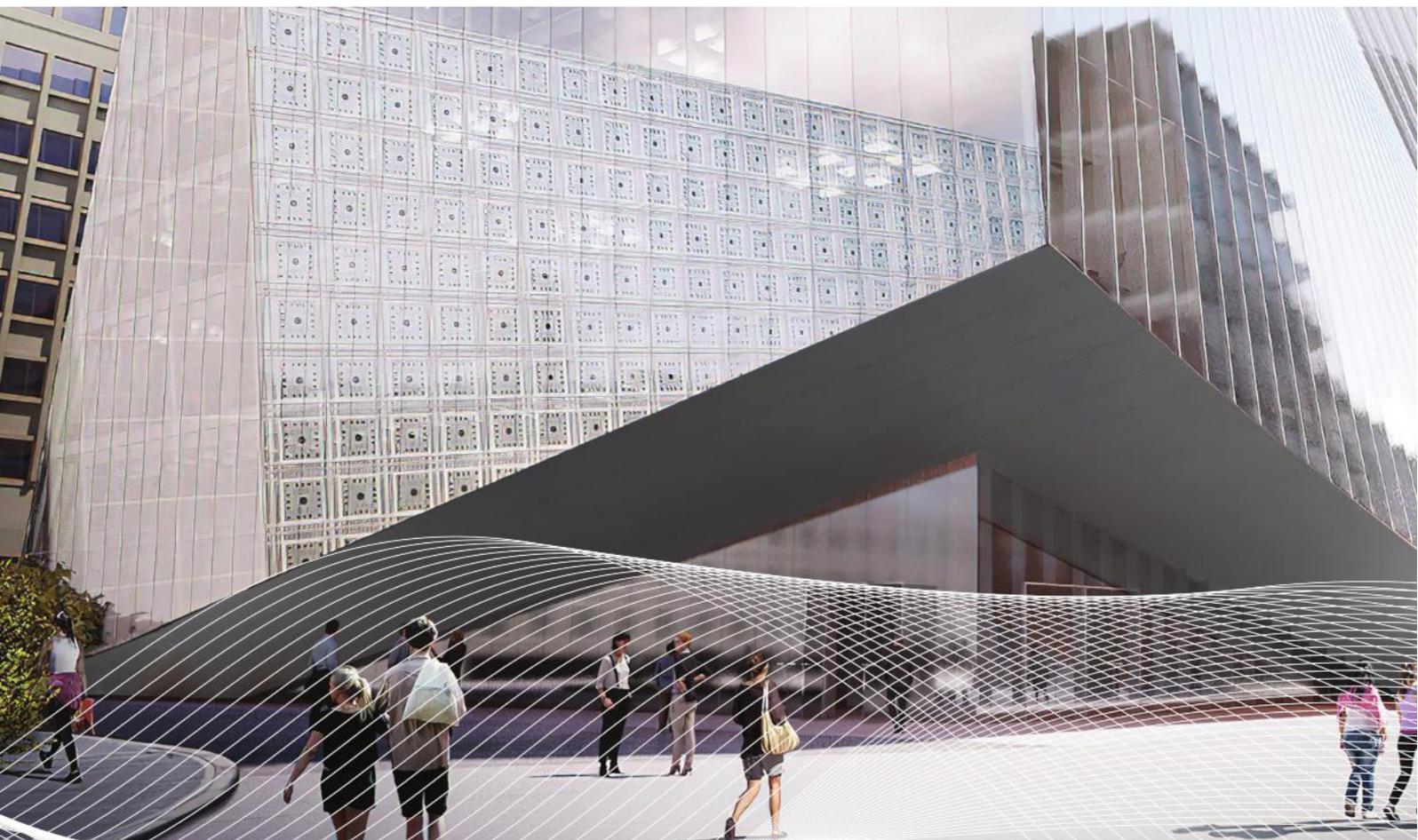


17^e Congrès Français d'Acoustique
27-30 avril 2025, Paris

Etude pilote participative pour la co-construction d'un indicateur acoustique à points intégrant la gêne liée au bruit du trafic aérien Présentation du protocole d'étude

Matthieu Sineau^a, Fanny Mietlicki^a, Manuel Hellot^a et Christophe Mietlicki^a

^a Bruitparif, Observatoire du bruit en Ile de France
32 boulevard Ornano, 93200 Saint-Denis, France



La réglementation en vigueur relative au bruit des transports s'appuie sur des indicateurs acoustiques énergétiques qui traduisent mal les critères d'intensité et de répétitivité des pics de bruit notamment en lien avec les survols d'aéronefs ou les circulations ferroviaires. Le débat public autour de ces questions se cristallise donc souvent autour de la remise en cause de ces indicateurs jugés inaptes à traduire la gêne des populations et à suivre les évolutions, notamment dans un contexte d'augmentation du trafic. Bruitparif suggère de créer un compteur d'événements sonores à points, le Noise Point Counter (NPC) s'inspirant des indicateurs existants de type NAX mais en s'affranchissant de l'effet de seuil qui est un inconvénient à leur utilisation. Il s'agit de réaliser un décompte du nombre de pics de bruit en pondérant chaque pic en fonction du niveau de gêne instantanée qu'il est susceptible de générer chez les riverains et de l'agréger ensuite par périodes (jour, soir, nuit, jours ouvrables, week-end, différentes saisons de l'année...) en prenant en compte les différences de sensibilité selon les périodes. Pour avancer sur la faisabilité de développement d'un tel indicateur et conforter sa pertinence, Bruitparif propose de réaliser une étude pilote (étude COGENAIR) sur trois secteurs survolés sélectionnés en Île-de-France, en y associant à chaque fois une trentaine de riverains. Les participants seront amenés à s'exprimer sur leur perception du bruit et sur la gêne ressentie à court, moyen et plus long terme. Cet article présente le principe de construction de ce nouvel indicateur, les réflexions qui sous-tendent son élaboration ainsi que le protocole d'étude mis en œuvre dans le cadre de cette étude pilote.

1 Introduction

Depuis 2021, le trafic aérien a repris sa croissance « post-Covid » en France, entraînant des nuisances sonores pour les riverains. En 2023, le trafic de plusieurs grands aéroports français a même dépassé les niveaux d'avant la crise de la Covid-19 [1].

Selon l'étude sur le coût social du bruit en France publiée en 2021 par l'Ademe et le Conseil national du bruit (CNB) [2], le bruit du trafic aérien coûterait à la société française 6,1 milliards d'euros par an, soit 4,2 % de l'ensemble des coûts sociaux générés par le bruit dans toutes ses dimensions (transports, voisinage, travail) en France. L'essentiel de ce chiffre (5,6 milliards d'euros) est lié aux impacts sanitaires de l'exposition au bruit du trafic aérien. Le phénomène est plus marqué en Ile-de-France, qui dispose d'un système aéroportuaire unique en Europe, avec deux aéroports internationaux (Paris-Orly et Paris-Charles de Gaulle) et un aéroport d'affaires, Paris-Le Bourget. Ces trois aéroports, parmi les plus importants d'Europe dans leur catégorie, sont à l'origine d'un nombre important de vols au-dessus de la région (653 905 mouvements d'avions en 2023 pour les deux aéroports internationaux [3]).

Selon les résultats de l'étude Crédoc/Bruitparif publiée en 2021 [4], près de 17 % des Franciliens citent le survol des avions comme l'une des trois sources de bruit les gênant le plus à leur domicile. Près de 7 % des personnes interrogées déclarent également que le bruit du trafic aérien est la source de bruit la plus gênante parmi les différentes sources de bruit des transports. Français Selon les dernières cartes stratégiques de bruit du trafic aérien publiées pour la région Île-de-France [5], près de 2,2 millions de personnes (17,7 % de la population francilienne) seraient affectées par le bruit du trafic aérien à des niveaux dépassant la valeur recommandée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) de 45 dB(A) selon l'indicateur Lden, et 1,08 million seraient également affectées par la valeur recommandée la nuit (40 dB(A) selon l'indicateur Ln). Près de 480 000 personnes (3,9 % de la population francilienne) seraient même exposées à des niveaux dépassant la valeur limite réglementaire de 55 dB(A) selon l'indicateur Lden, et 192 000 personnes (1,6 %) seraient affectées par des niveaux

nocturnes dépassant la valeur réglementaire de 50 dB(A) pour Ln. Selon la même étude, 459 000 Franciliens seraient fortement gênés par le bruit du trafic aérien, 174 000 souffriraient de troubles graves du sommeil et 122 000 souffriraient de maladies cardiovasculaires ou métaboliques à cause du bruit du trafic aérien, ce qui représenterait environ 36 000 années de vie en bonne santé perdues (DALY) chaque année en Île-de-France. Si l'on inclut également les autres effets du bruit du trafic aérien (difficultés d'apprentissage, perte de productivité et dépréciation immobilière), le coût social du bruit du trafic aérien en Île-de-France s'élèverait à 5,4 milliards d'euros par an.

Aujourd'hui, nous disposons de résultats de plus en plus fiables et convergents concernant les impacts sanitaires du bruit du trafic aérien. L'étude la plus importante menée autour des aéroports européens est HYENA (HYpertension and Exposure to Noise near Airports) [6][7]. Son objectif était de mesurer l'impact sur la pression artérielle et les maladies cardiovasculaires du bruit généré par le trafic aérien et routier chez 4 800 personnes âgées de 45 à 70 ans et résidant depuis au moins 5 ans à proximité d'un des six principaux aéroports européens (Milan/Malpensa, Berlin/Tegel, Stockholm/Arlanda, Londres/Heathrow, Amsterdam/Schiphol et le nouvel aéroport d'Athènes). Une autre étude européenne, RANCH (Road Traffic and Aircraft Noise and Children's Cognition and Health : Exposure - Effect, Relationships and Combined Effects), a été menée autour des aéroports d'Amsterdam/Schiphol, Londres/Heathrow et Madrid/Barajas [8]. Elle s'est concentrée sur l'impact de l'exposition au bruit des avions en milieu scolaire sur la qualité de vie et l'apprentissage des enfants. Une étude intitulée NORAH (Noise-Related Annoyance, cognition and Health) a également été lancée en Allemagne [9]. L'objectif est d'améliorer la connaissance des effets du bruit des transports en général sur la santé (hypertension, maladies cardiovasculaires, troubles du sommeil), et du bruit des avions en particulier. Plus précisément, l'objectif est de comparer la gêne sonore et la qualité de vie avant et après l'ouverture d'une quatrième piste à l'aéroport de Francfort, avec la gêne sonore à proximité d'autres aéroports. L'étude a également examiné l'impact de l'exposition au bruit sur les performances cognitives et la qualité de vie des enfants. En France, l'étude DEBATS

(Discussion autour des effets du bruit du trafic aérien touchant la santé) a été le premier programme de recherche à grande échelle à examiner les effets de l'exposition au bruit des avions sur la santé des personnes vivant à proximité des aéroports. Elle a combiné trois approches méthodologiques complémentaires (écologie, longitudinale individuelle et sommeil clinique) [10]. L'étude a examiné les effets délétères de l'exposition au bruit des avions sur la santé perçue, la santé psychologique, la gêne, le sommeil et les systèmes endocrinien et cardiovasculaire.

En octobre 2018, l'OMS a publié une synthèse des impacts sanitaires du bruit considérés comme scientifiquement établis sur la base des études publiées jusqu'en 2014 [11]. Les effets retenus pour le bruit du trafic aérien sont la gêne, les troubles du sommeil et les difficultés d'apprentissage. Ils ont fait l'objet de fortes recommandations de l'OMS de ne pas dépasser, 45 dB(A) en Lden et 40 dB(A) en Ln, afin d'éviter les effets délétères du bruit du trafic aérien sur la santé humaine. En France, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) a publié une synthèse des connaissances scientifiques sur les effets sanitaires de l'exposition au bruit du trafic aérien en 2020 [12]. Celle-ci a également pris en compte les publications scientifiques parues après 2014, dont beaucoup soulignent les impacts cardiovasculaires du bruit du trafic aérien (notamment l'hypertension chez les hommes).

2 Problématiques associées aux indicateurs

Depuis les années 1960, les recherches en psychoacoustique se sont concentrées sur la perception sonore. Ces travaux ont conduit au développement d'indicateurs acoustiques spécifiques tels que la sonie [13] ou, plus spécifiquement pour le bruit des avions, le Niveau de Bruit Perçu (PNL) exprimé en PNdB et le Niveau de Bruit Perçu Effectif (EPNL) exprimé en EPNdB [14][15][16]. Ces grandeurs et unités présentent l'avantage de mieux représenter le bruit tel que perçu par l'être humain, mais présentent l'inconvénient d'être complexes à comprendre et difficiles à mettre en œuvre opérationnellement, notamment dans le cadre de la modélisation du bruit du trafic aérien (études d'impact, cartographie, etc.). C'est pourquoi l'indice psophique français, qui combinait les niveaux de bruit générés par les avions en PNdB pour les périodes diurnes et nocturnes [17], a été abandonné en 2002 et remplacé par des indicateurs de type Lden dans le cadre de l'établissement des Plans d'Exposition au Bruit aux abords des aéroports.

La plupart des études épidémiologiques sur les effets du bruit des transports sur la santé se sont appuyées sur des indicateurs de bruit énergétique tels que le Lden ou le Ln. Ces indicateurs énergétiques présentent l'avantage d'être relativement faciles à produire grâce à des outils de mesure ou de modélisation du bruit. Leur utilisation a d'ailleurs été généralisée par la directive européenne 2002/49/CE, qui impose aux États membres de réaliser des cartes stratégiques de bruit utilisant ces indicateurs au sein des grandes agglomérations et à proximité des grandes infrastructures de transport. S'appuyant sur des travaux scientifiques (Commission internationale sur les effets biologiques du

bruit – ICBEN notamment), puis sur des travaux d'experts réunis par la Commission européenne entre 1998 et 2002, la directive 2002/49/CE a recommandé d'utiliser le Lden comme indicateur de bruit des transports (routier, ferroviaire et aérien) pour prédire la gêne globale à long terme en cas de situation de bruit stable, et le Lnight (Ln) pour prédire les troubles du sommeil à long terme. Avec l'indicateur Lden, la Commission européenne a introduit une pondération des niveaux de bruit en soirée (+5 dB) et la nuit (+10 dB) pour tenir compte de la sensibilité accrue des personnes à ces périodes.

Bien qu'un lien ait été établi entre les indicateurs énergétiques de type Lden et la gêne à long terme, il est admis que celui-ci n'explique qu'entre 30 % et 40 % de la gêne ressentie par les personnes, car de nombreux autres facteurs modulateurs non acoustiques (facteurs sociodémographiques/économiques et culturels, facteurs contextuels, antécédents personnels et sensibilité individuelle) interviennent dans la réaction individuelle [18].

Les relations dose-réponse publiées en octobre 2018 par l'OMS soulignent également que le bruit à forte composante événementielle, comme le trafic aérien ou ferroviaire, a des effets sanitaires plus marqués que le bruit du trafic routier (du moins lorsque ce dernier est relativement continu), pour un même niveau moyen équivalent exprimé en Lden ou Ln. Des revues [19] et des publications scientifiques récentes dans le cadre de l'étude DEBATS [20][21] confirment que certains effets biologiques, tels que les modifications de la fréquence cardiaque nocturne et les troubles du sommeil, sont plus étroitement liés aux événements sonores qu'au bruit moyen. Français En Suisse, l'étude SiRENE lancée en 2013 a examiné les effets à court et à long terme de l'exposition au bruit des transports (routier, ferroviaire et aérien) sur la santé, et en particulier sur la gêne [22]. Elle a introduit une nouvelle unité de mesure pour décrire le caractère événementiel des nuisances sonores : le rapport d'intermittence (IR), qui exprime la contribution (en %) des événements sonores individuels au bruit global. L'étude SiRENE conclut que le caractère événementiel du bruit joue un rôle dans la détérioration de la santé, mais que des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer les tendances observées, ou si d'autres descripteurs sont nécessaires pour les expliquer. On peut formuler l'hypothèse qu'une meilleure description de l'exposition au bruit par des indicateurs événementiels prenant davantage en compte les facteurs acoustiques impliqués dans la gêne instantanée liée au survol des avions (intensité, durée, émergence, contenu spectral, etc.), ainsi que le caractère répétitif de la nuisance, permettrait de mieux traduire la gêne ressentie à long terme par les riverains et de mieux expliquer les effets sanitaires.

Les riverains des aéroports réclament depuis longtemps une meilleure prise en compte du nombre et des caractéristiques des pics de bruit, grâce à des indicateurs événementiels, qu'ils jugent plus représentatifs de la gêne ressentie et des impacts sanitaires.

Dès 2004, le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) préconisait l'introduction de l'indice LAm_{ax} et recommandait de ne pas dépasser plus de 10 pics de bruit nocturnes supérieurs à 70 dB(A) en LAm_{ax}, soit une valeur de recommandation de NA70,22h-6h<=10 [23]. Dans son rapport d'activité de 2005, l'Autorité de Contrôle des Nuisances Aéroporutaires (Acnusa) recommandait

également l'utilisation, en complément des indicateurs Lden et Ln, d'un indicateur de type NAX, déjà utilisé sur les plateformes aéroportuaires australiennes et recommandé par le Federal Interagency Committee On Noise (FICON, États-Unis), dans le cadre d'études prospectives.

Dans son avis du 12 juin 2019, la CNB encourageait également l'utilisation d'indicateurs événementiels en complément des indicateurs énergétiques [24].

En 2023, la CNB et l'Acnusa ont mis en place un groupe de travail national chargé de formuler des recommandations sur l'introduction de nouveaux indicateurs de bruit du trafic aérien dans la réglementation, afin de mieux prendre en compte les effets du bruit du trafic aérien sur la santé. Bruitparif contribue à ces réflexions.

Les indices événementiels tels que le L_{Amax} et le SEL, ainsi que les indicateurs NAX, commencent à être utilisés de manière opérationnelle dans le domaine du bruit du trafic aérien. Outre les indicateurs énergétiques, ils sont utilisés pour la consultation des données de mesure du bruit du trafic aérien aux abords de certains aéroports, comme celui de Bruitparif (<http://survol.bruitparif.fr>), ainsi que dans les rapports mensuels ou annuels sur le fonctionnement des réseaux de mesure produits par certains gestionnaires d'aéroports (par exemple, les rapports produits par Aéroport de Paris (ADP), qui sont disponibles sur Internet). Si les indicateurs de type NAX peuvent contribuer à améliorer l'information des riverains et sont relativement faciles à comprendre, ils présentent néanmoins des lacunes majeures qui freinent leur généralisation et leur traduction réglementaire.

Le premier inconvénient réside dans l'effet de seuil qu'ils introduisent. D'une part, le choix du seuil (NA62, NA65, NA70, etc.) est relativement arbitraire. Dans un contexte de croissance attendue du trafic aérien, conjuguée au renouvellement de la flotte, entraînant une augmentation du nombre de survols d'avions légèrement moins bruyants qu'auparavant, les indicateurs de type NAX pourraient s'avérer insuffisants pour refléter l'évolution des perceptions. Pour illustrer ce point, prenons un exemple théorique mais suffisamment démonstratif. Alors que 100 survols générant chacun un L_{Amax} de 66 dB(A) conduisent à une valeur NA65 de 100, un doublement du trafic avec des avions générant chacun 2 dB(A) de moins (c'est-à-dire entendus à peine moins fort), soit 200 survols avec un L_{Amax} de 64, conduirait à une valeur NA65 de 0. Ainsi, en utilisant l'indicateur NA et un seuil de 65, le problème de bruit « disparaîtrait ». La situation aurait été tout autre si, par exemple, un seuil de 62 avait été choisi, les modifications apportées auraient alors porté la valeur NA62 de 100 à 200, ce qui serait certainement plus conforme à l'évolution du ressenti et de la gêne des riverains, mais ne refléterait pas l'amélioration apportée par le renouvellement de la flotte.

Le deuxième défaut majeur est que tous les événements dont la valeur L_{Amax} est supérieure au seuil fixé ont le même poids dans le calcul de l'indicateur. Ainsi, appliqué à des contextes d'exposition au bruit très élevée, comme ceux rencontrés aux abords des aéroports, où la quasi-totalité des pics de bruit dépasse 70 dB(A) en L_{Amax}, l'indicateur NA65 correspond en réalité à un compteur de trafic aérien et s'avère très limité pour démontrer les bénéfices apportés par un renouvellement de flotte par exemple.

Enfin, l'utilisation d'indicateurs NAX s'avère laborieuse à mettre en œuvre dans le cadre de mesures de bruit ou d'études d'impact. Pour les représentations cartographiques sous forme de courbes de bruit notamment, la multiplicité des seuils de bruit et le nombre d'événements associés conduisent rapidement à la production d'un grand nombre de cartes (NA62/200, NA65/100, NA70/10, NA62/10, NA62/25, pour différentes périodes de la journée, etc.), ce qui peut perturber les études d'impact et rendre difficile l'exploitation des changements mis en évidence.

3 Principe du compteur d'événements sonores à points

Pour ces raisons, Bruitparif propose d'étudier le principe d'un « compteur d'événements sonores à points » (NPC pour Noise Point Counter), qui s'inspirerait des indicateurs de type NAX, mais en éviterait les inconvénients. L'idée serait de compter tous les pics de bruit générés par les survols d'avions (éliminant ainsi l'effet de seuil des indicateurs de type NAX), en pondérant chaque pic en fonction de ses caractéristiques acoustiques et de sa période d'occurrence, susceptibles d'influencer la gêne.

3.1 Principe général

Cet indicateur pourrait être calculé en deux étapes principales. Lors de la première étape, un nombre de points (NP) serait attribué à chaque pic de bruit, sur la base du calcul d'un indicateur unitaire. Pour cela, une première proposition consiste à convertir l'énergie sonore du pic de bruit, exprimée selon son SEL, en un nombre de points, en utilisant la règle d'équivalence physiologique décrite dans la littérature scientifique [25][26], selon laquelle une différence de 6 à 10 dB entre deux sons serait nécessaire pour générer une sensation auditive doublée ou divisée par deux. Le facteur de variation (entre 6 et 10 dB) reste à préciser et est noté X à ce stade. La formule de conversion de SEL en NP pourrait donc prendre la forme suivante (X et SEL_{ref} à préciser) :

$$NP = 2^{(SEL - SEL_{ref})/X}$$

Lors de la deuxième étape du calcul de l'indicateur NPC, le nombre d'événements sonores attribué au nombre de points calculés lors de la première étape serait comptabilisé par périodes jour/soir/nuit, et un compteur global serait établi à l'aide d'un ensemble de pondérations par période d'apparition (jour, soir, nuit), en tenant éventuellement compte d'une distinction entre jours ouvrables et jours de week-end, voire par saison. La formule du NPC agrégé quotidien pourrait ainsi prendre la forme suivante :

$$NPC_{den} = \alpha * NPC_d + \beta * NPC_n$$

Avec : α et β les coefficients de pondération à déterminer

$$NPC_d = \sum_{i=1}^{Nd} NP_i$$

$$NPC_e = \sum_{i=1}^{Ne} NP_i$$

$$NPC_n = \sum_{i=1}^{Nn} NP_i$$

où Nd, Ne, Nn représentent respectivement le nombre de pics de bruit identifiés pendant les périodes diurne (d pour

jour), nocturne (e pour soir) et nocturne (n pour nuit). L'objectif est de construire un nouvel indicateur global facile à comprendre et à mettre en œuvre, qui puisse rendre compte de l'évolution de l'exposition sonore et de la gêne induite pour les populations à la suite de changements dans la gestion du trafic aérien au fil du temps.

3.2 Verrous à lever

Le développement d'un tel indicateur implique essentiellement de surmonter deux verrous scientifiques principaux :

1. D'une part, la détermination de la règle de calcul du nombre de points (NP) à attribuer à un événement sonore, afin de refléter au mieux la variabilité de la gêne instantanée ressentie par les riverains en fonction des caractéristiques acoustiques des survols (intensité sonore, durée, contenu fréquentiel, etc.).

2. D'autre part, la détermination des coefficients de pondération à utiliser pour tenir compte des différences de sensibilité au bruit du trafic aérien selon l'heure de la journée, le jour de la semaine, voire la saison.

3.3 Objectifs de l'étude de faisabilité COGENAIR

L'étude de faisabilité COGENAIR vise à valider cette approche et à ajuster la formule de calcul du compteur d'événements sonores à points, en impliquant les riverains des aéroports. Des progrès seront réalisés sur les trois points suivants :

- Pertinence de l'indicateur d'unité SEL comme indice de référence pour la caractérisation acoustique des pics de bruit générés par les survols d'avions ;
- Valeurs proposées pour les paramètres X et SELref pour l'ajustement de la formule de conversion SEL en NP ;
- Détermination de coefficients de pondération pour différentes périodes, afin de tenir compte de la variabilité de la gêne à court terme pour les populations survolées.

4 Protocole d'étude

L'étude de faisabilité COGENAIR sera coordonnée et mise en œuvre par Bruitparif, l'observatoire du bruit d'Île-de-France, qui exploite un important réseau de mesures du bruit et participe à de nombreuses études et programmes de recherche (notamment DEBATS [20][21], BROUHAHA [27], SOMNIBRUIT [28], GENIFER [29]) visant à faire progresser la caractérisation du bruit et de ses impacts sanitaires et socio-économiques. Pour cette étude, Bruitparif s'appuiera sur le soutien des associations parties prenantes (la fédération régionale France Nature Environnement Île-de-France et les associations de lutte contre le bruit aérien) pour des actions de participation citoyenne.

L'étude de faisabilité COGENAIR est prévue pour une durée de deux ans (2025-2026). Elle s'appuiera sur les contributions des habitants de trois zones exposées au bruit aérien en Île-de-France. Sa mise en œuvre se déroulera en quatre phases.

4.1 Contribution citoyenne

Trois sites pilotes seront sélectionnés en Île-de-France, à proximité de chacun des deux principaux aéroports parisiens, Paris-Orly et Paris-Charles de Gaulle, ainsi que de l'aérodrome de Toussus-le-Noble, dans des secteurs où Bruitparif exploite une station permanente de mesure du bruit des avions depuis plusieurs années.

Dans la mesure du possible, ces sites seront soumis à des niveaux de bruit contrastés et survolés différemment selon les régimes de vent, les jours de la semaine et les différentes périodes de la journée (jour, soir, nuit, etc.).

Sur la base des cartes stratégiques de bruit établies dans le cadre de la directive européenne 2002/49/CE, il sera veillé à ce que le voisinage des sites sélectionnés soit peu exposé à des sources de bruit autres que le trafic aérien.

Les participants à l'étude seront recrutés parmi les habitants des sites pilotes, avec le soutien des associations impliquées dans le projet et des collectivités locales qui pourront relayer l'appel à volontaires. L'objectif est de trouver 30 volontaires sur chacun des trois sites sélectionnés, pour un total d'environ 90 participants. Il s'agit d'un compromis permettant d'avoir suffisamment de personnes par site, tout en restant gérable d'un point de vue logistique.

Le recrutement des participants à cette étude de faisabilité vise à contribuer au développement d'un nouvel indicateur de bruit, et non à représenter les caractéristiques moyennes de la population. Il ne suivra donc pas un plan d'échantillonnage aléatoire, mais reposera sur le volontariat. En particulier, le fait que les participants à l'étude incluent des personnes impliquées dans la lutte contre le bruit du trafic aérien ne doit pas être analysé comme un biais, mais plutôt comme une opportunité, dans la mesure où ces personnes sont généralement conscientes du rôle central joué par les indicateurs de bruit du trafic aérien dans le débat.

4.2 Recueil de données selon trois axes

Axe 1. Répondre à un questionnaire général pour caractériser la gêne à long terme ressentie par les participants en lien avec leur exposition au bruit du trafic aérien. Ce questionnaire sera administré en face-à-face au domicile de chaque participant et s'inspirera des questionnaires utilisés dans les études DEBATS et GENIFER [31]. Il recueillera des informations sur le profil du participant, sa situation personnelle et professionnelle, son logement, son appréciation de son quartier et de son environnement, ses habitudes de vie, la gêne liée au bruit en général et au bruit des avions en particulier, sa sensibilité individuelle au bruit et sa perception du transport aérien. Des mesures d'isolement acoustique sont prévues chez chaque participant.

Axe 2. Remplir un tableau de bord pour recueillir quotidiennement des informations sur la gêne à court terme pendant une période de deux à trois semaines, qui devra être identique pour tous les participants d'un même site, garantissant une évaluation de la gêne sur une période commune et dans les mêmes conditions de survol. Le tableau de bord devra être complété à la fin de chaque période de la journée (jour, soir, nuit). Le participant indiquera s'il était présent ou non à son domicile et, le cas échéant, devra renseigner les informations suivantes : ses principales

activités et les principales zones du domicile fréquentées (extérieur ou intérieur, fenêtres ouvertes ou fermées), le niveau moyen de gêne ressentie pendant la période par rapport au bruit du trafic aérien, sur une échelle de 0 (pas du tout gêné) à 10 (extrêmement gêné) conformément à la norme ISO-15666 [30], les moments et circonstances où la gêne était la plus forte, les éventuelles mesures d'évitement du bruit prises pendant la période (fermeture des fenêtres, port de bouchons d'oreilles, etc.) et toute autre observation qu'il souhaiterait mentionner. Les observations et les niveaux de gêne ainsi recueillis seront ensuite comparés aux indicateurs de bruit du trafic aérien mesurés à la station de mesure la plus proche, ce qui permettra d'identifier précisément les événements liés au bruit des avions.

Axe 3. L'organisation de séances d'évaluation collectives, au cours desquelles les participants à l'étude, sur chaque site pilote, enregistreront leur niveau de gêne instantanée lors des survols d'avions, dans des conditions d'exposition au bruit identiques (mêmes survols d'avions). La séance sera organisée dans un espace extérieur situé à proximité immédiate de la station permanente de mesure du bruit exploitée par Bruitparif. Des dispositifs de notation à distance seront utilisés pour enregistrer, pour chaque participant, une note de gêne sonore sur une échelle de 0 (pas du tout gêné) à 10 (extrêmement gêné), conformément à la norme ISO-15666 [30], afin d'associer les notes aux caractéristiques acoustiques du survol mesurées à la station.

4.3 Analyse des données

La gêne sera analysée à l'aide de différentes méthodologies et outils :

- Pour la gêne à long terme, une analyse descriptive des réponses aux questionnaires généraux comprendra une évaluation des facteurs significativement associés à la gêne.

- Pour la gêne à court terme, une comparaison sera effectuée entre les informations enregistrées par les participants dans les tableaux de bord (variabilité quotidienne de la gêne due au bruit du trafic aérien selon la période de la journée) et les indicateurs de bruit aérien mesurés à la station de mesure permanente la plus proche, en effectuant un recalibrage si nécessaire, selon les conditions d'évaluation (extérieur ou intérieur du logement, fenêtres ouvertes ou fermées). L'objectif est d'observer les variations de la gêne à court terme afin de déterminer les coefficients de pondération à appliquer à un compteur d'événements sonores à points pour tenir compte de la sensibilité en fonction de la période. Les modèles mis en œuvre permettront de déterminer le descripteur acoustique associé aux survols d'avions le mieux corrélé à la gêne instantanée, et de déterminer les pondérations à appliquer au nombre de points (NP) par événement sonore, afin de refléter au mieux la variabilité de la gêne instantanée ressentie par les riverains en fonction des caractéristiques acoustiques des survols. Les résultats des analyses permettront de déterminer le descripteur acoustique le plus adapté au calcul du nombre de points par événement de bruit aérien et les paramètres à mettre en œuvre dans la formule de calcul du compteur d'événements de bruit à points, notamment :

- Les pondérations à appliquer au descripteur acoustique de l'événement aérien pour le corrélérer au mieux à la gêne instantanée,

- Et les pondérations à appliquer en fonction des périodes d'apparition de l'événement aérien afin de le corrélérer au mieux à la gêne de court terme.

4.4 Evaluation du compteur sonore à points via des focus groups

Le compteur d'événements sonores ainsi développé sera implémenté en production opérationnelle au sein des chaînes de traitement des données collectées sur les stations de mesure du bruit aérien de Bruitparif. Il sera également recalculé a posteriori sur les données historiques de mesure du bruit disponibles. Les résultats de l'indicateur NPC agrégés sur l'année écoulée seront rapprochés des scores de gêne à long terme évalués par les participants lors du questionnaire général.

Des groupes de discussion avec les participants à l'étude seront organisés sur chaque site afin de partager les résultats de l'indicateur et de recueillir les retours des riverains sur sa capacité à refléter fidèlement la variabilité de la gêne due au bruit aérien selon les périodes et les conditions de survol.

5 Originalité et résultats attendus

5.1 Originalité

L'originalité de COGEN'AIR réside principalement dans quatre aspects :

- L'approche innovante et pragmatique consistant à proposer un compteur d'événements sonores à points.

- La notation des survols d'avions, in situ et par les riverains concernés par la problématique, et la comparaison avec les mesures de bruit générées par les survols d'avions, afin d'évaluer la variabilité de la gêne instantanée causée par le bruit du trafic aérien.

- La variabilité de la gêne à court terme en fonction des conditions de survol, de l'heure et du type de journée. La question de la gêne à court terme et de son évolution dans le temps a été peu explorée par les études scientifiques, la plupart se concentrant soit sur la gêne à long terme via des questionnaires standardisés [30], soit sur la gêne instantanée en conditions de laboratoire.

- L'implication des riverains dans la co-construction et l'évaluation du nouvel indicateur, cette méthodologie n'ayant jamais été mise en œuvre en France. L'implication des associations en tant que parties prenantes facilitera la mobilisation des citoyens autour de ce projet.

5.2 Résultats attendus

Le principal résultat attendu de cette étude est de valider la faisabilité du développement d'un indicateur opérationnel, tel qu'un compteur d'événements sonores à points, permettant de mieux prendre en compte la variabilité de la gêne des riverains en fonction des conditions de trafic aérien et de la période de survol. L'indicateur proposé à l'issue du projet aura été ajusté et validé par les participants, eux-

mêmes concernés par le bruit du trafic aérien. Cet indicateur pourra être déployé à titre expérimental par les observatoires du bruit et proposé aux gestionnaires d'aéroports. Il pourra ensuite être évalué de manière statistiquement plus robuste grâce à une étude à grande échelle sur différents aéroports, au niveau national ou européen. Les méthodes d'évaluation mises en œuvre dans le cadre du projet COGEN'AIR auront été suffisamment éprouvées sur le terrain pour être appliquées à plus grande échelle. En proposant un indicateur représentatif des nuisances liées au bruit du trafic aérien, élaboré en collaboration avec les riverains, l'étude COGEN'AIR fournira un outil opérationnel de suivi de l'impact des effets combinés de l'évolution du trafic aérien (nombre de survols et composition de la flotte), des modifications des procédures d'exploitation (par exemple, généralisation des descentes continues) et des éventuelles mesures complémentaires, telles que des restrictions d'exploitation, qui pourraient être mises en place sur certains aéroports, compte tenu des problèmes de bruit persistants.

L'impact attendu est une amélioration de la qualité de vie au sein des zones aéroportuaires et une réduction des impacts sanitaires, en conciliant les impératifs de gestion du trafic aéroportuaire avec la nécessité de limiter les nuisances pour les riverains et les populations concernées.

Références

- [1] ACNUSA (Juin 2023). Rapport annuel 2023.
- [2] ADEME. (Octobre 2021). Coût social du bruit.
- [3] Groupe ADP. (Janvier 2024). Trafic passagers et mouvements d'avions de Paris Aéroport pour le mois de décembre 2023 et année 2023
- [4] Étude réalisée par le CREDOC pour Bruitparif. (Juin 2022). Perception du bruit en Ile-de-France fin 2021.
- [5] Bruitparif, Le Francilophone #44, Spécial cartes stratégiques de bruit, 3^{ème} trimestre 2023.
- [6] Jarup L, Babish W, Houthuijs D et al. Hypertension and exposure to noise near airports: the HYENA study. *Environmental Health Perspectives* 2008;116:329-33.
- [7] Floud S, Vigna-Taglianti F, Hansell A et al. Medication use in relations to noise from aircraft and road traffic in six European countries: results of the HYENA study. *Occupational and Environmental Medicine* 2011;68:518-524.
- [8] Stansfeld SA, Berglund B, Clark C, Lopez-Barrio I, Fischer P, Ohrström E, Haines MM, Head J, Hygge S, van Kamp I, Berry BF; RANCH study team. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet*. 2005 Jun 4-10;365(9475):1942-9. doi: 10.1016/S0140-6736(05)66660-3. PMID: 15936421.
- [9] NORAH (Noise-related annoyance, cognition, and health).
- [10] Evrard AS, Lefèvre M, Baudin C, Carlier MC, Champelovier P, Giorgis-Allemand L, Lambert J, Léger D, Nassur AM, Laumon B, Bruitparif. Effets de l'exposition au bruit des avions sur la
- [11] Santé : résultats, à l'inclusion, de l'étude DEBATS.
- [12] Bulletin épidémiologique hebdomadaire n°28, 27 octobre 2020.
- [13] World Health Organization, WHO. (2018). Noise Guidelines for the European region.
- [14] ANSES, rapport d'appui scientifique et technique (2020). Synthèse des connaissances scientifiques concernant les effets sur la santé liés à l'exposition au bruit issu du trafic aérien.
- [15] AFNOR-ISO 532-1. (Juin 2017). Acoustics – Methods for calculating loudness.
- [16] ICCAN (2020). A review of aviation noise metrics and measurement.
- [17] K.D. Kryter. (1960). "The Meaning and Measurement of Perceived Noise Level," *Noise Control*".
- [18] K.D. Kryter. (1959). "Scaling Human Reaction to Sound from Aircraft," *Journal of the Acoustical Society of America*.
- [19] JO du 22/05/1987, page 05597.
- [20] Voir rapport final du projet de recherche européen ANIMA.
- [21] WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and effects on Sleep, Mathias Basner and Sarah McGuire, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, 15, 519.
- [22] Nassur, A.-M.; Léger, D.; Lefèvre, M.; Elbaz, M.; Mietlicki, F.; Nguyen, P.; Ribeiro, C.; Sineau, M.; Laumon, B.; Evrard, A.-S. Effects of Aircraft Noise Exposure on Heart Rate during Sleep in the Population Living Near Airports. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 269.
- [23] Nassur AM, Léger D, Lefèvre M, Elbaz M, Mietlicki F, Nguyen P, Ribeiro C, Sineau M, Laumon B, Evrard AS. The impact of aircraft noise exposure on objective parameters of sleep quality: Results of the DEBATS study in France, *Sleep Medicine* 2019, 54, 70-77.
- [24] Forum Médical Suisse. (2019). Etude SiRENE, Bruit du trafic, mortalité cardio-vasculaire, diabète, troubles du sommeil et nuisance.
- [25] Haut Conseil de la Santé Publique (2004). Avis du CSHPF du 6 mai 2004 relatif à la protection de la santé des personnes exposées au bruit des avions.
- [26] Conseil national du bruit (2019). Avis du 12 juin 2019 sur les indicateurs relatifs au bruit généré dans l'environnement.
- [27] Voir notamment les travaux de Warren et ses expériences menées auprès de 720 individus « Elimination of Biases in Loudness Judgments for Tones, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 1970.
- [28] Voir notamment les travaux de Zwicker, Fastl H., & Zwicker. (2007). *E. Psychoacoustics – Facts and Models*, third edition. Springer, Berlin
- [29] Anita Houeto & al (2022). Association entre l'exposition au bruit et le risque de maladies cardio-métaboliques (diabète de type 2, hypertension artérielle ou maladie cardio-vasculaire. 16^{ème} Congrès Français d'Acoustique, 11-15 avril 2022, Marseille.
- [30] Projet SOMNIBRUIT en cours.
- [31] Sineau M, et al. (2023). Improve knowledge of acoustics factors involved in railway noise annoyance. *Forum Acusticum*
- [32] AFNOR – ISO 15666. (Février 2003). Evaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques.