

**INTRODUCTION SUR LES
ÉMISSIONS DE BRUIT PAR LES
AVIONS ET
LES PROGRES EN MATIERE
D'ÉMISSIONS SONORES**

**G. DE MULLEWIE,
Ir. Chef de Recherche
Directeur-Adjoint CAT-CEDIA
Université de Liège**

I. Introduction

De nombreuses études ont montré que le bruit lié au trafic aérien est considéré par

la population comme étant le plus gênant parmi les bruits de trafic.

Le graphique ci-dessous met en évidence ce phénomène : pour un niveau de bruit objectif égal (par exemple LDN = 70 dBA), on constate que le nombre de personnes fortement gênées est beaucoup plus important pour un bruit de trafic aérien (54% de personnes gênées) que pour un bruit de trafic routier (26% de personnes gênées) ou de trafic ferroviaire (16% de personnes gênées).

Nous axerons notre exposé sur les thèmes suivants :

- Indicateur représentatif de la gêne ressentie par la population soumise au bruit de trafic aérien;
- Sources de bruit d'un avion;

- Procédures de certification;
- Techniques de réduction du bruit à la source;
- Autres techniques de réduction de bruit.

II. Indicateurs représentatifs de la gêne ressentie par la population soumise au bruit de trafic aérien.

II.1. Introduction

Les organismes responsables du contrôle des mouvements d'appareils et de l'urbanisation des zones habitables proches des aéroports doivent employer des méthodes de mesure qui ne caractérisent pas uniquement le bruit de l'avion, mais permettent de chiffrer la gêne ressentie par les populations soumises au bruit créé par une succession de passages d'avions.

Ces méthodes doivent être simples, nécessiter un appareillage aussi réduit que possible, et surtout doivent fournir des résultats de mesure reproductibles afin de permettre des comparaisons.

Un indice est une expression mathématique que l'on utilise pour représenter simplement une situation complexe, variable dans le temps et dans l'espace. C'est bien le cas de la situation acoustique des riverains d'aéroports, qui est bien plus complexe que celle des riverains de routes compte tenu de la distance source/récepteur et des trajectoires d'avions. Si l'on admet volontiers qu'un indice acoustique est une expression réductrice de la situation, c'est aussi un outil qui permet une mesure et surtout des comparaisons de la situation du bruit en différents points géographiques, à divers moments de la journée ou de l'année.

Un indice acoustique chiffré va donc représenter l'impact du bruit sur un individu, du point de vue de la santé et de la gêne ressentie par l'ensemble des habitants. Cet indice correspond à une exposition sonore moyenne de la population, c'est-à-dire établie sur l'année, qu'on ne peut considérer individuellement.

L'indice va être aussi utilisé pour définir des zones autour des aéroports et préciser l'urbanisme possible, pour ces différents secteurs, c'est-à-dire de concilier l'utilisation des sols et l'exploitation des aéroports par la création de documents d'urbanisme.

Un indice va aussi permettre de contrôler la qualité sonore autour des aéroports, de façon instantanée par exemple lors du passage d'un avion bruyant au cours de la journée et encore à plus long terme en chiffrant l'évolution du bruit d'année en année.

Pour être utiles les indices doivent avoir plusieurs qualités, dont le meilleur ordre semble être le suivant:

- Corrélation avec la gêne. Un indice acoustique qui représente la gêne des riverains doit avoir une bonne liaison avec les différents aspects de la gêne, selon divers moments du jour : journée, soirée, nuit. On peut même évaluer la proportion des personnes qui doivent dormir le jour du fait de leur profession;
- Précision dans la description des niveaux de bruit pour l'ensemble des aéroports, des jours de la semaine ou des mois de l'année;
- Commodité d'emploi. Facilité de mesure, de prévision. Cas de superposition de trafics;
- Clarté des formulations et des moyens d'action. Les indices dont on ne voit pas quelle action pourrait faire baisser le niveau n'auraient en effet aucun intérêt pour l'action;
- Cohérence réglementaire. L'indice retenu sera de préférence déjà utilisé ailleurs et/ou défini par une norme nationale, européenne ou internationale;

- Commodité pour la communication avec les administrations, les collectivités et les riverains. Ce dernier point revêt aujourd'hui une importance croissante.

La difficulté de relier la gêne ressentie à une unité de mesure physique entraîne l'existence d'un nombre important d'indices évaluant la gêne (NNI anglais, L_{dn} américain, indice psychologique français, ECPNL de l'OACI et de l'ISO...).

II.2. Paramètres intervenant dans l'indice d'exposition au bruit

Pour être en corrélation avec la gêne ressentie par la population, l'indice doit intégrer un ensemble de facteurs représentatifs, à savoir :

- La description du bruit provoqué par chaque passage d'avion (en niveau et en durée);
- Le nombre de passages d'avions sur la période étudiée;
- la répartition temporelle des vols (jour, soirée, nuit).

La formulation mathématique permettant d'obtenir un indice d'exposition tenant compte de ces éléments est la suivante :

$$\text{indice} = Q \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{Q}} t_i \right)$$

Q est un coefficient constant; T est la période d'examen; L_i est le niveau atteint par l'avion i; t_i est le temps de passage de l'avion i; n est le nombre de passages pendant le temps d'observation T.

Chaque indice se caractérise par le choix de la valeur Q, la manière de définir t_i; et l'unité dans laquelle s'exprime L_i.

II.3. Choix d'une unité pour le bruit aéronautique

L'évaluation de la gêne doit non seulement faire intervenir l'intensité du bruit (en décibel) et sa répartition spectrale (pondération A par exemple), mais également le temps pendant lequel on subit ce bruit et l'évolution du spectre pendant cette durée.

On entend par unité la pondération spectrale appliquée au bruit aéronautique pour l'exprimer en décibel. On sait qu'il faut distinguer la force de la sensation sonore ou sonie et les impressions de gêne parce que, par exemple, à égalité de niveau en dB(A) si on a bien la même sonie, le bruit d'un avion à réaction gêne plus que le bruit d'un avion à hélices.

Des études psychophysiques, qui mettent en relation les caractéristiques physiques du bruit et les réactions psychologiques, ont été conduites particulièrement aux Etats-Unis, où le développement de l'aviation à réaction a été la plus précoce.

Kryter a défini la bruyance d'un son (quelquefois appelée erronément nuisance par certains auteurs). La bruyance d'un son est une grandeur associée à ce son permettant de chiffrer la manière dont ce son est accepté ou toléré par un auditeur. L'unité de la bruyance est le noy, probablement nommée ainsi à cause du terme annoyance qui signifie gêne en anglais. On dira qu'un son de 8 noys est deux fois plus gênant qu'un son de 4 noys et inversement. Comme la bruyance est une caractéristique du son fort semblable à la sonie, on a défini aussi le niveau de bruyance (ou niveau de bruit perçu) qui sera semblable au niveau d'isophonie.

Le niveau de bruit perçu est donc une unité permettant le passage de l'unité purement subjective qu'est le noy à une unité objective courante telle que le décibel. Le niveau de bruit perçu se mesure en PNdB (perceived noise décibel).

Cette notion de bruyance d'un son se révèle être particulièrement appropriée

pour la mesure des bruits d'avions, car c'est précisément la gêne engendrée par ce bruit qu'il est important de connaître plutôt que la force relative de ce bruit.

Les travaux de Kryter ne se sont pas limités à établir la différence entre la sonie

et la bruyance d'un son, mais ont permis de définir des courbes analogues aux courbes d'isotonie que l'on peut nommer courbes d'égale bruyance ou courbes d'isobruyances.

Ces courbes permettent de trouver la bruyance de sons à spectre régulier, analysés en bandes de tiers d'octave. La courbe de 1 noy a été choisie arbitrairement comme étant la courbe d'isobruyance passant par le point 40 dB à 1000 Hz.

Le calcul du PNdB (Perceived Noise Decibel)

Le calcul d'un niveau de bruit en PNdB est complexe; il nécessite d'abord une

décomposition du spectre en tiers d'octave puis un calcul de correction prenant en compte toutes les courbes de noys, selon les fréquences et les intensités des points de ce spectre. Chacune des 24 bandes (correspondant aux 24 tiers d'octave comprises entre 50Hz et 10000 Hz) se voit attribuer un niveau N_i reflétant la gêne sonore et exprimée en noys. Le niveau global au temps t se calcule alors comme suit :

N_i est la bruyance partielle en noys, M_{\max} est la bruyance partielle maximum.

A partir de la bruyance totale exprimée en noys, on peut alors calculer le niveau de bruit perçu par la relation :

PNL est le niveau perçu en PNdB; N_i est la bruyance en noys.

sons purs et l'unité PNdB devient une unité TPNdB (Tone Perceived Noise Decibel).

On peut également utiliser la relation approchée $PNL = 33,3 \log N_i + 40$.

La norme NBN S01-301 donne la correction C telle que $TPNdB = PNdB + C$

Si le spectre comporte des irrégularités, par exemple des raies de fréquences discrètes, une correction est apportée, en fonction de l'émergence du niveau dans un tiers d'octave par rapport à ses voisins; cette correction est appelée correction de

La pondération PNdB donne aux fréquences moyennes et hautes de 1000 à 10 000 Hz plus d'importance qu'elles n'en ont dans les autres pondérations (A,B). Ces fréquences sont très présentes dans les spectres du bruit des réacteurs et sont

responsables de l'accroissement de gêne provoquée par ces spectres, par rapport à leur seule intensité sonore.

Après le développement des réacteurs à simple flux (Caravelle) où le jet était la source prépondérante d'un bruit de spectre continu, la deuxième génération de propulsion, dite à double flux, a permis une diminution très sensible du bruit total (-8 PNdB). Une troisième génération de réacteurs, avec une grande dilution des gaz (Airbus) a procuré un nouveau gain de 8 PNdB. Cependant, le ventilateur (la soufflante) disposé à l'entrée du réacteur provoque la génération de raies de fréquences pures, dont la prise en compte est réalisée dans l'unité TPNdB.

Cette méthode est très précise mais aussi très complexe. Elle a été adoptée par les instances internationales, notamment par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI). Elle est obligatoire pour la certification des avions dans tous les pays.

L'usage de l'unité PNdB ou TPNdB est donc justifié :

- par la nature du bruit aéronautique;
- par la précision de la méthode;
- par son usage universel, qui permet les comparaisons entre tous les avions.

Cependant, cette méthode est complexe et un inconvénient simple est qu'on ne peut pas mesurer directement un bruit en PNdB; il faut le calculer et cela est frustrant pour qui voudrait vérifier les mesures et les calculs.

On notera en outre que la validation de cette unité PNdB s'appuie sur des travaux en laboratoire avec des bruits enregistrés à une distance réduite des avions et restitués par des chaînes haute-fidélité, auxquels les personnes interrogées attribuent des niveaux de sonie et des notes de gêne.

Or le bruit reçu par un riverain, lorsqu'il est situé à 1 kilomètre ou même à plusieurs kilomètres de la trajectoire de l'avion, subit des modifications liées à plusieurs phénomènes dont certains ont un effet sensible sur la composition spectrale du bruit reçu, ce qui rend plus délicate la prévision du bruit perçu au sol.

Le dB(A)

Une autre unité de pondération des décibels peut être envisagée parce qu'elle est employée dans de nombreuses situations de bruit de transport terrestre et, exceptionnellement pour l'instant, aérien. Il s'agit du dB(A). Les avantages de cette unité sont :

- un usage très répandu, ce qui permet de mesurer des bruits de sources différentes : cet aspect est particulièrement important pour le bruit des avions qui est très rarement la seule source de bruit dans l'environnement des aéroports, car il y a nécessairement d'autres sources extérieures (bruit routier plus ou moins fort) et des sources intérieures (bruits domestiques);
- une installation systématique de cette courbe de pondération A sur les appareils de mesure, ce qui permet une lecture directe des niveaux de bruit.

Cependant, à la lumière de ce qui vient d'être précisé à propos des modifications de l'intensité du bruit et de sa composition spectrale, à longue distance le bruit des avions sera caractérisé physiquement par un aspect sourd, celui d'un spectre chargé en fréquences graves, les fréquences aiguës s'étant fortement atténuées avec l'absorption de l'atmosphère et du sol. On sait que l'appareil auditif atténuera beaucoup la perception de ces sons graves mais on ignore quelle gêne ce type de bruit va procurer, les travaux expérimentaux pour établir les courbes PNdB ayant été réalisés avec des bruits de proximité.

On notera qu'un groupe de travail de l'ISO (International Standardisation Office) réfléchit à l'adoption du dB(A) pour caractériser le bruit des avions. Si un changement d'utilisation du PNdB pour le dB(A) doit intervenir dans une future norme, l'OACI devra statuer avant toute adoption définitive de la nouvelle unité.

La description d'un événement unique : le niveau sonore d'un passage d'avion

Le bruit d'un avion qui passe sera perçu pendant quelques secondes ou plusieurs minutes suivant son altitude et sa vitesse au dessus du point d'observation et selon le niveau de bruit ambiant. On appelle descripteur la grandeur que l'on utilise pour quantifier le bruit produit par le passage d'un avion. Il existe deux catégories de descripteurs :

- ceux qui retiennent que le niveau maximum de bruit perçu au cours du passage de l'avion;
- ceux qui intègrent le phénomène de durée et qui sont fondés sur une mesure d'énergie acoustique.

Dans chacune de ces catégories, les descripteurs se différencient par l'unité de mesure du bruit instantané que l'on utilise. Les quatre principaux descripteurs sont :

- LAMAX : niveau maximal de bruit en dB(A);
- LAE ou SEL : niveau de bruit en dB(A) intégrant la durée (SEL = Sound Exposure Level);
- LPNMAX : niveau maximal de bruit en PNdB;
- LEPN : niveau de bruit en EPNdB (Effective Perceived Noise Decibel) intégrant la durée.

Après avoir repéré le maximum du bruit, on apporte une correction de durée, définie par une convention internationale de l'OACI d'octobre 1976. On définit d comme étant la durée pendant laquelle le niveau de bruit se situe au dessus du niveau ($L_{max} - 10$).

La prise en compte de cette durée d'exposition conduit à la notion de niveau efficace de bruit perçu, noté EPNL (Effective Perceived Noise Level).

La prise ne compte de la durée d'un survol d'avion par l'unité dB(A) suit le même principe. On note sur la figure ci-dessous la correspondance entre les différentes grandeurs. Le passage d'un avion militaire à 350 m de distance et à une vitesse de 600

Km/h fournit la signature caractérisée par un niveau maximum LAMAX de 101 dB(A). L'énergie équivalente calculée pour un niveau LAMAX - 10 dB, soit à 91 dB(A) est de $Leq = 97,0$ dB(A) pour une durée de 6 secondes.

Le même calcul pour un niveau de 65 dB(A) fournit, une valeur de 92,8 dB(A) pour une durée de 17,5 secondes, d'où une différence assez grande de 4,8 dB(A) entre les 2 valeurs. Si on ramène ces deux valeurs de Leq à une durée de 1s, on obtient respectivement des SEL (Sound Exposure Level) de 105,3 et 105 dB(A) ce qui est plus homogène et qui tend à valider l'intérêt de cette façon de mesurer le bruit. De cette façon, on saura additionner les bruits de plusieurs avions et calculer une énergie répartie sur une durée de 24 heures, ou sur une période de jour ou bien de nuit, et non plus concentrée sur 1 seconde.

II.4. Le cumul des bruits évolutifs pendant une journée

Contrairement aux bruits routiers où les véhicules sont nombreux et où les pointes de bruit sont courtes, les survols des avions procurent des bruits d'une certaine durée

et espacés au moins de 2 à 3 minutes, lorsque le trafic de l'aéroport est à son maximum, intervalle pouvant être réduit à 1 minute 30 secondes en cas de pistes parallèles.

On vient d'exposer comment chacun de ces bruits est évalué, soit avec le niveau maximal atteint (en dB(A), dB(D) ou PNdB) soit en tenant compte de l'évolution du bruit pendant la durée de chaque événement, en EPNL ou SEL.

Après un certain temps d'observation (une journée par exemple), il aura été relevé un nombre n important d'événements sonores, caractérisés chacun par une valeur unique, telle que le niveau en EPNdB. La gêne cumulée produite dans ce temps dépend de ces niveaux, du nombre n , et aussi de l'heure de la journée où s'est produit chaque événement, un bruit étant plus gênant à 23 h qu'à 11 h. On tient donc compte de pondérations particulières suivant l'heure d'apparition du bruit.

II.5. Exemple 1 : l'indice psophique

L'indice psophique (du grec ancien *Psophos* qui signifie bruit, fracas) est l'indice utilisé en France pour quantifier l'exposition au bruit autour des aéroports. Il est fondé sur l'utilisation du LPNMAX comme descripteur. La base de temps étant la journée, le descripteur LPNMAX représente l'exposition au bruit d'un trafic journalier.

où L_j est le niveau maximal de bruit en PNdB du $i^{\text{ème}}$ avion, n est le nombre de mouvements de jour (6h-22h) et p est le nombre de mouvements de nuit (22h-6h).

On obtient donc une valeur très proche par la formule $IP = PNL + 10 \log (n + 10p) - 32$ où PNL est le niveau moyen des crêtes en PNdB.

L'indice psophique peut être établi à partir d'un modèle de calcul (simulations informatiques) ou sur base de mesures sur le terrain. La procédure consiste à mesurer pendant plusieurs jours tous les avions qui survolent la zone concernée. Un système automatique enregistre les niveaux de bruit, les sens du mouvement, l'atterrissage ou le décollage, l'heure. Dans une

Le trafic de nuit est considéré comme 10 fois plus gênant que le trafic de jour. Le nombre de mouvements de nuit est donc pondéré par un facteur 10.

La formulation de l'indice psophique, IP, est obtenue à partir de la règle de composition des niveaux de bruits instantanés. L'énergie totale ramenée à sa moyenne par minute en la divisant par 1440 (24 heures = 1440 minutes).

deuxième phase, les enregistrements sont dépouillés et chaque type d'appareil est caractérisé par deux niveaux moyens de bruit, celui des passages en EPNdB et celui des niveaux (en PNdB). A l'aide du catalogue des niveaux de bruit et à partir de la composition du trafic, on construit, selon les pourcentages de décollages et atterrissages un calcul de l'indice psophique sur une journée. Connaissant le trafic annuel réel, on parvient à fournir des valeurs représentatives de l'IP.

II.6. Exemple 2 : le LDN

Aux Etats-Unis et en Belgique, l'indicateur utilisé est le LDN (Day and Night Level). Il s'agit d'un indicateur basé sur le niveau équivalent Leq pondéré en dB(A). Le Leq de la période nocturne, de 22 h à 7 h est majoré de 10 dB, c'est-à-dire exactement d'une même quantité que l'indice psophique.

Son expression mathématique est la suivante :

où $T = 86400$ s (période de 24 heures) et $g_i = 1$ (de 7 h à 22 h) ou 10 (de 22 h à 7 h).

L'expression peut également s'écrire :

III. Source de bruit d'un avion

Deux sources principales de bruit doivent être considérées :

- d'une part le bruit des moteurs de l'avion

- d'autre part, le bruit dit "aérodynamique" provoqué par le 'glissement' de l'avion dans l'air.

III.1. Bruit des moteurs

Le principe du turbo réacteur est de rejeter à grande vitesse l'air aspiré par la partie avant du moteur.

En sortie de celui-ci sont éjectés des gaz à vitesse et à température élevée.

Ces gaz vont rencontrer l'air ambiant et provoquer de fortes turbulences. Les molécules d'air se trouvant dans les zones

de turbulence vont être soumises à de fortes variations de pression ce qui va provoquer des niveaux de bruits très importants.

C'est le bruit caractéristique des avions subsoniques de première génération (fin des années 50) composé de craquement caractéristiques.

Dans les années 60, les fabricants améliorent le rendement de leur moteur à réaction en augmentant le diamètre d'entrée (on prend plus d'air, mais on le sort à vitesse moindre) et mettent au point les moteurs à double flux.

Le flux central passe dans le réacteur, tandis que la partie latérale du flux est accélérée mécaniquement et court-circuite le réacteur

Le flux secondaire arrive alors en sortie avec une vitesse et une température nettement inférieure et provoque donc moins de turbulence.

Il forme un interface entre l'air ambiant et le flux primaire.

Le niveau de bruit créé est donc beaucoup moins important.

Au début des années 70, on commence à voir apparaître des turboréacteurs à fort taux de dilution. Le diamètre d'entrée devient de plus important, et il en va de même pour le rapport entre le flux secondaire et le flux primaire. Les gains sur les niveaux de bruit augmente également. On peut considérer que entre les premiers turboréacteurs et les moteurs actuels, la nuisance acoustique a diminué de 75%.

La contribution au bruit global des différents éléments du réacteur a changé également.

Le bruit de jet n'est plus dominant. Et dans les moteurs à forte dilution, on entend maintenant également le ventilateur d'entrée, le bruit de la turbine et du compresseur.

III.2. Bruit aérodynamique

Comme tout objet se déplaçant dans l'air, un avion en déplacement provoque des turbulences et donc du bruit. Moins les surfaces sont lisses et profilées, plus le bruit provoqué va être important.

On remarque par exemple en cabine, l'augmentation du niveau de bruit lorsque les volets sont sortis, et plus encore lorsque le train d'atterrissage est déployé.

Lorsque l'avion est en approche et donc que le régime des moteurs est diminué, le bruit aérodynamique peut devenir dominant.

A titre d'exemple, le seul bruit aérodynamique provoqué par un Boeing 747 à une altitude de 100 mètres peut atteindre 75 dBA au sol.

Le bruit aérodynamique peut être réduit en étudiant le profilage des différentes parties de l'avion.

Airbus a obtenu des résultats intéressants en utilisant un film spécial sur les ailes ainsi que des microperforations sur les bords d'attaque des ailes.

IV. Procédure de certification

La procédure de mesure du bruit rayonné par un avion est définie dans l'annexe 16 de l'OACI (Organisation de l'Aviation Internationale). Il s'agit d'une mesure de certification imposant un niveau sonore maximal en trois points représentatifs de l'impact acoustique aux alentours de l'aéroport. Cette méthode particulièrement complexe permet de tenir compte de tous les paramètres de vol de l'appareil et ne peut être réalisée qu'à l'aide

d'appareillages assez complexes. Cependant, elle permet d'obtenir des résultats très reproductibles. C'est sur base de ces mesures que les avions reçoivent

leur certification en matière de bruit. Les trois points de mesure sont représentés à la figure ci-dessous.

Le premier point est représentatif du bruit lors de l'atterrissage, le deuxième du bruit perçu latéralement lorsque l'avion est sur la piste, alors que le troisième point est significatif du bruit produit par le décollage.

En chacun des trois points, le niveau EPNL (dB) mesuré ne doit pas excéder un seuil qui est fonction du poids de l'avion.

L'année 1977 est une date pivot pour la certification, en effet, le chapitre 2 de l'annexe 16 de la Convention de l'aviation civile internationale définit les valeurs seuils à appliquer aux avions conçus avant octobre 1977.

Le chapitre 3 contient des limites plus sévères (d'environ 4 dB) et sont applicables aux avions conçus après cette date.

L'adjonction d'avion "chapitre 2" dans les flottes des compagnies européennes a été proscrite en 1990.

Une directive CEE de 1992 fixe les modalités du retrait des avions du chapitre 2 dès que l'avion atteint 25 ans d'âge. Le retrait complet de ce type d'avion doit ainsi être achevé avant le 1er avril 2002.

Les avions dits "hushkittés" sont ceux qui sont soit non certifiés, soit certifiés "chapitre 2" et qui ont été munis de dispositifs atténuateurs de bruit pour répondre aux normes du chapitre 3. Il faut bien garder à l'esprit que ces appareils restent malgré tout des avions de conceptions anciennes et qui demeurent donc malgré tout bruyant par rapport aux autres avions du chapitre 3.

Le règlement CEE n° 2408/92 du Conseil précise que lorsque des problèmes environnementaux se posent, un Etat membre peut limiter l'accès à un aéroport (par exemple, interdiction de nuit à Londres, Manchester, Schipol,...).

V. Techniques de réduction de bruit à la source.

Beaucoup de sons purs sont émis par le système de la soufflante d'entrée et son interaction avec la turbine.

Ceux-ci proviennent de plusieurs origines :

- "buzzsaw noise"
- distorsion flux d'air
- interaction ventilateur-rotor-stator-aube de guidage

Au niveau de la turbine, on jouera également sur le nombre de pales à chaque étape.

Les techniques de réduction qui sont utilisées sont propres à ces différentes composantes.

Le "buzzsaw noise" peut être contrôlé de 3 façons :

- conception adaptée des pales
- similitude des pales
- matériaux absorbants dans la section d'entrée

Le bruit provoqué par la distorsion du flux d'entrée peut être diminué par un profilage adéquat de la section d'entrée.

Les interactions entre parties tournantes et aubes fixes peuvent être diminuées en sélectionnant correctement le nombre de pôles et aubes fixes ainsi qu'en choisissant correctement leur écartement.

Le "jet noise", bruit de sortie du flux primaire peut être atténué de deux manières.

D'abord, en jouant sur la géométrie du système de sortie, on peut influencer favorablement le profil de vitesse en sortie et donc réduire le bruit.

Ensuite, en mélangeant les flux rapidement et correctement, comme montré sur la figure ci-dessous :

VI. Autres techniques de réduction ou de gestion du bruit

Outre les réductions de bruit à la source qui constituait le thème de cet exposé, les autres techniques de réduction ou de gestion de bruit sont :

- Procédure d'atterrissage et de décollage moindre bruit
- Route optimisée
- Restriction de trafic
- Mesure de maîtrise de l'urbanisme
- Limitation des opérations au sol
- Action sur les taxes et redevances aéroportuaires
- Aide financière aux riverains
- Sanction
- Système de surveillance du bruit et des trajectoires

Références

- Bruit des avions - Numéro spécial Echobruit juin 1996.
- La maîtrise des nuisances sonores sur les aéroports européens - La documentation Française Avril 98.
- Aircraft Noise - Michael J.T. SMITH - Cambridge university Press, 1989.
- Noise Source in Aviation - P.J. WALSH. Communication KUL 24/09/98.
- An European Research Initiative for Jet Aircraft noise reduction
D. COLLIN - Communication KUL 24/09/98