

L'acoustique en aéronautique

Dominique Collin & AI
 SNECMA groupe SAFRAN
 CD 57
 VILLAROCHE
 77550 MOISSY-CRAMAYEL
 E-mail : dominique.collin@sneema.fr

Les normes internationales applicables aux avions de transport sont élaborées par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). En considération de la longueur des cycles (recherche, conception, développement, production, opération, évolution des infrastructures) impliqués dans le fonctionnement du transport aérien, leur objectif est de promouvoir une nécessaire stabilité à même de permettre aux constructeurs d'anticiper les besoins futurs. La norme actuellement en vigueur dite Chapitre 4 est applicable depuis le mois de janvier 2006. En parallèle, et afin de contenir toute augmentation des zones d'exposition au bruit, des recommandations ont été faites en faveur d'une «Approche équilibrée» stimulant la réduction du bruit à la source par le biais de la recherche tout en promouvant des actions complémentaires comme les procédures à moindre bruit, la planification de l'occupation des sols et les restrictions opérationnelles considérées comme une solution de dernier recours.

Les avions commerciaux sont tenus d'être certifiés du point de vue acoustique. La certification acoustique se présente sous la forme de niveaux de bruit, exprimés en EPNdB, à trois points de référence : point latéral, point de survol au décollage et point d'approche à l'atterrissage (Figure 1). Les

niveaux limites autorisés dépendent du nombre de moteurs de l'avion et de la masse maximale certifiée au décollage et à l'atterrissage.

Ce schéma OACI (3 points de contrôle, limites en fonction de la masse de l'avion au décollage), adopté depuis les origines de la certification acoustique au début des années soixante-dix, a été accompagné au cours du temps, d'un certain nombre de mesures visant à augmenter la sévérité des normes destinées aux avions futurs, ainsi qu'à limiter (arrêt de production), puis interdire (retrait) les opérations des avions correspondant au standard technologique précédent.

Des limitations plus contraignantes peuvent être imposées par les aéroports dans le souci de régler des problèmes de nuisances locales. Ces règlements locaux se traduisent, par exemple, par des taxes de bruit, des limitations du nombre d'opérations par jour en fonction des niveaux de bruit de la flotte, des interdictions d'opérer la nuit pour les avions les plus bruyants.

En 2002, la Commission européenne a émis deux directives concernant le bruit des avions. La première (DG TREN 2002/30/EC «Noise Related Operating Restrictions at Community Airports») vise à mettre en œuvre la politique d'approche équilibrée prônée par l'OACI, harmonisant le processus d'établissement des normes locales à l'intérieur de l'Union.

La seconde (DG ENV 2002/49/EC «Assessment & Management of Environmental Noise» aussi appelée END) s'inscrit dans le cadre général de la politique bruit de l'UE, conduisant à évaluer la situation des nuisances sonores pour l'ensemble des modes de transport et demandant ensuite l'élaboration de plans d'actions visant à les réduire.

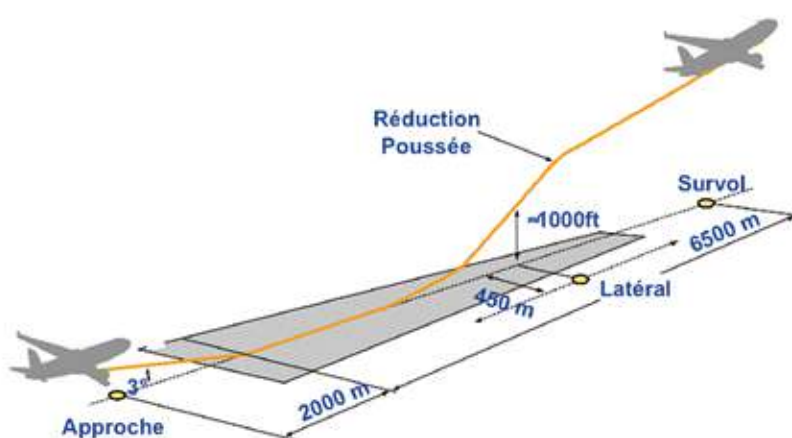


Fig. 1 : Certification acoustique - Points de mesure

Les origines du bruit d'un avion

À la base du bruit émis par l'ensemble propulsif, on trouve plusieurs sources de bruit (Fig.2) directement liées aux composants du moteur (soufflante, turbines, chambre de combustion) ainsi que le bruit de jet, résultant du mélange des gaz chauds éjectés à haute vitesse avec l'atmosphère.

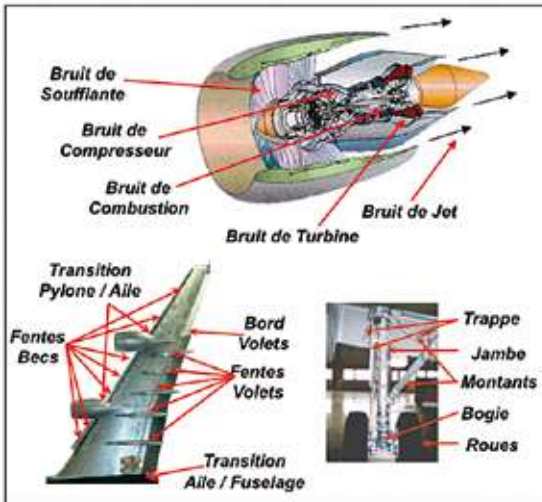


Fig. 2 : Origine des sources de bruit moteur et de bruit aérodynamique d'un avion

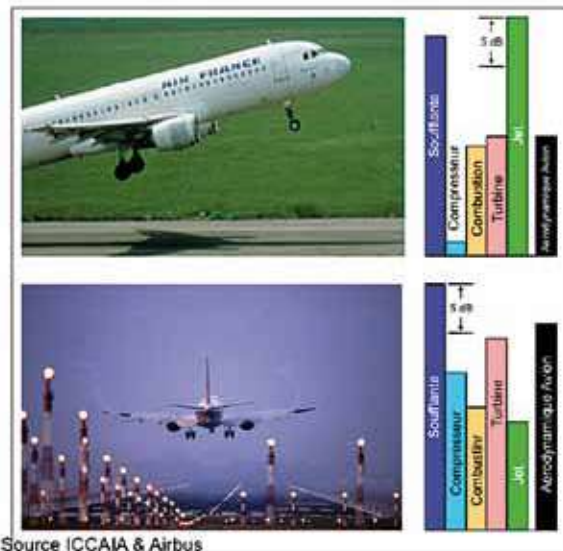


Fig. 3 : Importance relative des différentes sources de bruit pour les moteurs actuels

Un certain nombre de facteurs importants peuvent être également associés aux caractéristiques de l'avion lui-même : effets de vol, effets d'installation mais aussi bruit aérodynamique en condition d'approche dû aux turbulences créées autour de l'avion (bruit des volets, des becs, du train d'atterrissage...)

Enfin, il importe de prendre en compte l'influence des conditions extérieures et notamment de la propagation dans l'atmosphère (Fig.3).

L'importance relative de ces sources varie en fonction des phases de vols, en particulier avec les conditions d'approche et de décollage. Au décollage, les bruits dominants sont le bruit de soufflante et le bruit de jet, et à l'approche, ce sont le bruit de soufflante et le bruit aérodynamique.

Facteurs influant sur l'émission de bruit des avions

L'évolution de la technologie des moteurs, des types à faible taux de dilution (1^e génération de turbosoufflante) produisant la poussée requise par le biais de vitesses d'éjection élevées vers des types à fort débit (2^e génération) permettant d'assurer une poussée équivalente avec des vitesses d'éjection réduites, a permis une réduction simultanée du bruit et de la consommation de carburant. L'introduction dans les années 1970 de ces moteurs à taux de dilution élevé fut en effet à l'origine d'une amélioration importante du niveau de bruit des avions (figure 4).

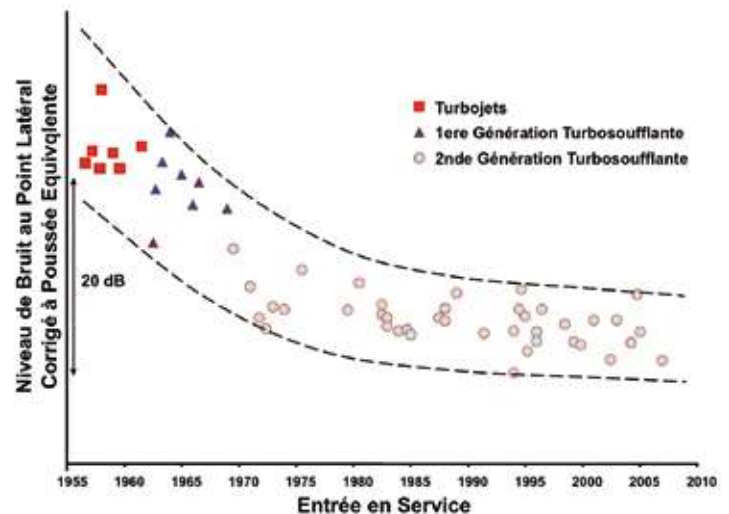


Fig 4 : Evolution du niveau de bruit des avions

N'étant plus exclusivement dominé par le bruit de jet (directement lié à la vitesse d'éjection), ce type de moteurs se caractérise par une signature acoustique plus complexe, impliquant l'ensemble des composants à des degrés divers, suivant les points de contrôle en certification comme observé sur la Figure 3.

La prise en compte de critères acoustiques dès la conception a conduit en premier lieu à réduire le bruit émis au niveau des organes du moteur. Des matériaux absorbants placés dans la nacelle ont ensuite permis d'atténuer le bruit au cours de sa propagation. L'application de ces techniques, dites passives, a contribué aux cours des dernières décennies à une réduction significative du bruit des aéronefs, mais les compromis optimaux entre performances des composants moteurs et bruit produit sont désormais régulièrement atteints. Un nouveau saut technologique s'avère donc nécessaire à la satisfaction d'objectifs "bruit" plus ambitieux.

Dans cette optique, outre la réduction essentielle du bruit aérodynamique de l'avion, il convient également de prendre

en compte les caractéristiques spécifiques des concepts de motorisation futurs (Très Grand Taux de Dilution) à consommation et émissions polluantes réduites. Ce type de moteurs nécessitant des nacelles plus courtes et plus minces, fera état d'une contribution prépondérante du bruit de soufflante à régimes partiel et maximal, accompagnée de fréquences d'émission plus basses.

En regard, il faudra conserver des atténuations importantes malgré des surfaces réduites, atténuer en basse fréquence avec un encombrement minimal, couvrir une large bande de fréquence avec une efficacité maximale sur les raies et assurer avec le même dispositif une atténuation optimale à l'approche et au décollage.

Il convient également de mettre en avant la nécessité de considérer globalement, et dès les phases d'avant-projet, l'optimisation des ensembles propulsifs futurs vis-à-vis des contraintes environnementales (Bruit, CO₂, NO_x). Cette démarche, qui fait désormais partie intégrante des pratiques des constructeurs, permettra de bénéficier pleinement des gains attendus des programmes de recherches technologiques en cours.

Développement des nouvelles technologies

Les travaux prioritaires sur **les technologies de réduction de bruit des moteurs**, concernent le développement et la mise en place de méthodologies de conception aéroacoustique des soufflantes (aubes fixes et mobiles) dans le but de réduire à la source les émissions de fréquences discrètes, puis à terme, de bruit large bande. Cette approche requiert l'utilisation combinée de méthodes aérodynamiques et de méthodes de prévision basées sur la modélisation physique des mécanismes générateurs de bruit. Par ailleurs, un certain nombre de systèmes novateurs sont explorés, comme le concept de stator actif.

Une évolution significative **des systèmes réducteurs de bruit implantés dans les nacelles** est également à l'ordre du jour. Les nouvelles technologies envisagées correspondent à l'amélioration des traitements passifs actuels ainsi qu'à l'application à des degrés divers des techniques actives (adaptation d'impédance ou contrôle actif). Elles répondent en particulier aux besoins futurs d'efficacité optimale indépendante des surfaces disponibles et des conditions de fonctionnement. Une réduction supplémentaire du bruit de soufflante, d'une part, et du bruit de jet, d'autre part, est attendue des différentes études consacrées aux concepts de nacelles «3D» (entrée d'air biseauté, tuyères cannelées...). Enfin, la réduction du bruit de combustion sera obtenue par le développement de nouveaux matériaux absorbants à même de résister aux températures élevées et implantés dans les différents éléments du système d'éjection primaire.

Des solutions de réduction du bruit aérodynamique avion sont en cours de développement principalement pour les trains d'atterrissage et les hypersustentateurs. Cet axe de travail consiste à évaluer l'impact de ces systèmes de réduction de bruit sur le niveau de bruit total en approche, et à valider les gains obtenus par des essais en vol (démonstrateur). On vise également à acquérir une

connaissance détaillée de la localisation des sources de bruit aérodynamique sur un avion complet et des mécanismes de génération qui les régissent.

Les solutions et concepts industriels mentionnés plus haut s'appuient sur un certain nombre de travaux fondamentaux à caractère transversal, comme ceux mentionnés ci-dessous :

- Modélisation physique et outils numériques

En marge de l'expérimentation, qui continue à jouer un rôle de premier plan grâce à sa capacité à fournir des informations sur les systèmes les plus complexes, la modélisation numérique prend une part croissante dans le cycle de production aéronautique pour la prévision des bruits externe et interne, et cela dès les premiers stades de conception.

Les défis auxquels la modélisation numérique en aéroacoustique doit faire face sont nombreux et souvent spécifiques par rapport au développement de la mécanique des fluides numériques. Du point de vue de l'industriel, la démarche vise plus généralement à améliorer en qualité comme en délai, la phase de développement d'un produit, notamment en remplaçant au maximum les expérimentations longues et coûteuses par des simulations numériques souples, économiques et précises.

Cette ambition nécessite des outils numériques complexes dont le développement est relativement récent et qui doivent s'affirmer dans l'avenir. L'évaluation des performances des outils de simulation existants ou futurs par le biais des *benchmarks* expérimentaux et numériques est capitale pour accompagner le développement des innovations technologiques.

- Technologies actives

Les techniques dites actives, qui font appel à des sources auxiliaires pour combattre le bruit émis, constituent une voie prometteuse pour repousser les limites du compromis entre performances et bruit produit, d'autant plus que toutes les sources de bruit aéroacoustiques (soufflante, jet, combustion, gouvernes...) sont susceptibles d'être traitées par de telles techniques.

Plusieurs concepts sont actuellement à l'étude. Ces solutions sont basées sur des techniques d'anti-bruit (annulation par mise en opposition de phase de deux bruits identiques) et de contrôle des écoulements, visent à assurer une réduction maximale du bruit en s'adaptant aux conditions de vol. L'intégration des sources auxiliaires dans les composants de l'ensemble propulsif reste un axe de travail essentiel.

- Matériaux

Pour optimiser finement les traitements acoustiques, la compréhension détaillée des mécanismes d'absorption et de leur interaction avec l'écoulement aérodynamique notamment aux forts niveaux reste à améliorer. Deux axes de développement sont ici envisagés : d'une part, l'optimisation des répartitions d'impédances dans une manche à air ou dans un conduit en vue de limiter le bruit rayonné et d'autre part, la mise au point de modèles théoriques rendant compte du couplage des mécanismes d'absorption avec la couche limite aérodynamique.



SILENCE(R) est le projet de recherche le plus important jamais initié par la Commission européenne en matière de réduction des émissions sonores des avions. Lancé en avril 2001 dans le cadre du 5^e programme-cadre européen de recherche et de développement (PCRD), le budget du programme SILENCE(R) s'établit à 112 millions d'euros, financé pour moitié par la Commission européenne. SILENCE(R) a regroupé 51 partenaires, dont les principaux constructeurs et organismes de recherches ainsi que des PME-PMI de haute technologie. SNECMA était en charge de la coordination du projet.

Achevé en juillet 2007, SILENCE(R) a essayé avec succès plus de 35 prototypes, permettant de valider dix nouveaux concepts technologiques de réduction des émissions sonores.

Citons ainsi une nacelle «silencieuse» de nouvelle génération, incluant une entrée d'air biseautée (NSI ou *Negatively Scarfed Intake*) et une tuyère cannelée (SQUID) équipée de revêtements absorbants haute fréquence, testée en vol sur un Airbus A320.

Des essais en vol ont également été réalisés sur un A340 avec des trains d'atterrissage équipés de carénages destinés à réduire le bruit aérodynamique de l'avion.

Concernant les applications à plus long terme, SILENCE(R) a par ailleurs effectué un pas important vers la maîtrise de systèmes actifs dédiés à la réduction du bruit de soufflante.

En associant des procédés novateurs en matière de réduction du bruit à un ambitieux programme de validation technologique, SILENCE(R) a permis de réaliser une avancée significative vers les objectifs ACARE visant une réduction de 10 dB des émissions sonores des avions, à l'horizon 2020.

Mise en place d'une initiative de recherche européenne

L'aspect compétitif reste évidemment crucial dans ce contexte général comme en témoignent les initiatives de recherche américaines, coordonnées au niveau fédéral. L'Europe a toutefois su s'organiser en conséquence, que ce soit au niveau national ou communautaire, comme décrit ci-après.

Les objectifs généraux, élaborés dès 1995 dans le cadre de la *Task Force Aéronautique* (ATF) établie par la Commission européenne et les constructeurs visent à satisfaire les aspirations des riverains à une amélioration des conditions de vie autour des aéroports et à favoriser en parallèle le développement durable du transport aérien sans impact négatif sur l'environnement. Les propositions faites

à cette occasion par l'industrie européenne en vue d'un avion respectueux de l'environnement furent consolidées et étendues en 2002, lorsque fut créé l'ACARE (*Advisory Council for Aeronautical Research in Europe*), structure de réflexion rassemblant l'ensemble des intervenants du secteur aéronautique. L'ACARE reprit à son compte les conclusions du rapport *Vision 2020* pour préciser les moyens à mettre en œuvre et développer au passage des objectifs chiffrés. Cinq «*Challenges*» dont l'Environnement furent identifiés et rassemblés au sein de la première édition de l'Agenda de recherche stratégique (SRA-1) publié par ACARE en octobre 2002.

Au sein du «*Challenge*» Environnement, la réduction du bruit étant clairement affichée comme une priorité, pour les raisons exposées au paragraphe précédent, des objectifs ambitieux furent établis pour l'horizon 2020 :

- Réduire le bruit perçu de 10 dB par opération ;
- Contenir les nuisances sonores dans le périmètre de l'aéroport ;
- Réduire de 50% la surface d'exposition au bruit par opération pour les hélicoptères ;
- Maintenir le *leadership* technologique.

Dans la foulée du SRA-1, ACARE a publié en 2005 une seconde édition (SRA-2) apportant des éléments complémentaires à la finalisation d'une stratégie à l'horizon 2020, insistant en particulier sur une approche système et revisitant en toile de fond un certain nombre de scénarios d'évolution du transport aérien (*Ultra Green Air Transport System*).

La structure retenue pour cet effort de recherches européen repose en premier lieu sur le concept de réseau. Agissant à plusieurs niveaux, il permet d'assurer la coordination des programmes existants et la préparation des programmes futurs ainsi que d'assurer la complémentarité entre programmes nationaux et communautaires. Il remplit aussi des missions clairement exprimées dans les domaines de la dissémination (retombées scientifiques hors aéronautique), de la préparation des normes et de la communication ; l'échange d'informations avec le public étant considéré comme un élément important de l'initiative de recherche.

L'effort de développement technologique mis en œuvre dans le cadre de ce réseau X-NOISE couvre ainsi l'ensemble des thèmes évoqués plus haut, nécessitant une étroite association des programmes nationaux et communautaires. Les travaux menés à ce jour ont conduit à des résultats prometteurs, trouvant leur aboutissement dans l'ultime phase de validation à grande échelle (essais en vol) menée par la plateforme technologique Silence(R). Ce programme (voir encadré) s'est achevé en juillet 2007.

La mise en œuvre de procédures opérationnelles à moindre bruit constitue un autre axe d'amélioration de l'exposition au bruit autour des aéroports. Les recherches menées notamment dans le cadre du projet SOURDINE II portent sur l'optimisation du profil de vol au décollage (gestion de la configuration avion et de la loi de vitesse, hauteur de réduction de la poussée des moteurs), et à l'atterrissage (approches plus pentues et décélérées, retard dans la sortie du train, des becs et des volets).

Au-delà de l'évaluation des gains potentiels de bruit, le développement des systèmes avions et des systèmes et procédures du contrôle aérien devra être mené et validé pour conduire à une implémentation effective de ces procédures.

De plus amples détails sur l'ensemble des projets européens concernés sont disponibles sur le site du réseau X-NOISE (www.xnoise.eu).

La satisfaction des enjeux environnementaux, mais aussi la volonté exprimée par l'ACARE de maintenir le *leadership* technologique européen, passe par le renforcement de la compétitivité des industriels français et du niveau d'excellence des organismes de recherche nationaux.

Cette démarche induit en particulier la mise en œuvre d'actions de soutien à :

- la compréhension et la modélisation des phénomènes ;
- la validation générique d'approches technologiques innovantes ;

Elle inclut également l'identification de voies d'amélioration des infrastructures (moyens d'essais et de calcul) au mieux des intérêts communs.

Pour stimuler l'effort d'innovation dans la durée, la démarche d'IROQUA consiste donc à rassembler, sur le plan national, les acteurs de la recherche, assurant la cohérence et la complémentarité des travaux, rationalisant l'utilisation des ressources intellectuelles et financières, et permettant en particulier une exploitation optimale et concertée des programmes communautaires.

Une synthèse des principales actions de recherche menées en France est présentée sur le site d'IROQUA (www.iroqua.net). ■

L'initiative de recherche nationale IROQUA

Lancée au printemps 2005, cette initiative de recherches nationale associe l'ONERA (pilote), le CNRS ainsi que les constructeurs Airbus, Dassault Aviation, Eurocopter et SAFRAN avec un objectif principal : orienter, soutenir et assurer la cohérence de la recherche dédiée à la réduction des nuisances sonores engendrées par les aéronefs.