

Développement des technologies minimisant l'impact sur
l'environnement

- L'Aéronef à Faible Bruit -



**Projet de Programme Scientifique pour la Fondation
de Recherche pour l'Aéronautique et l'Espace**

1.	<i>Introduction et Contexte</i>	3
2.	<i>Réduction du Bruit des Aéronefs : Problématique et Objectifs.....</i>	5
2.1.	<i>Conseil Européen pour la Recherche Aéronautique (ACARE).....</i>	5
2.2.	<i>L'Initiative de Recherche Nationale IROQUA</i>	7
3.	<i>Le Projet « Aéronef à Faible Bruit » (AFB)</i>	8
4.	<i>Appel d'Offre Acoustique de la Fondation de Recherche pour l'Aéronautique et l'Espace.....</i>	9
4.1.	<i>Domaine 1 : Modélisation physiques et simulation numérique</i>	10
4.2.	<i>Domaine 2 : Validation expérimentale des simulations numériques en aéro-acoustique.....</i>	11
4.3.	<i>Domaine 3 : Technologies passives de réduction du bruit</i>	13
4.4.	<i>Domaine 4 : Technologies actives de réduction du bruit</i>	15
4.5.	<i>Domaine 5 : Intégration et Optimisation.....</i>	16
4.6.	<i>Thème libre.....</i>	17
5.	<i>Annexe - Programme scientifique et technique</i>	18

1. Introduction et Contexte

Dans ses débuts, le développement du transport aérien commercial, mais aussi de l'aviation d'affaires et de tourisme, s'est effectué, comme beaucoup d'activités humaines, au coup par coup, en fonction des besoins, sans grand souci d'intégration et d'harmonisation avec l'environnement. La population est devenue plus soucieuse de son confort et de sa santé, réclamant donc plus de respect de l'environnement. Bien que les technologies développées par les constructeurs aéronautiques et les motoristes dans les dernières décennies ont entraîné une considérable réduction des nuisances sonores, la croissance soutenue du trafic et de la densité de population autour des aéroports et héliports nécessitent encore d'importants progrès dans le domaine de la minimisation du bruit pour satisfaire le souci du développement durable du transport aérien.

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. Les normes actuellement en vigueur furent établies en 1977 et sont rassemblées sous le Chapitre 3 de l'Annexe 16 de l'OACI. En 2001, fut définie une norme plus sévère, dite Chapitre 4, applicable à partir de Janvier 2006. En parallèle, et afin de contenir toute augmentation des zones d'exposition au bruit, des recommandations furent faites en faveur d'une « Approche Equilibrée » stimulant la réduction du bruit à la source par le biais de recherche tout en promouvant des actions complémentaires telles que les procédures à moindre bruit, la planification de l'occupation des sols et les restrictions opérationnelles considérées comme une solution de dernier recours. A la suite d'augmentations successives de la sévérité des normes de bruit, puis de pollution (NOx), l'OACI étudie à l'heure actuelle le point critique des interdépendances environnementales afin d'assurer dans le futur un mécanisme équilibré d'établissement des normes.

En 2002, la Commission Européenne émit 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 oeuvre 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'Union, 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.

A l'heure actuelle, les principaux aéroports Européens ont atteint les limites de leur « capacité environnementale » avant même d'avoir atteint celles de leur capacité opérationnelle. Leurs plans d'expansion se heurtent en conséquence aux nuisances sonores en premier lieu. Une indication claire de cette situation se retrouve dans les statistiques les plus récentes concernant l'accroissement du nombre de restrictions opérationnelles sur les aéroports mondiaux (Figure 1).

S'agissant enfin des hélicoptères civils, initialement développés en réponse à un certain nombre de demandes sociétales nécessitant des caractéristiques appropriées, l'impact sonore de leurs opérations constitue désormais un obstacle majeur qui pourrait conduire à empêcher un usage plus large de leurs services dans les zones urbanisées.

L'aspect compétitif reste évidemment crucial dans ce contexte général comme en témoignent quelques initiatives américaines récentes, coordonnées au niveau fédéral.

A la suite d'une série de conférences nationales sur la « compatibilité Environnementale » réunissant l'ensemble des acteurs du transport aérien, la NASA lança en 2000 le programme Quiet Aircraft Technology (QAT) dont certains des éléments viennent d'être validés par la récente démonstration en vol de Boeing sur son programme QTD2.

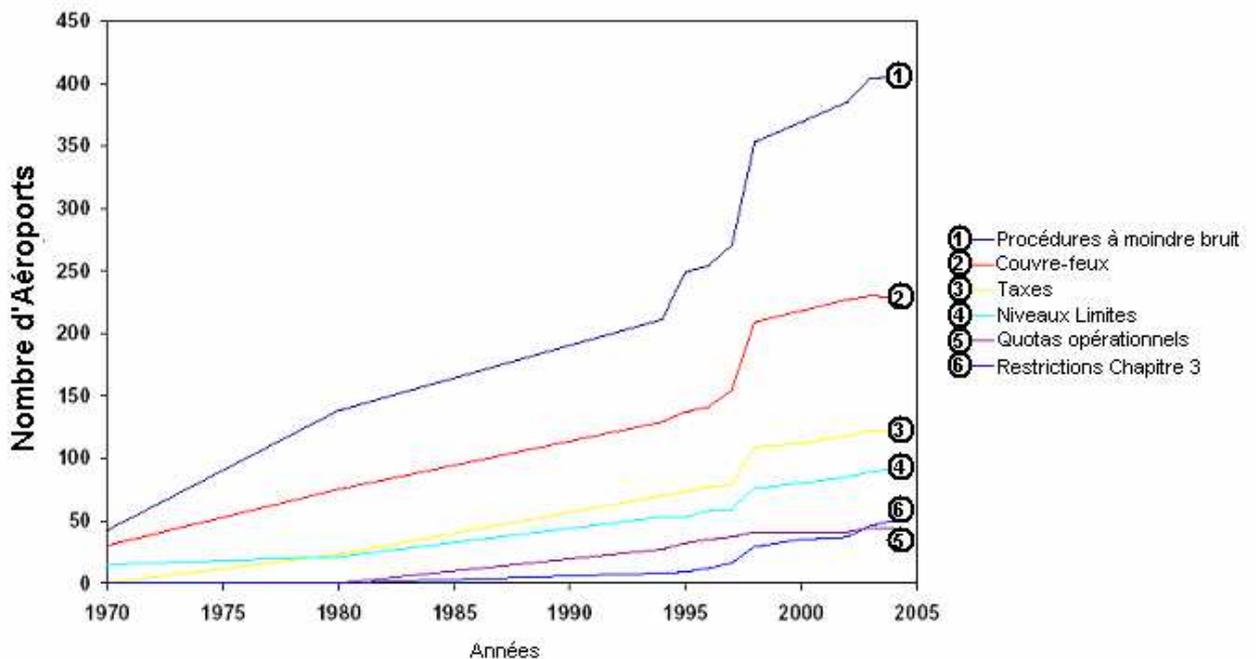


Figure 1 – Croissance des restrictions opérationnelles sur les aéroports

Fin 2003, la FAA inaugurait les activités de son nouveau Centre d'Excellence (CoE) consacré aux études environnementales (bruit et émissions), visant entre autre le développement d'outils prédictifs destinés à instruire l'élaboration de normes futures. Cette organisation, dont le périmètre recouvre également les procédures opérationnelles, rassemble en son sein les meilleures équipes de recherches universitaires en étroite consultation avec les partenaires industriels.

L'Europe a toutefois su s'organiser en conséquence, que ce soit au niveau national ou communautaire, comme décrit ci-après.

2. Réduction du Bruit des Aéronefs : Problématique et Objectifs

2.1. Conseil Européen pour la Recherche Aéronautique (ACARE)

A l'instigation de la Commission Européenne, un "Groupe de Personnalités" publia en Janvier 2001 un court rapport, nommé "Vision 2020", développant donc une vue à long terme du transport aérien, vis à vis de deux enjeux principaux :

- Satisfaire aux besoins de société
- Assurer à l'Europe une position de leader technologique

En 2002 fut créé l'ACARE (« Advisory Council for Aeronautical Research in Europe ») rassemblant au sein d'une structure de réflexion 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 oeuvre 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

En face des différents « Challenges » et objectifs associés, furent élaborés un certain nombre de grands programmes génériques dits « Contributors » qui soutenus de façon appropriée par des financements européens et nationaux permettraient de satisfaire les objectifs ambitieux évoqués plus haut. Un certain nombre d'éléments liés principalement à la recherche amont et aux infrastructures furent considérés comme « Enablers » c'est à dire nécessaires au développement subséquent du volet technologique inclus dans chaque « Contributor ».

2.1.1. Recherche Amont (ACARE « Enablers »)

La liste des thèmes amont prioritaires (« Enablers ») identifiés par le processus ACARE et relevant du domaine de la recherche acoustique, est en conséquence résumée ci-dessous :

- Simulation AéroAcoustique
- Puissance de calcul disponible
- Matériaux acoustiques légers pour composants froids et chauds
- Optimisation Pluridisciplinaire
- Processus Intégré de conception Acoustique
- Eléments Constitutifs des Systèmes de Contrôle Actif
- Techniques de mesures et Installations d'essais
- Bases de Données Expérimentales partagées
- Prévision réaliste et en temps réel de l'impact bruit sur aéroport et héliport

Ces thèmes génériques sont considérés comme essentiels au succès des solutions recommandées par les « Contributors » présentés ci-dessous.

2.1.2. Technologies de réduction du bruit des Avions (« Quiet Aircraft Contributor »)

L'introduction des moteurs à Fort Taux de Dilution (HBR) dans les années 70 a conduit à des progrès importants dans le domaine de la réduction du bruit des avions. Ces moteurs d'environ 10dB plus silencieux que leurs prédécesseurs furent améliorés au cours des vingt années suivantes par le développement de technologies spécifiques de réduction de bruit implantées principalement dans la nacelle.

Considérant les défis à venir, il apparaît peu probable que l'évolution continue des ces technologies, dites « passives » soit suffisante pour satisfaire les objectifs fixés pour 2020 sans affecter la compétitivité des avions en terme de masse et performance. Il est donc nécessaire de mettre en place les conditions d'un saut technologique pouvant en fait s'opérer dans plusieurs directions complémentaires.

En conséquence, le programme du « Quiet Aircraft Contributor » regroupe un certain nombre de solutions complémentaires qui associées aux progrès effectués en terme de procédures à moindre bruit, permettront de réduire le bruit perçu de 10 décibels par opération, tout en contenant les nuisances sonores dans le périmètre de l'aéroport. Il concerne toutes les sources de bruit (Soufflante, Jet, Voilure, Atterrisseurs) et identifie les avenues technologiques prioritaires (conception aéro-acoustique des composants moteurs, nacelle et avion, matériaux acoustiques à faible masse, techniques actives, nouvelles architectures moteur et avion,...) dans le but de mettre en place les briques technologiques permettant une optimisation pluridisciplinaire des concepts d'avions futurs vis à vis des contraintes environnementales.

2.1.3. Technologies de réduction du bruit des Hélicoptères (« Rotorcraft of The Future Contributor »)

Des progrès importants ont également été réalisés dans le domaine du bruit des hélicoptères, atteignant une marge de 5 à 7 décibels vis à vis des normes OACI. Cependant l'évolution des normes et les réglementations locales nécessitent un effort soutenu afin de réduire plus avant les nuisances sonores, l'objectif étant de lever les obstacles actuels à l'accroissement des opérations au travers d'une réduction de 10 décibels du bruit perçu (*ou* de la perception sonore), accompagnée d'une réduction de 50% de la surface d'exposition au bruit.

Pour atteindre ces objectifs ambitieux, toutes les sources de bruit doivent être considérées, du rotor au moteur. L'intégration des solutions doit également être l'objet d'efforts spécifiques, incluant des pratiques d'analyse conjointe bruit / performance à même d'optimiser l'architecture et les paramètres de dimensionnement (vitesse du rotor, nombre de pales,...). Les domaines de recherches recommandés par le « Rotorcraft of The Future Contributor » devront par ailleurs s'appliquer aux concepts actuels, mais également à des architectures futures permettant des degrés de liberté supplémentaires en terme de conception environnementale intégrée.

2.1.4. Procédures à moindre Bruit (« Noise Abatement Procedures Contributor »)

Afin de réduire plus avant l'impact des opérations d'avions et d'hélicoptères sur les populations riveraines, les recherches futures aborderont également la question de l'amélioration et de la mise en œuvre des procédures à moindre bruit.

Les activités envisagées au sein du programme « Noise Abatement Procedures Contributor » incluent en particulier:

- La définition de procédures et leur validation tenant compte en premier lieu de la sécurité et des contraintes opérationnelles,
- Le développement des systèmes dédiés à l'aide aux pilotes permettant une application la plus large possible de ces procédures

- Le développement de techniques de simulation permettant d'anticiper les bénéfices environnementaux et de les gérer en temps réel.

2.1.5. ACARE SRA-2

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 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.

Le concept « Ultra Green Air Transport System » est né de ces réflexions sur la base du scénario d'un transport aérien fortement contraint par les demandes environnementales. Aux éléments mis en avant par l'Approche Equilibrée OACI, il ajoute ainsi la dimension supplémentaire fournie par la gestion environnementale du trafic au sens large. En ce qui concerne les nuisances sonores, les priorités identifiées dans le SRA-1 restent bien sûr d'actualité, le parti pris d'optimisation environnementale intégrée à la conception s'en trouvant renforcé.

2.2. L'Initiative de Recherche Nationale IROQUA

Lancée au printemps 2005, l'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.

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 ;
- la mise en place d'instruments permettant aux différents partenaires industriels d'étudier l'intégration de ces nouvelles technologies à leurs produits.

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

Cet objectif ne pourra être atteint qu'en assurant la complémentarité des actions de recherche nationales et européennes dans le cadre de l'initiative nationale fédératrice (IROQUA). 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.

Les premiers travaux de réflexion conduits au sein d'IROQUA ont mis en évidence la nécessité d'établir le programme d'un projet « chapeau » à même d'assurer la nécessaire cohérence entre des activités scientifiques et techniques correspondants à divers niveaux de maturation technologique et conduits dans des cadres et structures fort différents (grands projets européens, projets de recherches concertés DPAC, projets soutenus par le MENRT ou les Industriels, travaux soutenus par les fondations de recherches,...).

Ce projet, l'« Aéronef à Faible Bruit » (ou AFB) est décrit plus avant en préambule à la présentation des thèmes retenus pour l'appel d'offre Acoustique de la Fondation Aéronautique et Espace.

3. Le Projet « Aéronef à Faible Bruit » (AFB)

Le projet « l'Aéronef à Faible Bruit » est un projet « chapeau » qui s'entend comme une contribution des constructeurs et de leurs partenaires de recherches au concept Ultra Green promu par ACARE. Il en endosse les objectifs :

- 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.

Favorisant une approche innovante et pluridisciplinaire, L'AFB tire avantage des efforts effectués par les laboratoires et l'industrie dans divers cadres collaboratifs (Européen, bilatéral, national) et intègre leur contribution à la réalisation des objectifs 2020, optimisant l'apport des solutions technologiques vis à vis de l'ensemble des contraintes environnementales. Soutenant le développement d'une vision environnementale intégrée de la conception, son action s'effectue dans le domaine individuel des technologies ainsi que dans celui plus global de l'intégration et de l'optimisation.

En cohérence avec ACARE et IROQUA, son programme Scientifique et Technique couvre donc les cinq grands domaines :

- Modélisation physique et outils numériques
- Validation expérimentale et numérique
- Technologies passives pour la réduction du bruit
- Technologies actives pour la réduction du bruit
- Intégration et optimisation

Les besoins industriels, l'état de l'art et les défis scientifiques et techniques à relever pour ces cinq domaines sont décrits de façon détaillée en annexe, la lecture en est fortement recommandée pour les rédacteurs de proposition.

4. Appel d'Offre Acoustique de la Fondation de Recherche pour l'Aéronautique et l'Espace

Dans le contexte du Programme Scientifique et Technique « Aéronef à Faible Bruit » décrit plus haut, il est proposé de consacrer l'appel d'offre acoustique de la Fondation Aéronautique et Espace au soutien d'un certain nombre de thèmes prioritaires relevant du domaine transverse de la recherche amont (« enablers »). Comme évoqué plus haut, ce programme scientifique s'entend donc en complément des activités de recherche industrielle et recouvre les finalités avion de transport et hélicoptère civil.

L'objectif est de contribuer à la mise en place des briques technologiques en ciblant des sujets identifiés comme points durs ou priorités vis à vis des solutions envisageables pour 2020, et ce en pleine complémentarité avec les études en cours dans d'autres cadres. Sont mis en avant en conséquence un certain nombre de thèmes contribuant de façon générale à faire progresser le niveau scientifique de la communauté de recherches tout en améliorant la compétitivité de la recherche nationale dans le domaine de l'innovation.

A l'intérieur des cinq grands domaines mentionnés ci-dessus, sont retenus les thèmes suivants :

- **Domaine 1 : Modélisation physique et outils numériques**
 - Bruit émis par une cavité soumise à un écoulement rasant.
- **Domaine 2 : Validation expérimentale et numérique**
 - Dispositif expérimental pour bruit propagé en écoulement dans une veine cylindrique
 - Bruit aérodynamique engendré par la cellule d'avion
- **Domaine 3 : Technologies passives de réduction du bruit**
 - Matériaux et structures absorbants légers pour nacelle de moteur d'avion
 - Structures absorbantes pour conduits courts du type hélice carénée
- **Domaine 4 : Technologies actives de réduction du bruit**
 - Contrôle fluidique pour tuyère silencieuse
- **Domaine 5 : Intégration et optimisation**
 - Statut technologique « optimisation »
- **Thème libre : valable pour tous les domaines.**

Selon les réponses à cet appel et les financements nécessaires aux projets jugés prioritaires, tous ces thèmes ne seront pas nécessairement couverts lors de cette première tranche

En principe, une seconde tranche de volume équivalent sera proposée fin 2006, cette fois plus spécifiquement dédiée au domaine Intégration et Optimisation, incluant les aspects procédures opérationnelles.

4.1. Domaine 1 : Modélisation physiques et simulation numérique

4.1.1. Thème 1-1 : Bruit émis par une cavité soumise à un écoulement rasant.

Les surfaces externes du fuselage, l'intrados de la voilure et de l'empennage, les trains d'atterrissage et les parois internes des nacelles comportent des cavités ouvertes et affleurantes qui remplissent des fonctions telles qu'il n'est pas toujours possible de les supprimer ou de les obturer.

Dans certaines configurations, vitesses de vol ou régime de fonctionnement moteur, l'écoulement rasant la paroi où se situe leur ouverture provoque des turbulences susceptibles d'entretenir un phénomène résonant. Il peut en résulter une émission sonore tonale de forte intensité.

Lorsqu'ils apparaissent, ces bruits sont détectés lors des essais en vol du prototype. Il existe alors généralement des solutions efficaces relativement faciles à concevoir mais dont la mise en œuvre industrielle et l'incorporation dans le cycle de production ne sont pas immédiates. Ce délai peut induire des risques de bruit excédentaires lors de la certification et la mise en service.

Il est donc nécessaire de développer des moyens fiables pour prédire pendant la phase de développement:

- si une cavité donnée est susceptible de siffler,
- dans quelles configurations aérodynamiques de l'avion et à quelle vitesse cela se produira,
- à quelle(s) fréquence(s) une énergie sonore significative sera émise,
- quels seront les niveaux de bruit rayonnés.

La compréhension des phénomènes nécessitera la mise en œuvre de calculs aérodynamiques (CFD) tridimensionnels au voisinage de la cavité et de calculs acoustiques (CAA) capables de prendre en compte des perturbations non linéaires. Des expériences élémentaires seront nécessaires pour valider ces simulations.

On s'attachera notamment à étudier l'influence de la vitesse de l'écoulement, des paramètres de la couche limite amont, des détails géométriques du bord de la cavité et de sa profondeur.

Ces recherches devront permettre d'établir le niveau de modélisation aéro-acoustique à mettre en œuvre au stade industriel pour être capable de définir des critères de dimensionnement et de conception silencieuse.

Les données expérimentales issues d'essais en vol pour la cellule ou au banc statique pour le moteur dont disposent les constructeurs devront être utilisées pour orienter les recherches et en calibrer les résultats de modélisation.

4.2. Domaine 2 : Validation expérimentale des simulations numériques en aéro-acoustique

4.2.1. Dispositif expérimental pour bruit propagé en écoulement dans une veine cylindrique

Des développements récents ont mis en évidence le besoin de disposer d'une installation de laboratoire capable de simuler les caractéristiques de propagation d'une source de type soufflante en conduit cylindrique. Une telle installation permettrait de valider les principes scientifiques gouvernant un certain nombre de solutions innovantes ainsi que l'approfondissement de points techniques particuliers soulevés par les travaux ultérieurs de validation des technologies associées. Parmi les activités techniques concernées, on citera la mise au point de systèmes actifs de paroi, de traitements adaptatifs, de traitements hybrides passif/actif ainsi que la validation de modèles prédictifs permettant leur optimisation.

En amont ou en complément des installations lourdes (CEPRA19 pour les tuyères, RACE pour les soufflantes et les technologies nacelle), des installations de ce type existent, permettant d'explorer les problématiques techniques associées au bruit de jet ou à la propagation aval du bruit de soufflante en conduit annulaire. En complément, la mise à disposition d'une installation de laboratoire capable d'émuler le contrôle actif ou l'absorption du bruit de soufflante rayonné vers l'amont au travers d'une veine équipée largement instrumentée est donc considérée comme essentielle à l'effort d'innovation futur.

Dans ce but, le dispositif expérimental devra en particulier démontrer:

- Sa capacité à simuler le bruit de soufflante et les dispositifs actifs à l'aide de réseaux de sources acoustiques,
- Sa capacité à mesurer l'impédance à l'aide d'un dispositif de mesure non intrusif,
- Sa capacité à mesurer à l'aide d'antennes acoustiques et vélocimétrie laser l'efficacité du contrôle dans la veine,
- Sa capacité à mesurer les performances du contrôle sur le rayonnement en champ lointain, lors d'une utilisation en chambre anéchoïque,
- Sa capacité à implanter dans la veine des dispositifs innovants à évaluer: actionneurs de tous types, panneaux de traitements,....

La collaboration de plusieurs laboratoires pour réaliser et exploiter le dispositif d'essai est fortement encouragée.

4.2.2. Bruit aérodynamique engendré par la cellule d'un avion

Dans le domaine du bruit aérodynamique des avions, une grande partie de l'effort de recherche mené par les laboratoires a été consacrée à l'étude de modèles prévisionnels (semi empiriques), puis au développement de méthodes de simulations numériques (propagation, CFD instationnaire). On dispose ainsi d'un ensemble d'outils couvrant en partie le domaine de l'application, mais dont les validations ont été très souvent réalisées dans des installations de petites dimensions (faibles valeurs du nombre de Reynolds). De ce fait, les prévisions à l'échelle un par ces méthodes constituent pour l'ensemble des acteurs un sujet de préoccupation permanent.

Par ailleurs, les efforts entrepris pour répondre aux objectifs de réduction du bruit extérieur des avions imposent d'utiliser et/ou développer au niveau industriel des outils prévisionnels de plus en plus performants utilisables pour les validations, les programmes d'études et de conceptions des dispositifs de réduction de bruit.

La convergence de ces besoins conduit donc à proposer au plan national un programme d'étude expérimental visant sur des cas réalistes à:

- caractériser le bruit aérodynamique d'une maquette de train d'atterrissage et d'un profil hyper-sustenté,
- constituer une base de données expérimentales destinée à valider ces différentes méthodes.

Les raisons évoquées précédemment, imposent de réaliser des essais pour des valeurs du nombre de Reynolds pouvant atteindre 2 à 5 millions.

Les différentes techniques expérimentales qui seront mises en oeuvre par les partenaires devront répondre aux besoins des validations théoriques et numériques et notamment donner des informations sur la structure temporelle des écoulements et du bruit émis.

Les mesures acoustiques pourront faire appel à :

- des réseaux de microphones (directivités),
- des antennes acoustiques (localisation des sources de bruit, amplitudes).

Les mesures aérodynamiques comprendront :

- des mesures classiques (pressions statiques à la paroi, fils chauds pressions pariétales instationnaires...),
- des techniques non intrusives opérationnelles (PIV, LDV..).

Un effort particulier devra porter sur l'évaluation et la validation de techniques novatrices dans le domaine du diagnostic des écoulements (PIV résolue en temps ...), des multi-diagnostics (corrélations spatiales et temporelles PIV/PIV, PIV/ LDV...) et du traitement du signal (POD,...).

Il est souhaitable que les différentes équipes contribuant au programme de recherche mettent en commun les maquettes et moyens d'essais de manière à assurer une bonne cohérence des résultats et à minimiser les coûts d'essais.

4.3. Domaine 3 : Technologies passives de réduction du bruit

L'état de l'art et les besoins industriels montrent que deux axes sont à privilégier : d'une part la modélisation du comportement acoustique des structures absorbantes, particulièrement critique pour l'optimisation des performances acoustiques des nacelles de moteurs d'avion et d'autre part le développement de nouveaux concepts adaptés à des conduits très courts de part et d'autre d'une soufflante présentant des caractéristiques acoustiques complexes tels que les hélices carénées et les fenestrons d'hélicoptères.

Bien que l'accent soit mis sur l'étude de performances des structures absorbantes, des propositions intégrant des développements innovants en matière de choix optimisés, mise en œuvre ou mise au point de matériaux absorbants nouveaux seront bien accueillies.

4.3.1. Thème 3-1 : Matériaux et structures absorbants légers pour nacelle de moteur d'avion

Les dispositifs absorbants passifs fournissent aujourd'hui la seule solution d'atténuation du bruit du moteur avant qu'il soit rayonné à l'extérieur de la nacelle. Il est probable qu'ils demeureront indispensables même si les promesses des technologies actives se réalisent. L'objectif de ce thème est donc d'obtenir une efficacité acoustique maximale des traitements acoustiques des nacelles dans le respect des contraintes liées à leurs fonctions structurales et aérodynamiques.

L'axe de recherche proposé vise à améliorer la modélisation des traitements acoustiques de manière à optimiser leur dimensionnement et à pouvoir évaluer leurs performances avec précision.

La modélisation des propriétés acoustiques (impédance) devra pouvoir prendre en compte les paramètres géométriques (y compris les facteurs inhérents aux processus de fabrication) et les conditions de fonctionnement réelles (écoulement rasant / couche limite, champ acoustique incident).

Les structures étudiées seront du type simple ou double résonateur de Helmholtz / quart d'onde.

La géométrie pourra être variable sur la surface du traitement et un couplage plus ou moins fort entre les cavités devra être pris en compte.

4.3.2. Thème 3-2 : Structures absorbantes pour conduits courts du type hélice carénée

Les hélices carénées dont un exemple courant est le fenestron d'hélicoptère se caractérisent par une veine très courte par rapport au diamètre, ($L=400\text{mm}$; $\varnothing=1000\text{ mm}$ dans le cas d'un fenestron d'hélicoptères). En conséquence le traitement acoustique ne peut être appliqué que sur une surface réduite : du côté amont les lèvres d'entrée ont la forme d'un tore ; du côté aval on dispose d'un diffuseur de forme tronconique.

Les travaux qui pourraient être réalisés concernent :

- la définition de deux types de traitements optimisés respectivement pour les conditions en amont et en aval de la soufflante,
- l'étude de l'intégration de ces concepts de traitement acoustique définis à base de structures absorbantes accordées aux fréquences de la soufflante,
- la réalisation de prototypes prenant en compte les contraintes d'intégration et surtout les problèmes de tenue mécanique, associés avec la légèreté,
- la validation de ces concepts acoustiques avec une source représentative, pour une veine de petite taille

- la détermination de leurs impacts sur les performances du rotor (une perte trop significative invaliderait le concept),
- l'évaluation leurs tenues à l'environnement.

Les travaux pourraient avoir comme objectif une démonstration en vraie grandeur dans des conditions opérationnelles.

Environ 16 dB d'atténuation ont été démontrés avec des absorbants $\frac{1}{4}$ d'onde, appliqués sur une entrée d'air de turbomachine. Le problème posé aujourd'hui concerne les traitements sur veine courte, de grand diamètre à des fréquences nettement plus basses, et pour une bande de fréquence plus large. La réduction de niveau sonore visée est de 3 à 4 dB de gain à iso performance. En cas de succès cette étude pourrait faire l'objet d'une optimisation des solutions proposées.

On rappelle que pour les hélicoptères, les caractéristiques du bruit des fenestrons et des écoulements aérodynamiques sont les suivantes:

- Du côté amont on trouve une grande richesse d'harmoniques de rotation du rotor et de sous harmoniques liés à l'effet de modulation de 500 Hz à 3000 Hz.
- Du côté aval le bruit est caractérisé par une bosse large bande de 500 Hz jusqu'à 5000 Hz.

Les 2 phases de vol pendant lesquelles le fenestron est anormalement bruyant, sont celles du survol et de la descente. Dans ces phases la vitesse de l'écoulement est très faible (traction très faible demandée au rotor).

4.4. Domaine 4 : Technologies actives de réduction du bruit

4.4.1. Thème 4-1 : Contrôle fluidique pour tuyère silencieuse

Le processus de mélange des jets après détente en sortie tuyère constitue la source de bruit prépondérante du système propulsif et de l'avion au décollage. Son niveau reste étroitement lié à la vitesse des jets qui se trouve être un paramètre dimensionnant pour l'architecture moteur. Contrairement aux autres sources de bruit générées dans l'écoulement interne au moteur, le bruit de jet est produit en sortie de moteur et les solutions de traitements acoustiques sont inefficaces.

L'enjeu est de disposer de solutions technologiques validées visant à réduire le bruit de jet lors de la phase de décollage sans modification des performances du système propulsif sur l'ensemble des autres phases de vol. On considère ici les méthodes passives et actives qui pourraient assurer une réduction significative des niveaux sonores à la source et au voisinage des sources.

L'état de l'art aujourd'hui se résume d'une part à l'introduction de technologies passives telles que les chevrons ou les mélangeurs dont le but est d'optimiser le mélange des jets entre eux et avec l'écoulement externe, et d'autre part de modifier l'architecture des moteurs en augmentant le taux de dilution (BPR) afin de réduire au maximum la vitesse moyenne des jets à l'éjection. Les gains acoustiques apportés par les technologies utilisant des chevrons ou des mélangeurs ont certes été démontrés sur moteur, mais ils s'accompagnent le plus souvent de pénalités en terme de masse et de performance en croisière.

La réduction du bruit des jets passe effectivement par l'optimisation du mélange des jets entre eux et/ou avec l'air ambiant par le biais d'une modification du champ aérodynamique moyen et turbulent. L'activation du mélange peut être réalisée à l'aide de différents procédés et dispositifs dont le traitement actif ou passif de la turbulence, de la géométrie d'éjection ou par l'introduction de perturbations. Parmi les solutions déjà évaluées, la technologie d'injection avec des microjets (pulsés ou continus) semble actuellement offrir le plus grand potentiel de réduction de bruit en diminuant de façon significative l'intensité des structures turbulentes, sources de bruit de jet. Des études expérimentales en laboratoire sont actuellement poursuivies par différentes équipes et des solutions et configurations plus ou moins optimisées ont déjà été identifiées.

Dans le cadre de cet appel d'offre, et en complément à l'effort dédié à la compréhension et à la validation des principes du concept tel que mentionné plus haut, il importera d'explorer la problématique du dispositif générateur de microjets en identifiant en particulier les aspects technologiques induits par son intégration à l'ensemble propulsif. En outre un travail de modélisation et de simulation sera à mener en parallèle afin mieux comprendre les phénomènes et ainsi d'optimiser les solutions proposées. A l'issue de ce projet, il serait souhaitable de disposer d'une solution technologique fiable permettant d'envisager un essai de démonstration du concept à large échelle.

Un collaboration de plusieurs laboratoires aux compétences complémentaires paraît appropriée.

4.5. *Domaine 5 : Intégration et Optimisation*

4.5.1. *Thème 5-1 Statut Technologique "Optimisation"*

Un point important, pour les études futures, consistera à développer ou adapter des outils d'un niveau de modélisation et de précision suffisant pour permettre la validation des technologies proposées et d'évaluer l'impact relatif de chacune d'elles dans un contexte aussi proche que possible du contexte opérationnel. Pour cela, il conviendra de pouvoir mettre en commun une partie de ces outils numériques d'évaluation et de simulation en les interconnectant dans un environnement informatique adapté aux besoins et présentant une grande flexibilité tout en garantissant la confidentialité.

Avant d'entreprendre une telle action, une première étape consistera à établir le statut technologique actuel. Ce statut technologique comprendra deux volets :

1- Le premier volet consistera à un état des lieux des outils utilisés dans les différents domaines contribuant à la réduction du bruit des aéronefs susceptibles de servir de briques à des méthodes d'optimisation multi-disciplinaire (MDO) et à un état des lieux des méthodes d'optimisation multi-disciplinaire elles-mêmes. On s'attachera tout particulièrement aux techniques utilisées ces dernières années dans chacun des thèmes relatifs à la réduction du bruit des aéronefs et principalement dans les technologies actives, les matériaux et structures absorbantes, les effets d'installation et à la propagation en champ lointain. Un répertoire exhaustif des techniques et outils existants dans chacun des domaines ci-dessus énumérés sera établi. Des techniques MDO notamment celles permettant les couplages "forts" entre disciplines et toutes les méthodes de réduction de modèles devront également être répertoriées et leur niveau de développement évalué.

2- Le second volet consistera dans un travail transversal à tout le projet où les responsables de ce thème rechercheront comment adapter les techniques aux besoins immédiats ou prévisionnels des partenaires des thèmes applicatifs. Sur des points précis choisis en commun, on passera alors de l'inventaire méthodologique à la conception et à la mise au point d'outils de calcul ré employables.



4.6. *Thème libre*

Les propositions innovantes touchant à l' « Aéronef à Faible Bruit » sur d'autres thèmes seront examinées dans la mesure où elles s'inscrivent dans le périmètre du programme scientifique et technique défini en annexe. Dans tous les cas, les rédacteurs d'éventuelles propositions de ce type sont invités à prendre un contact préalable avec la Fondation de Recherche pour l'Aéronautique et l'Espace pour mieux cadrer et mettre au point leur proposition.

5. Annexe - Programme scientifique et technique

A-1 Modélisation physique et outils numériques

A-1.1. Besoins industriels

Dans tous les domaines de l'aéronautique civile (avions, hélicoptères, lanceurs spatiaux), la réduction des nuisances acoustiques devient une préoccupation de premier plan au niveau international, qui justifie des efforts de recherche d'amplitude croissante. On peut en particulier noter que les normes imposées par la communauté européenne vont devenir de plus en plus restrictives dans le domaine des transports aériens. En marge de l'expérimentation, qui continue à jouer un rôle de premier plan de par 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 du bruit externe et interne, et cela dès les premiers stades de conception.

A-1.2. Etat de l'art

Les perturbations acoustiques se propageant depuis un aéronef jusqu'à un observateur au sol sont solutions des équations de la mécanique des fluides. Cependant, la simulation numérique, par méthodes discrétisées, de la génération de ces perturbations et de leur propagation jusqu'à l'observateur en champ lointain est souvent difficile en pratique car elle met en jeu une grande variété d'échelles temporelles et spatiales, conduisant à des besoins très importants en capacité de calcul. Le calcul acoustique direct, qui permet d'obtenir les champs aérodynamiques et acoustiques dans un même calcul, est actuellement limité à des écoulements cisailés libres ou au-dessus de cavités de formes simples et à l'étude fine des mécanismes de génération de bruit.

L'aéroacoustique numérique emploie donc généralement des approches hybrides combinant la résolution des équations d'Euler ou de Navier-Stokes pour prévoir la production des perturbations ainsi que leur propagation en écoulement inhomogène jusqu'aux régions d'écoulement homogène où une continuation du calcul peut alors être effectuée par des méthodes intégrales. Les formulations de Lighthill et de Ffowcs-Williams & Hawkins sont certainement parmi les méthodes les plus utilisées actuellement. La propagation des ondes acoustiques au sein des écoulements inhomogènes constitue également un problème difficile, qui nécessite la résolution des équations d'Euler, éventuellement linéarisées, par des schémas aux différences finies d'ordre élevé ou des méthodes par éléments finis. Ces méthodes sont de plus en plus appliquées avec succès à des simulations de bruit de rotor d'hélicoptère, de bruit de jet ou de bruit de voilure d'avion. Outre les perspectives industrielles qu'elles laissent entrevoir, elles permettent d'ores et déjà d'affiner notre compréhension des mécanismes aéroacoustiques générateurs de bruit aérodynamique, ainsi que des phénomènes de propagation acoustique dans des milieux complexes.

Enfin, d'autres stratégies sont actuellement étudiées comme le couplage de codes de type BEM avec des calculs stationnaires pour traiter des problèmes de diffraction

A-1-3. Défis Scientifiques et Techniques

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 numérique. Le calcul du bruit d'origine aérodynamique repose sur des simulations instationnaires des équations de la mécanique des fluides, qui utilisent des algorithmes numériques précis et nécessite le développement de conditions aux limites non réfléchissantes ou de conditions aux limites permettant la représentation de conditions d'impédance, en compressible par exemple. Deux des objectifs poursuivis par ce groupe de travail sont :

- Préciser le niveau de description nécessaire pour la turbulence, sachant que les écoulements concernés sont très souvent à grand nombre de Reynolds,

- Généraliser ces algorithmes à des géométries complexes afin de proposer des stratégies de réduction du bruit aérodynamique par optimisation de l'écoulement turbulent.

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. En attendant que cette maturité permette leur intégration systématique dans les cycles de production, les constructeurs expriment le besoin de disposer également de modèles semi empiriques moins sophistiqués mais immédiatement disponibles au stade de leurs avant-projets.

A-2 Validation Expérimentale et Numérique

A-2.1. Besoins industriels

Comme exposé précédemment, pour élaborer des stratégies de réduction des nuisances sonores du transport aérien, les industriels ont besoin de codes de calculs fiables et robustes ainsi que d'installations d'essais adaptées et performantes. L'évaluation des performances des outils numériques et expérimentaux existants ou futurs est capitale pour accompagner le développement des innovations technologiques. Il convient de mener des benchmarks expérimentaux et numériques pour :

- confronter les codes de simulation sur des cas tests ;
- valider les méthodes de réduction mises au point en laboratoire ou sur maquette ;
- valider expérimentalement les méthodes de prévision ;
- évaluer les performances des moyens expérimentaux.

Cette évaluation comporte également le suivi des nouveaux moyens de calcul, des nouvelles méthodes de mesure et d'analyse des signaux.

A-2.2. Etat de l'art

La communauté scientifique et les industriels disposent de nombreux codes de calculs et d'installations d'essais dédiés aux études aéroacoustiques. On peut décliner les codes de calculs suivant leur nature, qui peut être à vocation de recherche ou commerciale et suivant leur principe de modélisation, qui peut être basé soit sur une approche semi empirique, soit sur des analogies acoustiques, soit sur la résolution numérique des équations de la mécanique des fluides (*Computational Fluid Dynamics, CFD*). Les moyens d'essais existants couvrent un large domaine d'application, depuis les petites installations de recherche jusqu'aux bancs d'essais de type industriel. On peut citer par exemple les installations de bruit de jet, les bancs moteur, de rotor et de soufflante, les souffleries à veine guidée ou anéchoïques, les essais en vol... Des efforts sont toutefois nécessaires concernant l'investigation des principes physiques supportant les technologies nouvelles ainsi que le développement de techniques d'instrumentation dédiées à la validation des méthodes de calcul.

A-2-3. Défis Scientifiques et Techniques

La conduite de benchmarks doit permettre d'évaluer et de valider les recherches scientifiques destinées à la prévision et à la réduction des nuisances sonores autour des aéroports. En liaison avec les autres domaines, il s'agit notamment de :

- définir des configurations de calcul et d'essai cohérentes permettant d'identifier les principaux mécanismes de génération et de propagation du bruit d'origine aérodynamique et d'élaborer des stratégies de réduction et de contrôle des émissions sonores ;

- mettre en œuvre et développer si nécessaire les installations d'essais et techniques d'instrumentation appropriées.

A-3 Technologies passives pour la réduction du bruit

A-3-1. Besoins industriels

En parallèle à la minimisation des sources internes aux moteurs, une réduction du bruit des aéronefs est également attendue de la recherche par la mise en place d'absorbants sonores. En effet, contrairement au jet, ces sources sont d'abord confinées dans les conduits et toute étude, visant à améliorer l'efficacité des traitements acoustiques par une meilleure compréhension et optimisation du fonctionnement des absorbants, est à prendre en considération, compte tenu des surfaces importantes à traiter dans les conduits de la nacelle et des gains en performance ou masse potentiellement significatifs.

A-3-2. Etat de l'art

Les traitements acoustiques ne sont actuellement employés que dans les parties froides des moteurs et sont, de plus, fondés sur des systèmes dits à « impédances localisées ». Le besoin se fait donc aujourd'hui sentir d'absorbants « chauds », d'absorbants à réaction non locale, ou à large bande, tout en maintenant l'excellent niveau d'opérabilité que présentent les absorbants actuels (bas coût, faible masse spécifique, maintenance aisée ...). La mise au point de telles structures absorbantes nécessite donc un gros effort technologique pour transférer des solutions de laboratoire vers des dispositifs industriels.

A-3-3. Défis scientifiques et techniques

Pour optimiser finement les traitements acoustiques, un effort de compréhension théorique est nécessaire. La compréhension détaillée des mécanismes d'absorption et de leur interaction avec l'écoulement aérodynamique notamment aux forts niveaux reste à construire. 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. Dans ce dernier contexte, les mécanismes vibratoires pourraient jouer un rôle additionnel à l'absorption classique par frottement fluide. Un gros effort sur les technologies de traitements acoustiques doit être effectué en parallèle aux avancées théoriques. Il est nécessaire d'évaluer les performances acoustiques et mécaniques de nouvelles technologies : billes creuses, feutres métalliques, tôles micro perforées... L'opérabilité et la facilité d'intégration de ces matériaux doivent être évaluées. De nouvelles méthodes de caractérisation expérimentale des matériaux en présence d'écoulement doivent aussi être mises au point.

A-4 Technologies Actives pour la réduction du bruit

A-4.1. Besoins industriels

La prise en compte, dès la conception, de critères acoustiques peut permettre de réduire les sources de bruit émis au niveau des organes d'un aéronef ; des matériaux absorbants placés à proximité de ces sources peuvent ensuite permettre d'atténuer le bruit au début de sa propagation. Ces techniques dites *passives* ont permis de réduire le bruit des aéronefs aux cours des dernières décennies mais, alors que les véhicules devront être toujours plus silencieux, les compromis optimaux entre les performances des organes et le bruit produit ont parfois déjà été atteints. Les techniques dites actives, qui font appel à des sources auxiliaires pour combattre un bruit indésirable, 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 combattues par contrôle actif.

A-4.2. Etat de l'art

Les travaux les plus avancés en contrôle actif du bruit rayonné vers l'extérieur par les aéronefs concernent la soufflante des turboréacteurs. Plusieurs programmes français (Réseau de recherche sur l'avion supersonique), européens (Ranntac, Silence(R)) ou américains y ont été consacrés et des expériences de contrôle en vraie grandeur ont été menées au sol. Aujourd'hui les éléments théoriques d'acoustique et d'automatique nécessaires au contrôle sont à peu près connus. Les difficultés concernent plutôt la mise en œuvre pratique et une intégration complète et satisfaisante des dispositifs de contrôle. Le contrôle du bruit produit par le jet des réacteurs a également été abordé notamment *via* des expériences de laboratoire où différents types d'actionneurs sont utilisés pour perturber le jet. Les mécanismes de production de bruit par le jet sont compliqués, l'interaction entre le jet et les actionneurs auxiliaires est également difficile à maîtriser. Les travaux menés à l'heure actuelle privilégient une approche phénoménologique du problème. Enfin des expériences exploratoires ont été menées en laboratoire pour l'application de technologies actives contre des sources de bruit aussi diverses que des couches limites turbulentes, la combustion ou le bang sonique.

A-4-3. Défis scientifiques

Dans le cas du bruit de soufflante, l'enjeu théorique est une compréhension plus précise des modalités de propagation du bruit en écoulement et de son contrôle, ce qui suppose aussi bien des études numériques qu'expérimentales. Les enjeux sont ensuite d'ordre technologique avec, entre autres, la réalisation nécessaire de réseaux de sources linéaires conduisant à de forts niveaux acoustiques. Dans le cas du bruit de jet et des autres sources, il s'agit d'abord de comprendre finement les mécanismes responsables de l'émission de bruit et les possibilités d'interagir avec eux à l'aide d'actionneurs auxiliaires. Les problèmes posés se situent au carrefour de la mécanique des fluides, de l'acoustique et du contrôle des systèmes. La capacité à mobiliser et associer l'expertise nécessaire (techniques de simulation, techniques expérimentales, micro-technologies, algorithmes de contrôle) lors des différentes étapes de développement d'un concept technologique donné sera un élément clé de réussite.

A-5 Intégration et Optimisation

A-5.1. Besoins industriels

Dans le cadre d'une approche équilibrée de la réduction des nuisances sonores autour des aéroports, l'industrie compte à la fois réduire le bruit à la source et optimiser les procédures opérationnelles. Les progrès à venir résulteront de l'intégration de nouvelles technologies acoustiques et de technologies permettant d'améliorer l'efficacité et les performances, de l'utilisation de nouvelles procédures opérationnelles dites « à moindre bruit » et de l'application de critères acoustiques d'optimisation durant tout le cycle de vie des aéronefs (conception, développement, production, opérations). L'intégration des techniques de réduction de bruit constitue donc le domaine de recherche qui fournira à l'industrie, données, méthodes et outils nécessaires à la réalisation concrète des objectifs.

En conséquence le périmètre du domaine recouvre :

- l'évaluation des technologies pour mesurer les bénéfices en terme de réduction des nuisances sonores, accessibilité des aéroports, compétitivité, et impacts sur les performances, les masses, les coûts, la complexité, et la certification ;
- la simulation de la propagation et du rayonnement acoustique entre les sources et le sol, y compris dans les conduits de nacelle et dans les zones fortement perturbées au voisinage de l'avion et du moteur pour optimiser la configuration des avions futurs ;

- les procédures opérationnelles à moindre bruit pour conduire l'aéronef selon des profils et des trajectoires plus silencieuses en toute sécurité et sans contraindre le développement du trafic ;
- les études pré-normatives de certification acoustique et d'évaluation des nuisances sonores pour justifier l'évolution et l'orientation des futures normes,
- l'intégration dans le processus de conception multidisciplinaire des modèles représentatifs des aspects évoqués précédemment.

A-5.2. Etat de l'art

Les technologies de réduction de bruit et critères de conception silencieuse des moteurs d'avion sont apparues dans les années 70 et la quasi totalité des avions certifiés selon la norme « Chapitre 3 » sont équipés de moteurs à grand taux de dilution installés dans des nacelles traitées acoustiquement. Cependant, jusqu'à la fin des années 80, les critères d'efficacité (performance, masse, consommation, coûts opérationnels) ont prévalu pour les choix technologiques et l'optimisation de la conception des aéronefs. Un effort de recherche considérable a été entrepris au début des années 90, conjointement par les industriels et les organismes de recherche, dans le domaine de la conception silencieuse : des moteurs, des nacelles et des composants les plus bruyants de la cellule (volets hypersustentateurs et trains d'atterrissage). De plus, conscients de la nécessité d'un développement durable du transport aérien, les constructeurs ont donné de plus en plus d'importance au critère acoustique dans leurs processus de conception et de développement. Ceci permet de produire aujourd'hui des appareils beaucoup plus silencieux, certifiés avec des marges cumulées comprises entre 10 et 25 dB par rapport à la norme « Chapitre 3 ».

Avec la contribution des opérateurs, les constructeurs ont défini des procédures opérationnelles à moindre bruit depuis les années 70. Certaines peuvent être très efficaces mais, du fait de la charge de travail supplémentaire qu'elles occasionnent aux équipages et des contraintes qu'elles peuvent engendrer sur le contrôle aérien, leur utilisation reste limitée à des cas très critiques ou à des heures de faible trafic. Toutefois, les recherches entreprises depuis la fin des années 90 permettent de mettre en service, sur les avions les plus modernes, des systèmes de contrôle du vol (FMS) capable de piloter automatiquement des trajectoires de décollage optimisées pour réduire le bruit en éliminant certaines des contraintes inhérentes aux premières procédures anti-bruit. De plus, plusieurs projets de recherche en cours sur les procédures d'approche en « descente continue » font apparaître des perspectives très prometteuses dans ce domaine.

A-5-3. Défis Scientifiques et Techniques

Les progrès réalisés sur les produits les plus récents, en terme de réduction des nuisances sonores, sont encore insuffisants. Cependant, ils font apparaître des perspectives très prometteuses pour atteindre les objectifs « ACARE » en temps utile, à condition qu'un effort de recherche soutenu soit poursuivi notamment dans le domaine de l'intégration des techniques de réduction de bruit. Ce domaine de recherche devra donc fournir les capacités techniques nécessaires pour développer des aéronefs capables d'opérer de manière beaucoup plus silencieuse.

Ces capacités permettront aux constructeurs :

- d'intégrer de nouvelles technologies dont la maturité aura été démontrée, d'optimiser leurs futurs avions et moteurs dans des configurations nouvelles définies à l'aide de processus de conception où l'acoustique joue un rôle prépondérant,
- d'intégrer des systèmes de contrôle du vol automatisés en communication avec les systèmes de contrôle du trafic pour opérer régulièrement sur des trajectoires à moindre impact sonore,
- d'anticiper et orienter l'évolution des normes acoustiques.



Elles permettront aux organismes de recherche de maintenir et amplifier leurs efforts tant dans les technologies réduisant les nuisances sonores que dans les modèles et outils de prédiction et d'analyse à partir de spécifications solides et établies en relation étroite avec les constructeurs.