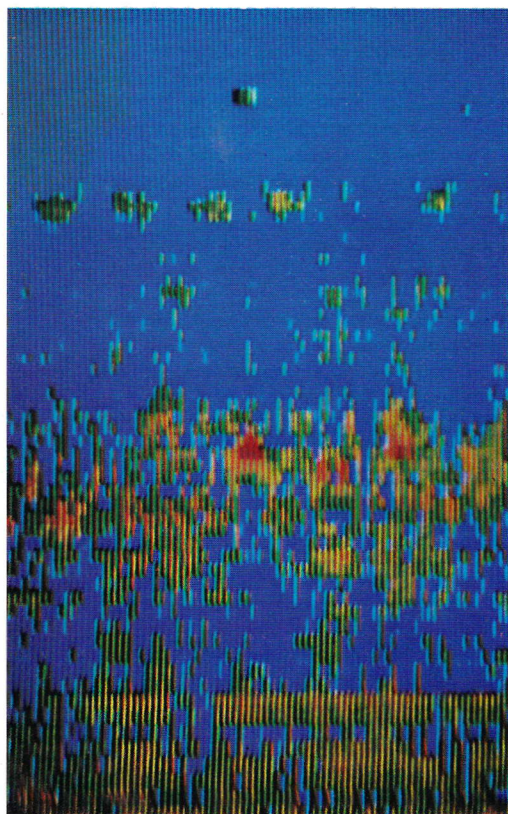
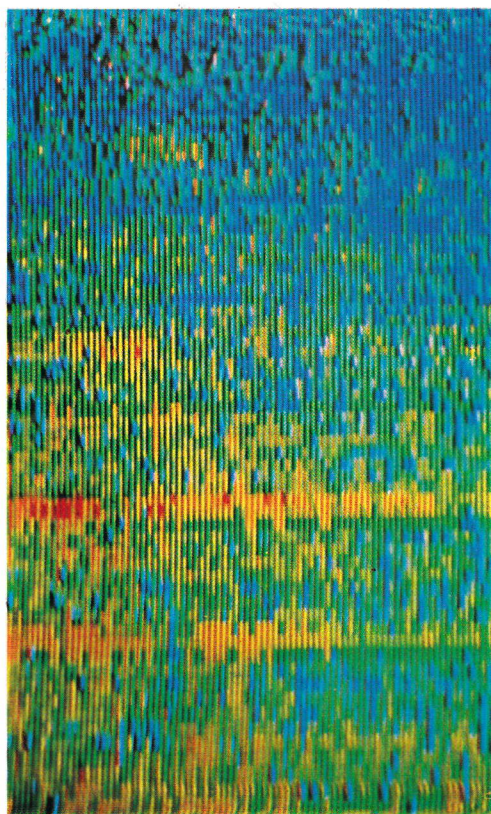


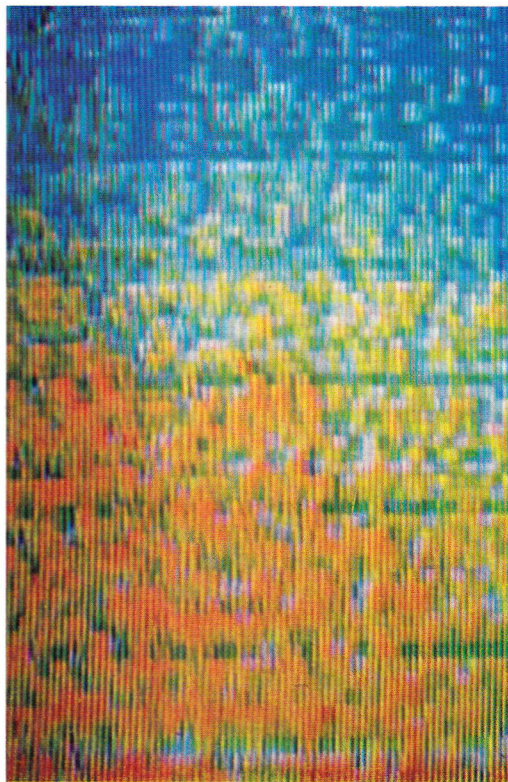
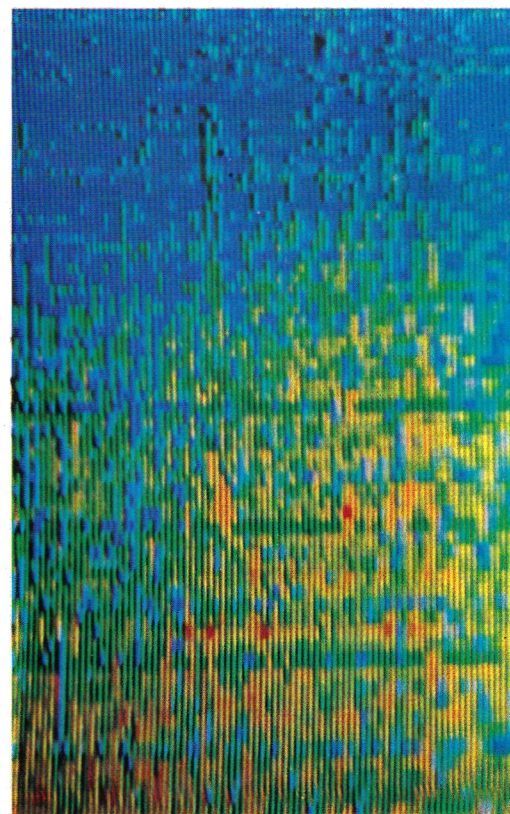
Ouverture du Concerto de Paganini



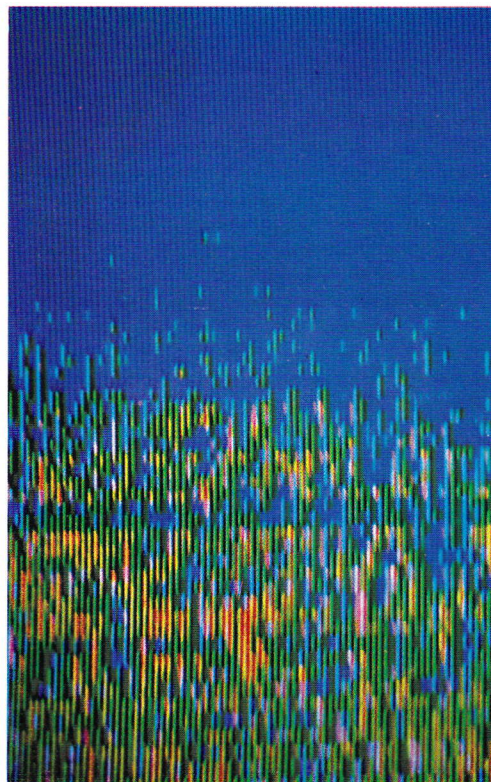
Haut fourneau



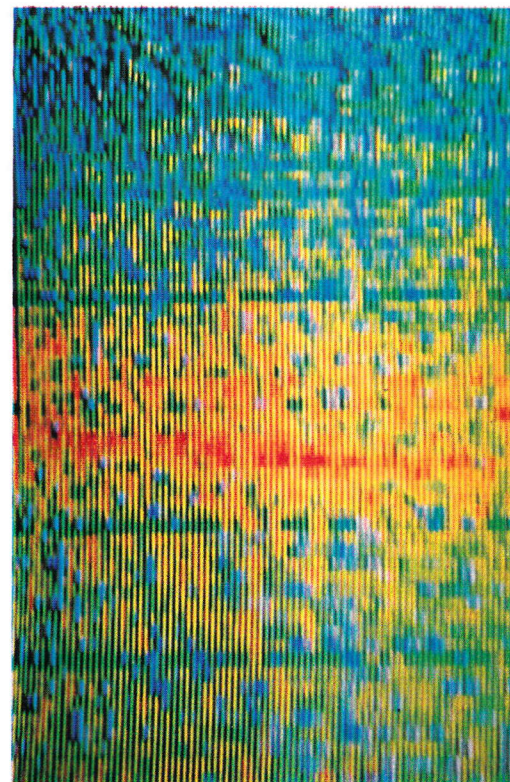
La circulation dans le centre de Tokyo



Sonnette



Moteur d'avion



Avion à réaction

Spectres électroniques mis au point par une équipe d'ingénieurs de la Société Hitachi de Tokyo. Chaque figure représente un son enregistré durant 8/10° de seconde. Les couleurs représentent le volume : rouge pour les sons les plus forts - bleu pour les plus doux. Leur intensité est montrée par la position sur l'échelle verticale : un son grave est placé en bas de l'échelle. On notera le contraste entre la beauté ordonnancée d'un concerto de Paganini et la discordance des bruits de la vie quotidienne. Les chercheurs se proposent d'utiliser cette méthode pour des projets tels que l'analyse cardiographique, l'éducation musicale, l'identification de bruits mécaniques anormaux. (Doc « Time-Life » et « Fortune ») - Photo T. Tanuma.

l'aviation fait du bruit*

L'aggravation rapide de la gêne causée par l'envol et l'atterrissage des avions de transport aux riverains des aéroports s'explique de quatre façons.

■ Le développement rapide du transport aérien sur longues et courtes distances a conduit à une augmentation des fréquences de mouvements d'avions sur les grands aéroports.

■ La propulsion par réaction a changé la nature du bruit des avions; si le niveau maximal du bruit au décollage n'est pas fondamentalement différent pour un Boeing 707 et un Super-Constellation, les fréquences en cause sont différentes, et le réacteur provoque à la fois des bruits plus aigus et un grondement grave et continu que l'organisme humain ressent d'une façon désagréable : après le décollage et en approche, bien que les avions à réaction aient une vitesse sur trajectoire supérieure à celle des avions à hélices, la gêne ressentie dure plus longtemps.

■ La nécessité d'atteindre de grandes vitesses en croisière a conduit les constructeurs d'avions à réaction à diminuer la surface de la voilure, et à la doter de dispositifs hypersustentateurs à grande efficacité pour abaisser les vitesses d'approche à des valeurs acceptables; or, ces becs et ces volets, s'ils augmentent la portance, augmentent aussi sensiblement la traînée et, dans sa configuration d'approche, l'avion a besoin d'une forte proportion de la poussée maximale des réacteurs : il provoque ainsi beaucoup de bruit sur une zone d'autant plus vaste que l'approche se fait sur dix à quinze kilomètres selon une pente très faible, entre 2,5 et 3°.

■ Enfin — et ce n'est pas la raison la moins grave — certains aéroports, qui se trouvaient naguère à des distances relativement grandes des zones urbanisées, se sont vus entourés de constructions habitées, puis des établissements nécessaires à la vie d'une collectivité et pour lesquels la gêne

due au bruit est particulièrement sensible (écoles, hôpitaux, etc.) : ceci est dû, pour une part, à l'extension générale souvent inorganisée des villes desservies, et, pour une autre part, au fait que des personnes vivant de l'activité de l'aéroport ont une tendance naturelle à s'en rapprocher.

LES ORIGINES DU BRUIT

Aux vitesses d'approche et de décollage, le bruit dû au déplacement de l'avion dans l'air est négligeable : le bruit perçu est celui qui prend naissance dans l'ensemble propulsif.

Le bruit des avions à moteurs à pistons était dû aux moteurs et aux hélices. Le bruit d'échappement reste une gêne dans le domaine de l'aviation légère dont les moteurs à pistons perturbent, en particulier par leur importante activité dominicale, le calme de régions souvent peuplées de résidences secondaires et de citadins à la recherche du calme : il reste du travail à faire dans ce domaine. Quant aux hélices, elles sont plus ou moins désagréables, en particulier selon leur diamètre et leur vitesse de rotation : il y a eu des avions légers très bruyants (T-6, Beechcraft 18), et le bruit d'hélice des avions à turbopropulseurs représente une part importante de la gêne créée par ce type d'appareil.

Le turboréacteur crée deux types de bruit : le bruit de jet, et le bruit d'aubes. Le bruit de jet prend naissance dans la turbulence de la surface d'échange entre l'air ambiant froid et le jet de gaz chauds sortant du réacteur; la turbulence a d'autant plus d'énergie, et le bruit est d'autant plus grand, que la vitesse d'éjection des gaz chauds est plus grande et que leur température est plus élevée. Le bruit d'aubes est celui créé, comme par les pales d'une hélice, par les nombreuses pales du compresseur et de la turbine. Jusqu'à l'apparition des moteurs à double-flux, l'attention ne s'était guère portée sur les bruits de compresseur et de turbine : en effet, aux régimes élevés, ils étaient noyés dans le bruit de jet

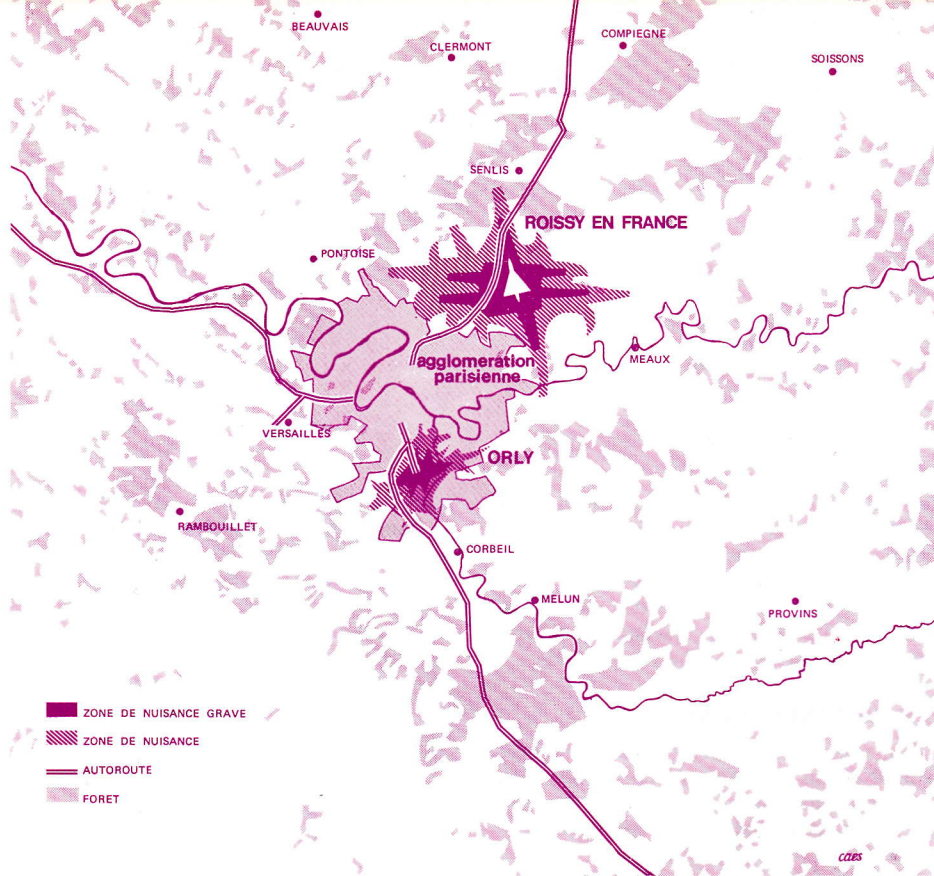
nettement prédominant, et aux bas régimes, le premier étage du compresseur des moteurs à simple flux, dont le diamètre est faible, et qui tournait à vitesse relativement faible, ne provoquait pas un bruit important. Avec les moteurs à double-flux, le bruit de jet était nettement diminué, comme on le verra plus loin, et le bruit de ventilateur devenait prédominant, en particulier en approche. Ce bruit est fonction de la vitesse périphérique du bout des aubes, donc du diamètre du ventilateur (proportionnel, à poussée donnée, au taux de dilution), et des interactions entre différents étages d'aubages (sillages). Sur les moteurs à capotages de ventilateurs courts à l'avant et à l'arrière, comme le JT-3-D des Boeing 707-320 B et C, ce bruit de compresseur rayonne dans un large angle solide tant vers l'avant que vers l'arrière. Enfin, les recherches sérieuses effectuées pour identifier toutes les sources de bruit d'un moteur ont conduit à se préoccuper du bruit de même nature que font les aubes de turbine et qui rayonne vers l'arrière, avec le bruit de jet dans lequel il se noie.

LA RÉDUCTION DES NUISANCES

La recherche d'une réduction du bruit des avions et plus généralement des nuisances de l'aviation peut être menée dans plusieurs directions. D'abord par le renforcement des mesures d'urbanisme tendant à éviter la poussée urbaine autour des aérodromes proches des villes et surtout l'analyse sérieuse des sites pour les aérodromes nouveaux (petits aérodromes d'affaires et surtout grands aéroports internationaux). Des réglementations de survol peuvent être également renforcées sur certaines zones urbaines ou réserves naturelles de faune : celle de Camargue, de qualité mondiale, est menacée par de nouveaux « rase-motte ».

Pour diminuer le bruit des avions au décollage et à l'atterrissage, outre les procédés touchant au moteur lui-même, dont on parlera ensuite, il faut citer les « procédures opérationnelles » : procédures de réduction de la pous-

* Cet article a été préparé en avril 1969, par les services de la Direction des Transports Aériens chargés des questions de navigabilité et de nuisance.



Zone de bruit du futur aéroport de Roissy.
(D'après les études du schéma directeur
d'aménagement et d'urbanisme de la
Région de Paris; mise à jour 1969)

sée au décollage, étude de la possibilité d'effectuer une première partie de l'approche sous une pente plus forte de 2,75°. Les procédures de réduction de la poussée au décollage doivent être adaptées à chaque aéroport, la répartition des habitations à protéger autour des pistes déterminant l'altitude de réduction et son ampleur; sur ce dernier point, les taux de montée résiduels optimaux des avions à moteurs double-flux à haut taux de dilution ne seront pas forcément les mêmes que ceux des appareils actuels.

On pourrait penser que l'apparition des avions à grande capacité réduira le nombre des vols. Ce raisonnement, qui est valable en moyenne dans la journée, ne sera malheureusement pas vrai aux heures de pointe, où le nombre de mouvements sera, de toute façon, celui correspondant à la capacité d'écoulement de la zone terminale.

RÉDUIRE LES BRUITS DE L'INSTALLATION PROPULSIVE

La réduction du bruit par des modifications de l'installation propulsive des avions est une tâche pratiquement très difficile. L'énergie rayonnée sous forme de bruit est de l'ordre de 0,5 % de l'énergie développée par le réacteur. L'individu moyen a l'impression qu'un

bruit est réduit de moitié lorsque le niveau mesuré est abaissé de 10 dB, ce qui nécessite une réduction de 90 % de l'énergie rayonnée sous forme de bruit. Une réduction de 3 dB, c'est-à-dire de 50 % de l'énergie rayonnée, est à peine perceptible pour l'oreille moyenne.

Enfin, les mécanismes de création du bruit sont multiples et tous ne sont pas parfaitement connus. Chaque fois qu'on réduit une source de bruit, une autre source, que l'on ignorait ou que l'on considérait comme sans importance, devient significative : c'est aujourd'hui le cas des bruits de turbine des réacteurs double-flux à fort taux de dilution.

Le bruit de jet est atténué, sur les moteurs à flux unique (P et W - JT-4 A - Rolls-Royce Avon) par des silencieux dont le principe est toujours d'augmenter la surface d'échange entre le jet chaud et l'air ambiant, de façon à diminuer l'intensité de la turbulence qui prend naissance à leur contact (silencieux tubulaires de Boeing 707, silencieux Rolls-Royce).

Ces dispositifs sont plus ou moins efficaces (± 3 à ± 5 PNdB) et certains mauvais esprits prétendent que les moins efficaces ne font que ramener le bruit au niveau que produirait le moteur sans silencieux, si sa poussée était réduite par le pilote d'une quantité égale à la perte de poussée entraînée par la présence du

silencieux... Car il est malheureusement vrai que ces silencieux diminuent la poussée et augmentent la consommation spécifique, même lorsqu'ils ne sont plus utiles, c'est à dire en croisière. Pour les avions supersoniques, pour lesquels les questions de consommation kilométrique sont cruciales, il est nécessaire de réaliser des silencieux de jet escamotables qui ne détériorent pas les performances après le décollage (silencieux SNECMA de l'Olympus, silencieux General-Electric). De toute façon la complexité et le poids de ces dispositifs se paient, même si la perte directe de performance a été éliminée.

Les moteurs double-flux ont un niveau de bruit de jet très bas, car le flux extérieur procède de lui-même à la dilution du jet chaud avant qu'il ne soit en contact avec l'air ambiant. Tout se passe donc comme si on avait en moyenne un jet moins rapide et moins chaud. Cet avantage augmente avec la croissance du taux de dilution, elle-même favorable à la diminution de la consommation spécifique.

Mais l'existence du ventilateur et la réduction du bruit de jet se paient, sur les moteurs double-flux, par une augmentation sensible du bruit de ventilateur, qui dépasse le bruit de jet de 8 PNdB au décollage et de près de 20 PNdB en approche pour un taux de dilution de 5 (*).

Pour comprendre les moyens de réduction de cette sorte de bruit, il faut savoir que, en plus d'un bruit blanc provenant de phénomènes intimement liés au comportement aérodynamique des aubes (en particulier en présence d'une inévitable turbulence avant), le bruit de ventilateur comprend :

— une composante à fréquences discrètes, liée à la fréquence de passage des aubes dans le sillage d'aubages amont, ou de passage de

(*) Un taux de dilution de 5 signifie que la masse d'air du « flux froid », brassée par le ventilateur et passant autour du corps du réacteur, est cinq fois supérieure à la masse d'air qui, après être passée dans le ventilateur, rentre dans le compresseur, passe dans la chambre de combustion et sort après avoir entraîné la turbine pour constituer le « flux chaud ».

leur sillage sur des éléments fixes (au minimum les inévitables bras supports du carénage de ventilateur),

— une composante qui, à la différence de la précédente, ne rayonne que vers l'avant et qui est créée par les ondes de choc attachées aux portions d'aubes se déplaçant à des vitesses supérieures à la célérité du son. Si les aubes étaient toutes rigoureusement identiques, ce bruit serait concentré sur une fréquence discrète. En fait, les inévitables micro-irrégularités de fabrication des aubes entraînent sa répartition sur tous les harmoniques de la fréquence de passage.

Pour diminuer le bruit de compresseur et de ventilateur, le motoriste dispose en principe de tout un arsenal de précautions : suppression des aubes directrices d'entrée, et donc de leur sillage ; calcul du nombre d'aubes optimal et de la distance optimale entre le ventilateur et les bras-supports du capotage ; limitation à un étage de ventilateur ; dispositifs de ralentissement du ventilateur. Dans ce domaine, on est limité par le poids qu'il faut donner à l'ensemble tournant et à sa turbine d'entraînement pour obtenir le taux de compression nécessaire ; aussi ce système n'est-il proposé que pour les poussées réduites de l'approche. L'avionneur peut aussi intervenir pour limiter le rayonnement et la propagation de ce bruit : traitement intérieur absorbant des manches d'entrée d'air et des capotages de flux froid, dont l'efficacité est d'autant plus grande que ces manches et ces capotages sont plus longs (*) ; « blocage » du rayonnement vers l'avant par un corps à géométrie variable situé dans l'entrée d'air et dont le gonflement crée un col sonique devant le moteur, ou par variation du calage des aubes de stator. Ces dernières mesures, qui ne sont applicables qu'à poussée réduite, ne sont acceptables que si l'on sait réaliser une sécurité absolue de retour en position de poussée maximale en cas de remise de gaz.

LIMITES DANS LA RÉDUCTION DU BRUIT

On voit donc que, sans même parler de techniques entièrement nouvelles, il existe des possibilités sérieuses de réduire le bruit des moteurs à réaction. Cependant, il semble que

(*) On est limité dans cette voie par l'effet défavorable sur les performances du moteur.

(**) National Aeronautics and Space Administration (U.S.A.).

l'étude sérieuse et détaillée des phénomènes en cause ait quelque peu réduit l'optimisme des motoristes.

On peut par exemple indiquer que, dans son programme révolutionnaire d'étude du « moteur silencieux » dont l'aboutissement prévu est très lointain (six années pour la mise au point technique), la NASA (**) espère un gain de 20 dB en approche et 15 dB au décollage par rapport aux moteurs en service.

Il faut en tout cas savoir que cet objectif nouveau, à prendre en considération dès la conception des futurs moteurs, au même titre que l'on recherchait jusqu'à présent la poussée maximale ou la consommation minimale, ne sera pas atteint sans conséquences sur la rentabilité des prochaines générations d'avions : la lutte contre le bruit se traduira certainement par une pause dans l'amélioration de la rentabilité des avions.

Les modifications techniques apportées au système propulsif pour en réduire le bruit sont coûteuses en termes de rentabilité des avions : le traitement des moteurs ou des nacelles fait perdre de la poussée et fait augmenter la consommation et le poids, et plus particulièrement si, comme cela a été le cas jusqu'à présent, il s'est agi en quelque sorte du « rat-trapage » d'un moteur qui n'a pas été au départ conçu en recherchant le moindre bruit.

Au stade actuel, celui de la recherche et des études, les gouvernements et les constructeurs doivent investir des sommes considérables. Il s'agit de mener à la fois des études appliquées pour résoudre les problèmes immédiats d'abaissement du bruit des moteurs actuels, et des études fondamentales en vue d'élaborer des techniques nouvelles qui seront appliquées à la conception de moteurs pour lesquels la réduction du bruit sera un objectif principal au même titre que la performance et la fiabilité. En dehors des études propres au silencieux du moteur de Concorde, la participation budgétaire de l'État a été de 5 MF en 1968, elle est de 13 MF en 1969 et devrait se maintenir à un niveau analogue en 1970.

NÉCESSITÉ D'UNE ACTION AUTORITAIRE DES GOUVERNEMENTS

Du fait de ces conséquences économiques, seule une action autoritaire des gouvernements est susceptible d'entraîner une diminution sensible du bruit des avions. A défaut d'une telle action, on n'assisterait qu'à des améliorations mineures proposées par chaque motoriste à titre d'argument commercial vis-à-

vis des concurrents. Il est d'autre part évident qu'une telle action autoritaire doit faire l'objet d'un accord international, les conséquences économiques des limitations qui seront fixées devant peser du même poids sur les constructeurs de tous les pays.

C'est pourquoi, après une conférence internationale tenue à Londres en novembre 1966, la Grande-Bretagne, les États-Unis et la France se sont engagés dans des négociations détaillées pour mettre sur pied un schéma commun de « certification acoustique » des avions.

Tout avion de transport subsonique devra, s'il est mis en service après une date qui pourrait être 1971, posséder un certificat attestant qu'il ne dépasse pas certains niveaux de bruit réglementaires en certains points situés sous les trajectoires de décollage et d'approche et de chaque côté de la piste. Ce certificat sera une condition nécessaire, mais non suffisante, pour l'exploitation de l'avion, car des limitations locales plus sévères devront être imposées sur certains aéroports critiques. Disons seulement que l'ordre de grandeur du gain attendu de cette certification serait de l'ordre de 10 à 12 PNdB (par rapport à la situation présente) pour l'approche et le décollage, et de 6 à 8 PNdB pour le bruit latéral. On peut également dire qu'un avion de 150 tonnes certifié ne ferait pas plus de bruit que la moyenne des actuels avions de 50 tonnes.

En fait, l'élaboration d'une réglementation du « bruit à la source » est délicate du fait qu'il s'agit d'un domaine où les connaissances sont insuffisantes. Jusqu'au choix de l'unité de mesure, les diverses dispositions réglementaires peuvent faire l'objet de discussions prolongées que peut seule interrompre une volonté politique d'action immédiate et de compromis raisonnable entre les pays intéressés.

Les possibilités de la technique permettent d'attendre une sensible diminution du bruit des futurs avions, peut-être moins spectaculaire qu'on ne le pense, sans doute moins rapide qu'on ne l'espère. Il faut en tout cas se préparer à payer le prix de cette amélioration.

Mais ce serait une erreur qui pourrait porter un coup sérieux à l'avenir du transport aérien que de croire que les efforts faits sur le bruit à la source et les sacrifices consentis sur la rentabilité des avions seront suffisants et permettront d'éviter de traiter le difficile, mais réel, problème du contrôle de l'urbanisation des environs des aéroports.