

# Bruit des avions commerciaux 40 ans de progrès

**En 40 ans, 20 décibels de moins, soit  
75 % de réduction des nuisances sonores**

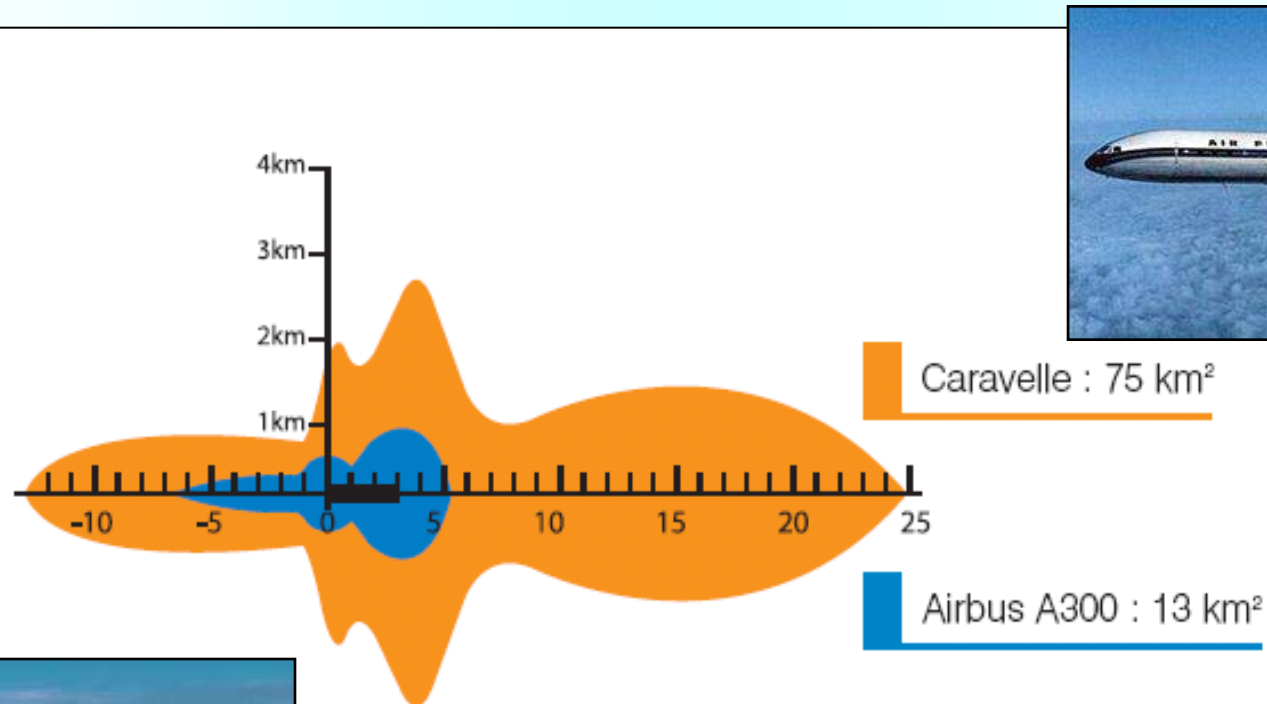
- Progrès considérables en 40 ans des avions et des moteurs
- Normes OACI très sévères pour réduire le bruit des avions
- A plusieurs reprises, relèvement du niveau de ces normes.
- Les constructeurs veulent continuer pour
  - réduire l'impact environnemental des avions
  - préserver les objectifs socio-économiques à long terme du transport aérien.



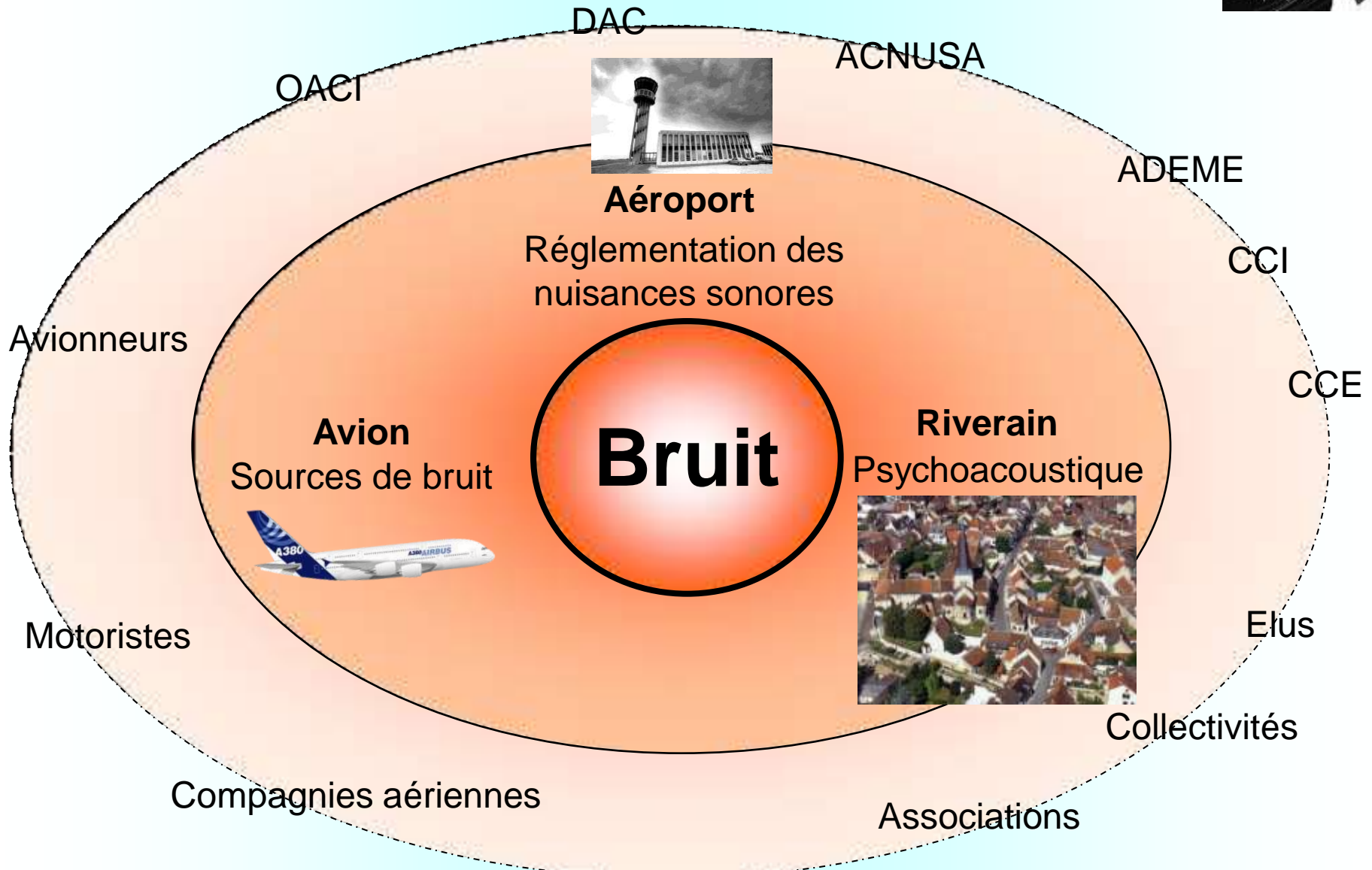


Un résultat parmi d'autres :

L'empreinte sonore de l'A300 (année 75) représente moins du dixième de celle de Caravelle (année 59). [à 80 dB(A)]



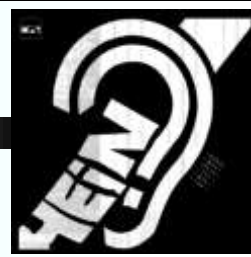
Evolution des empreintes sonores en fonction  
de la génération des moteurs





# RIVERAIN

## Acoustique physiologique



**L'acoustique, une science subjective ?**

**Une unité physiologique ?**

**Aspect objectif**  
Acoustique physique  
*Équation d'onde*

**Aspect subjectif**  
Acoustique physiologique  
*Indicateurs de gêne*

**Émission**  
Sources sonores

**Propagation**  
Vers l'extérieur

**Rayonnement**  
En champ libre

**Réception**  
Oreille

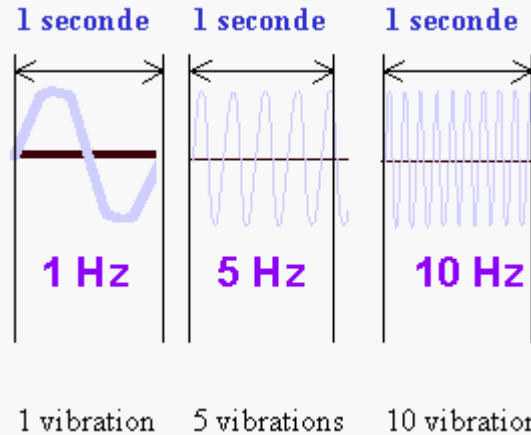
**Perception**  
Cerveau

**La psychoacoustique étudie les liens entre les paramètres sonores et les attributs perceptifs**



## Le son est caractérisé par trois paramètres principalement

☛ sa **fréquence** (nombre de vibrations par seconde)



☛ son **timbre** (forme de la vibration) :

- L'oreille peut distinguer un **LA** d'un saxophone ou d'un violon.
- C'est le timbre qui permet cette distinction
- Pour une note de même hauteur et même sonie\*.



**LA**



\*La sonie = la sensation qu'un son est fort ou faible.

\*Elle dépend de l'intensité du son mais aussi du contenu fréquentiel.

☛ son **intensité** (amplitude des vibrations)



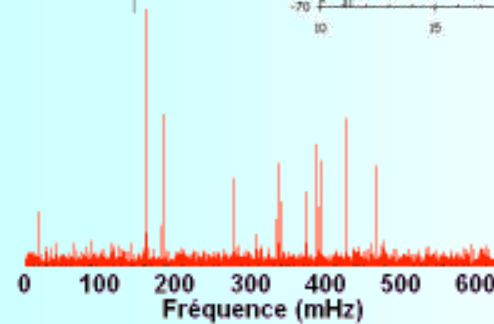
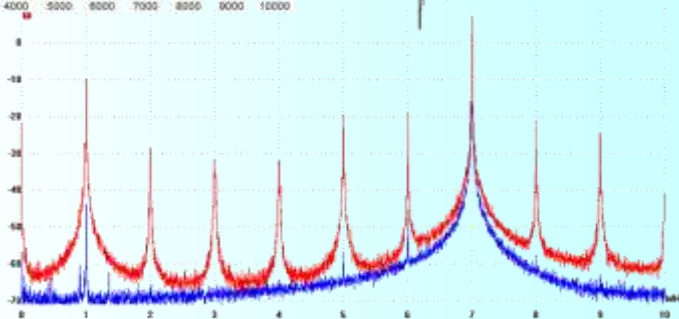
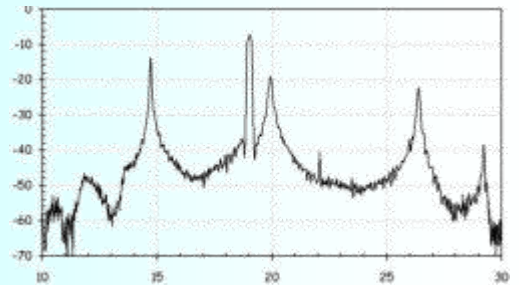
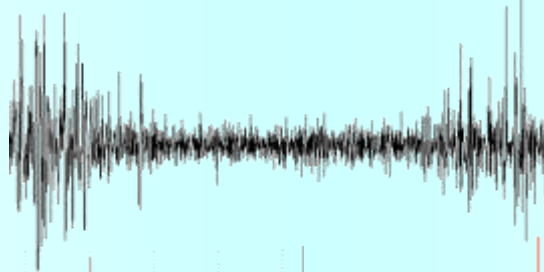
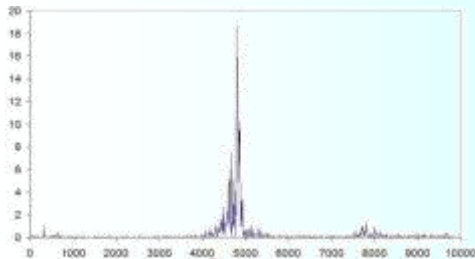
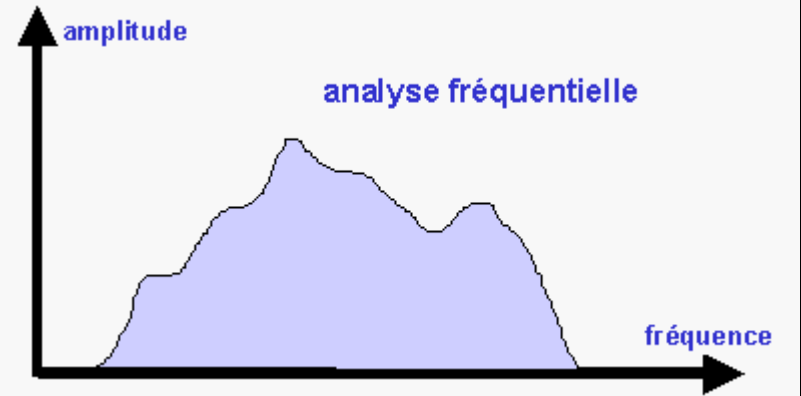


## Le bruit

### Bruit

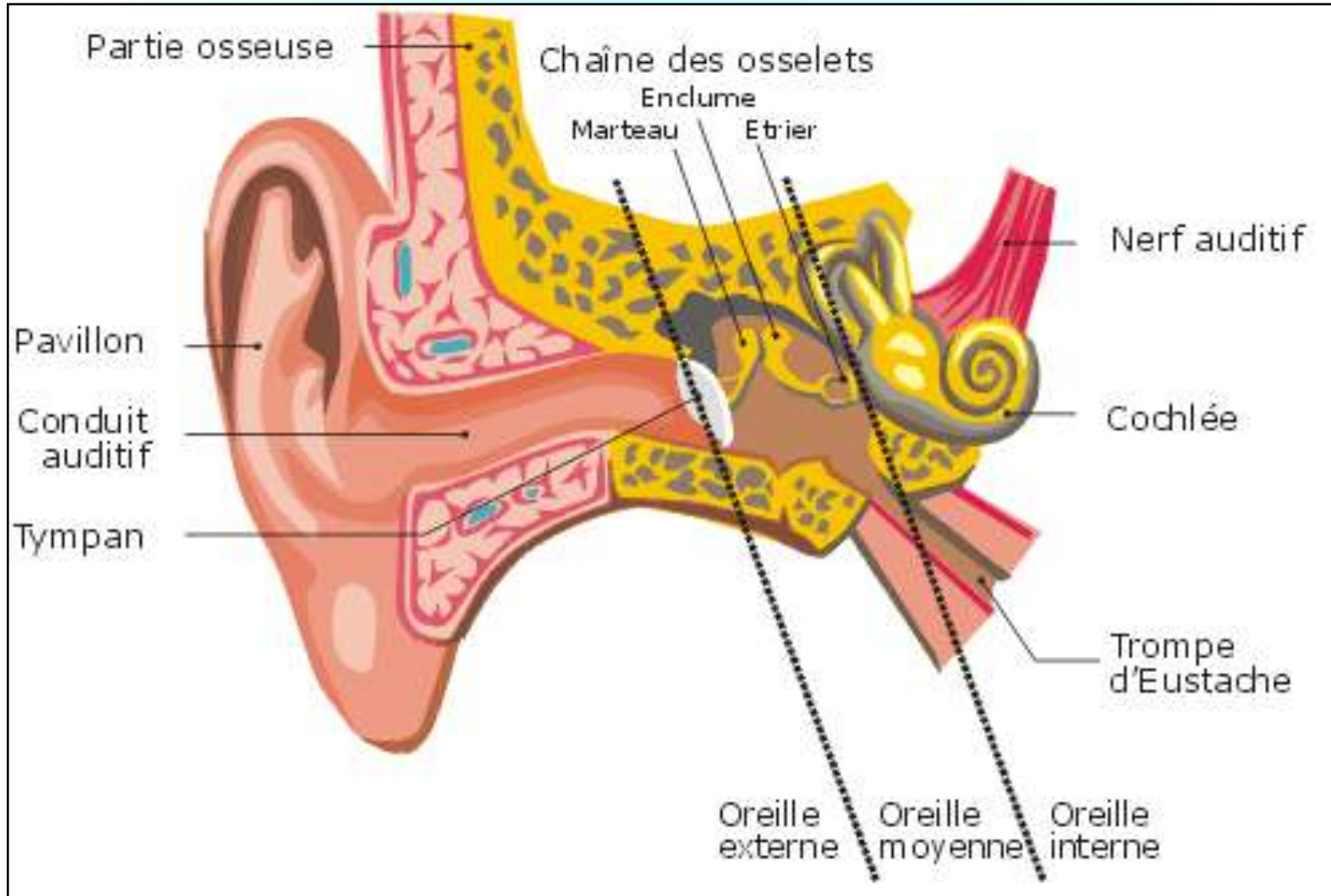
Le bruit résulte d'un phénomène acoustique produisant une sensation auditive considérée comme gênante ou dangereuse.

Il est le plus composé de sons multiples, de fréquence et d'intensité différentes.





## L'oreille et l'ouïe



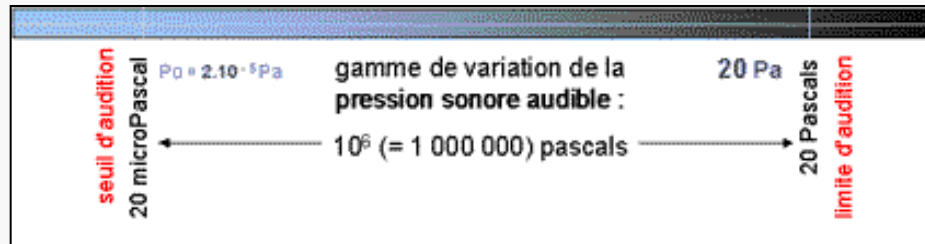


## Un problème d'échelle: Les Décibels

« La sensation croît linéairement avec le logarithme de l'excitation »

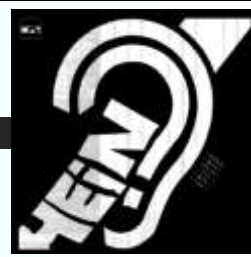
### Décibel

La pression acoustique correspond à la variation de pression produite par une onde acoustique. Elle s'exprime en Pascals.



Pour un aspect pratique, cette grandeur est transposée sur une **échelle logarithmique**, en **décibel (dB)**.





## Les Décibels: attention à l'arithmétique !

Le monde des décibels; un pays où  $100+100 = 105$  et  $100+121 = 123$  !



70 dB

+



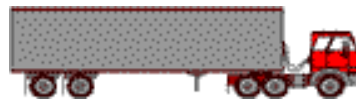
70 dB

= 73 dB



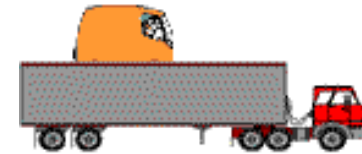
70 dB

+



85 dB

=



86 dB

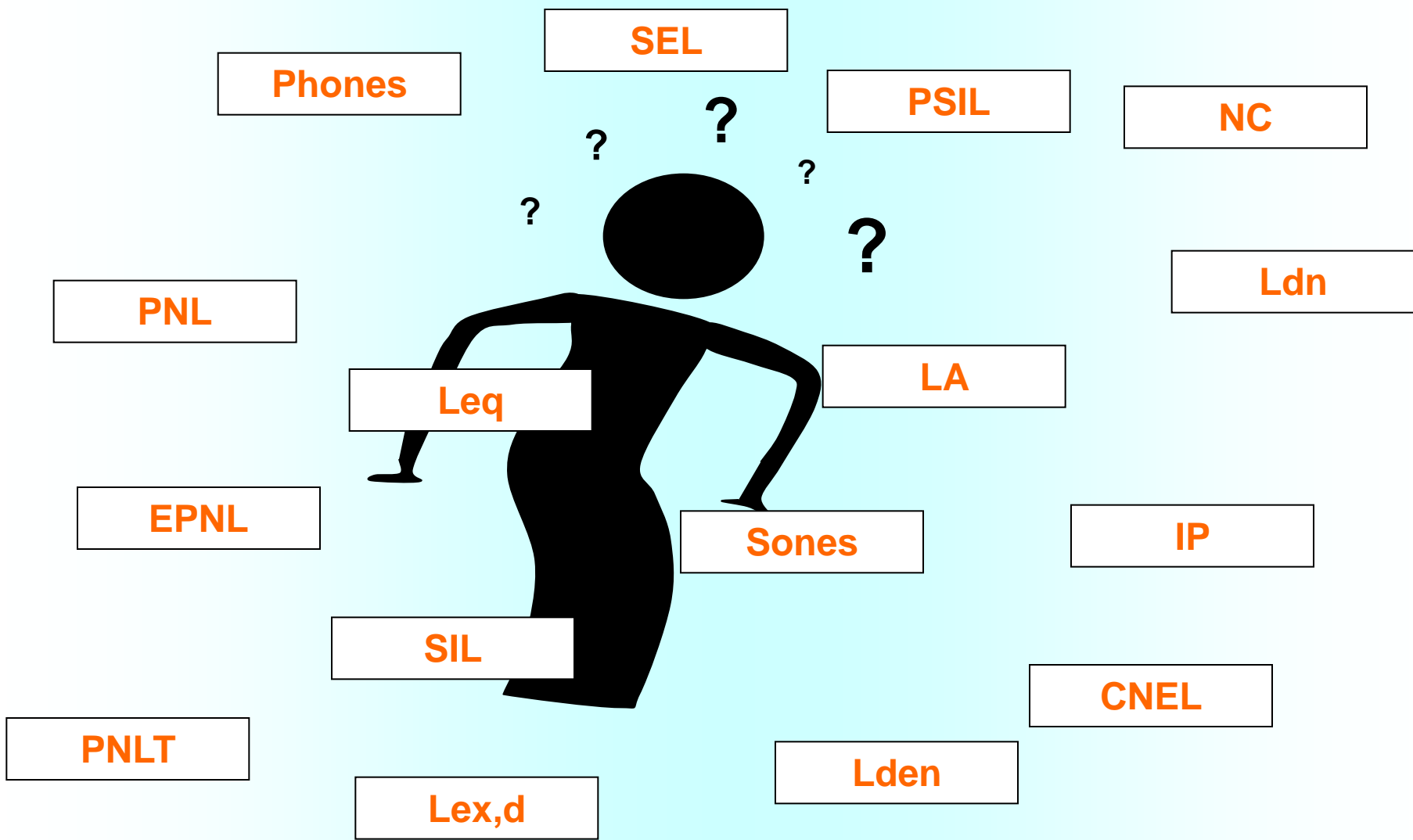


Une unité physiologique ????



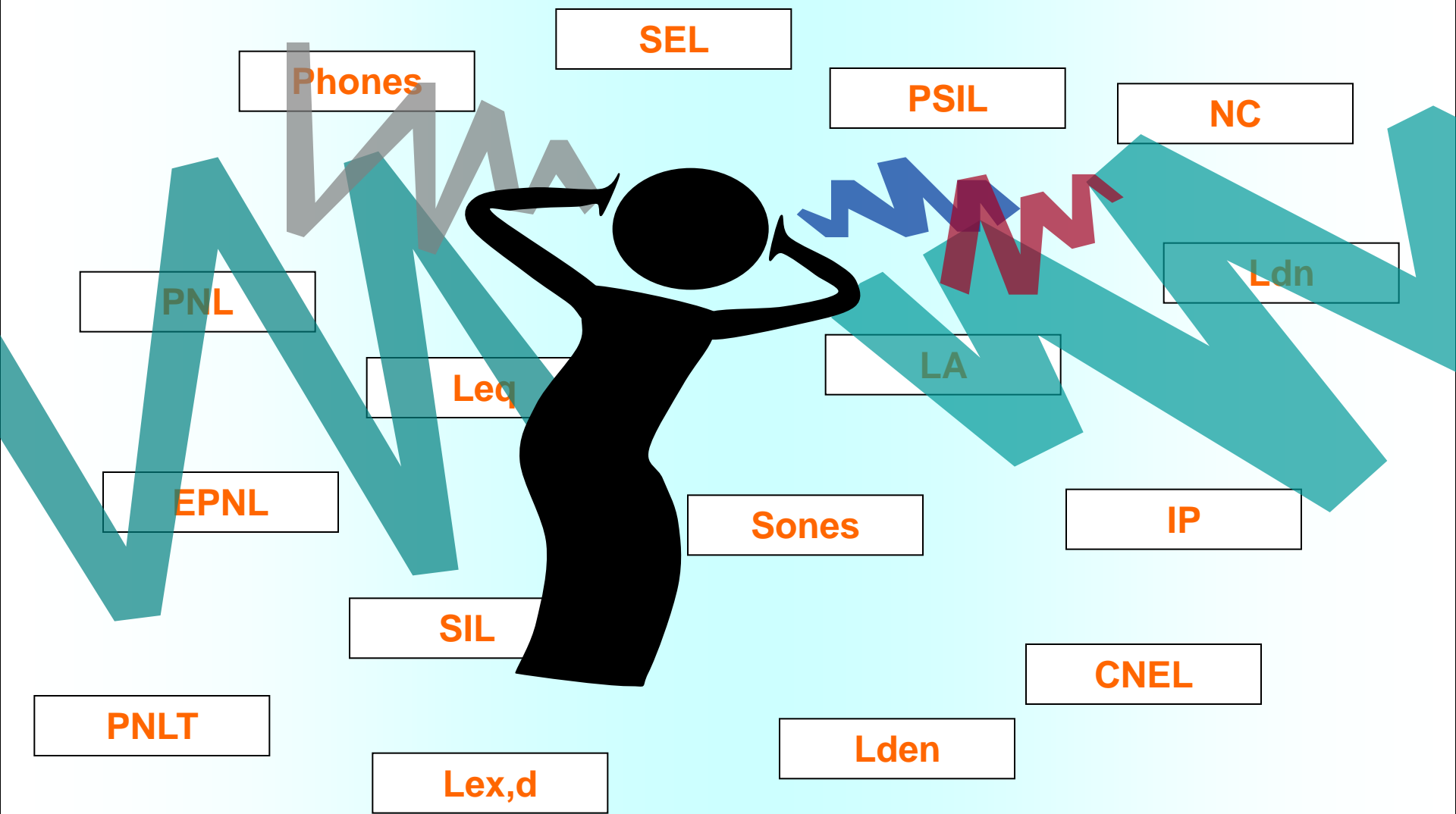


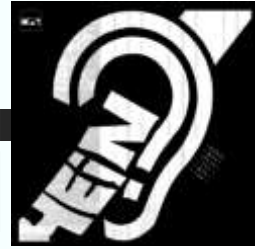
## Une unité physiologique ???? ?





## Une unité physiologique ????





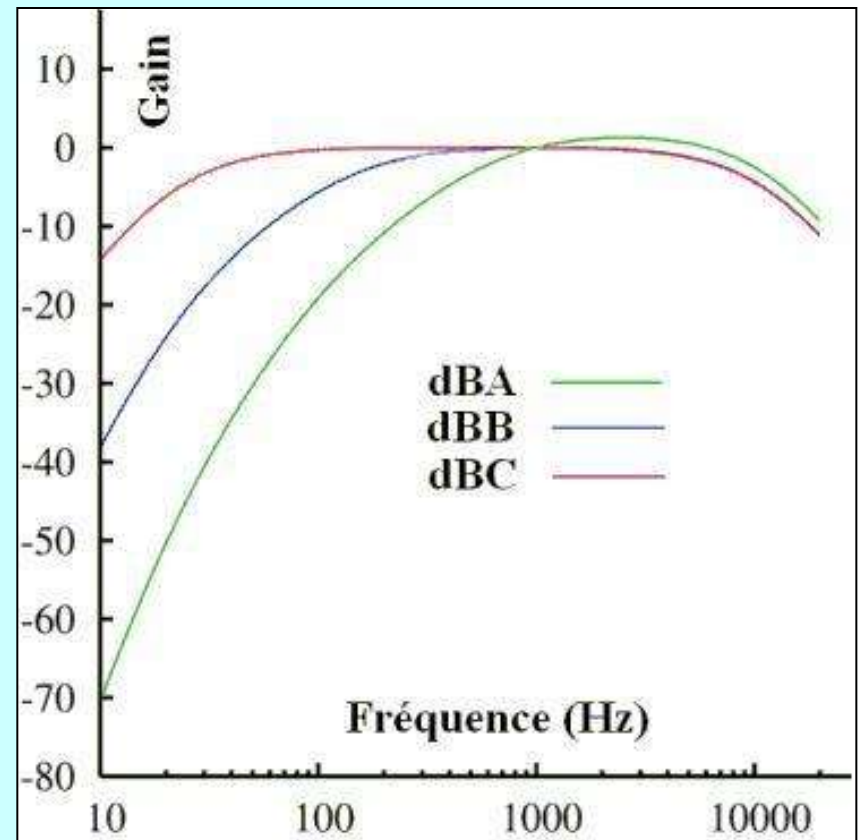
## Une unité physiologique ????

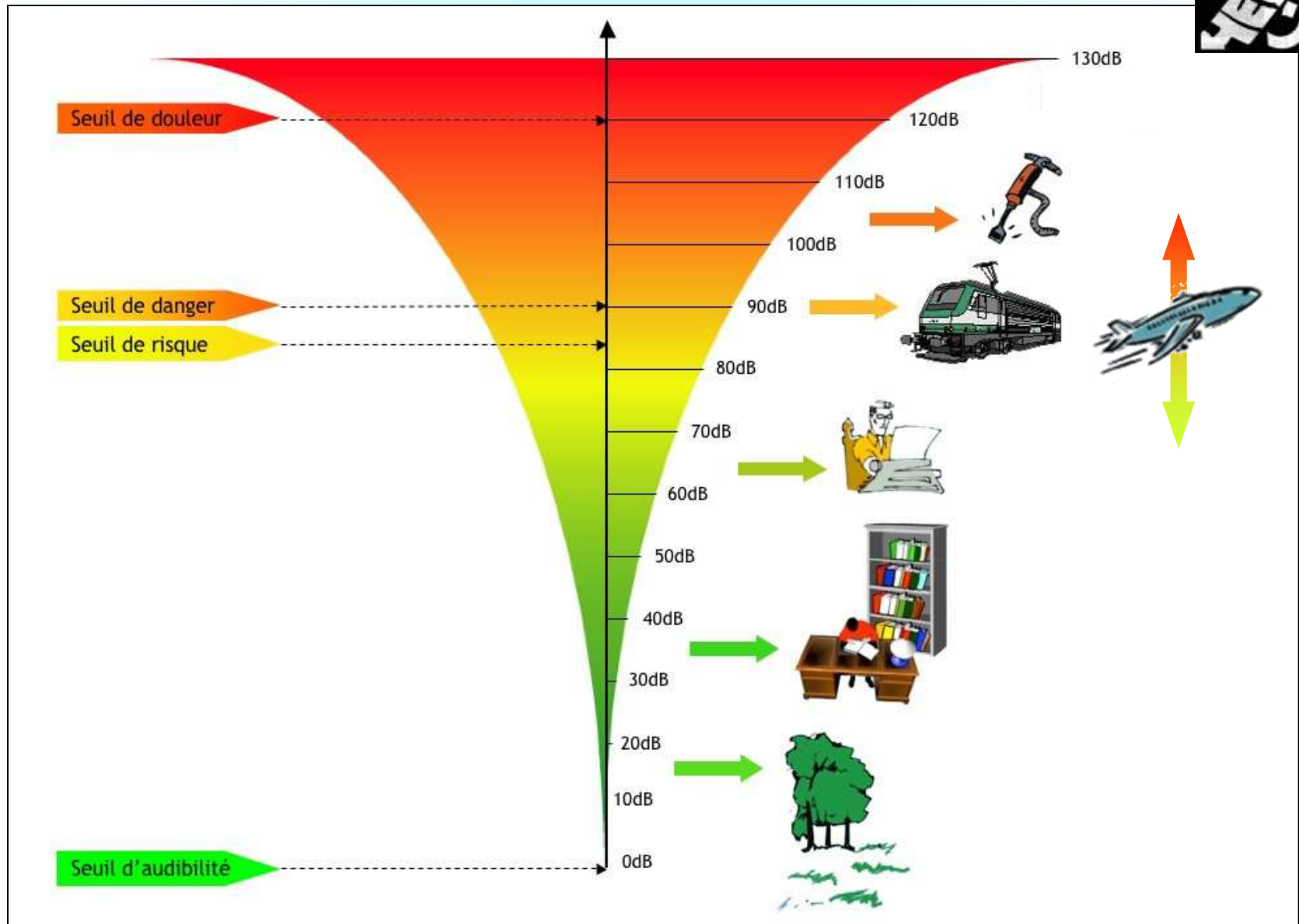
**Le problème :** la sensation d'intensité varie selon la fréquence

**La solution :** l'utilisation d'une pondération fréquentielle

- **Pondération A** => dB(A)  
On atténue les basses fréquences  
On amplifie légèrement à 2 kHz
- **Pondération B**  
Pour des sons > 70 dB
- **Pondération C**  
Pour des sons > 100 dB

**dB (A) = le Décibel physiologique**







# AVION

## Sources de bruit



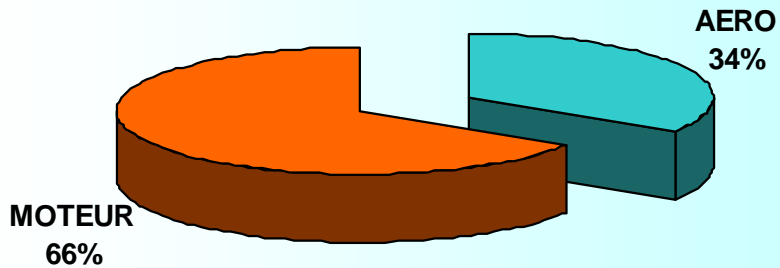
**Moteurs**

**Trains  
d'atterrissage**

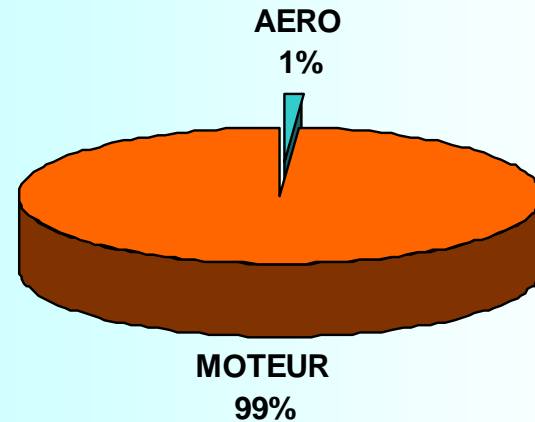
**Becs**

**Volets**

**Approche**



**Décollage**





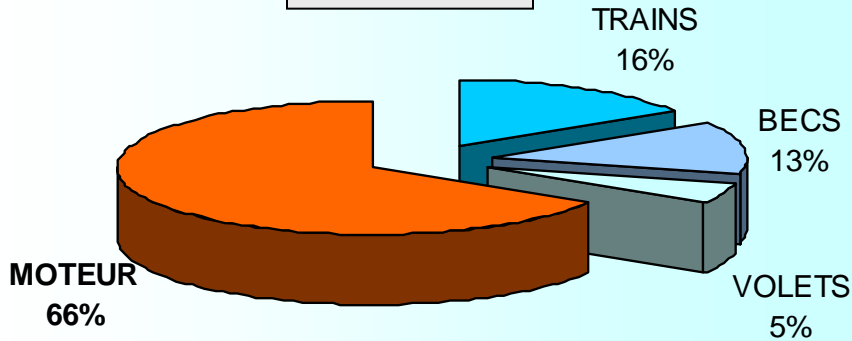
**Moteurs**

**Trains  
d'atterrissage**

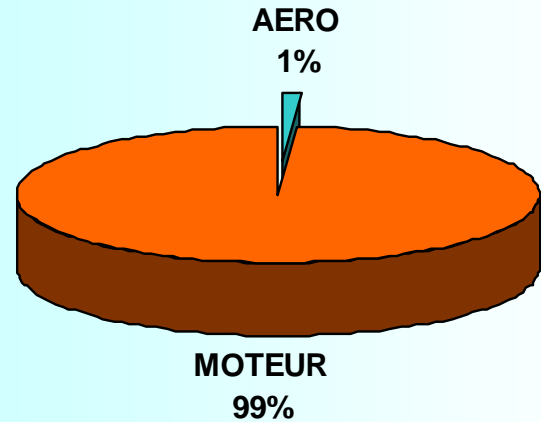
**Becs**

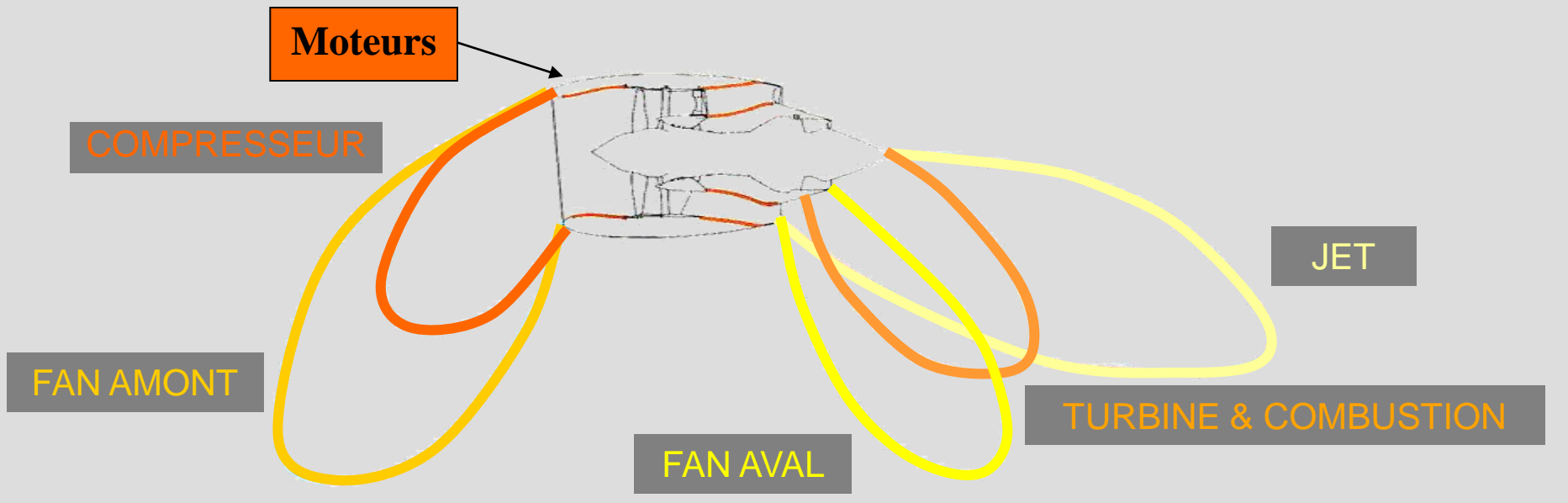
**Volets**

Approche

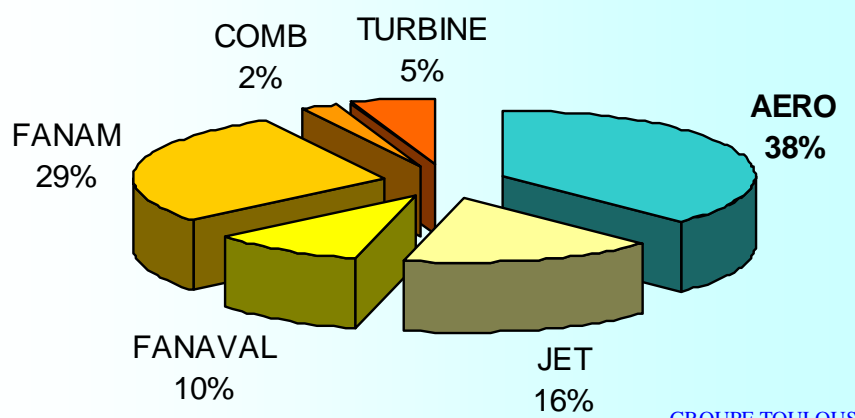


Décollage

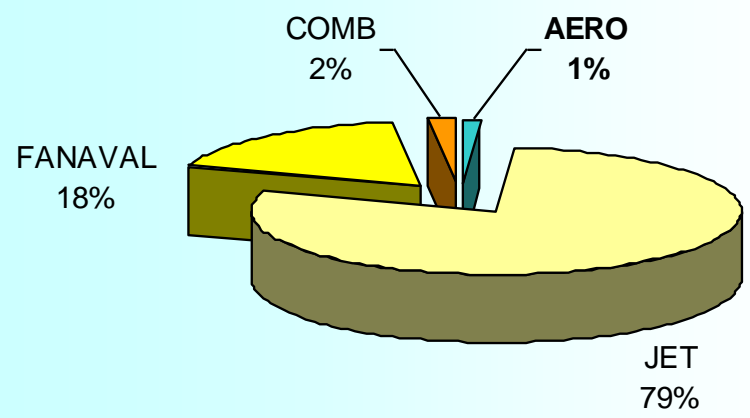




**Approche**

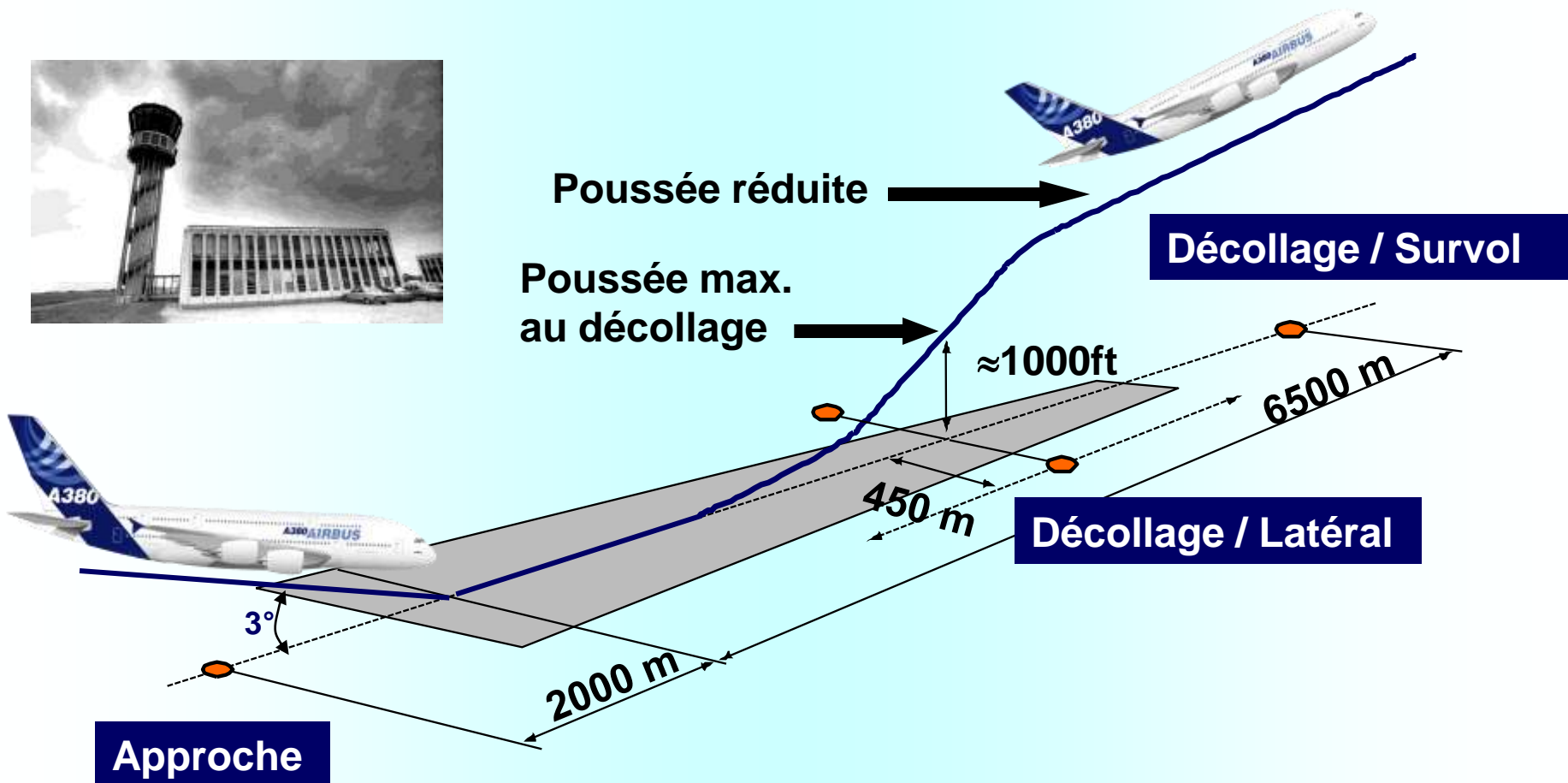


**Décollage**





## 3 Points de références pour la mesure du bruit global avion





## L'indice de mesure: l'EPNL

**Spectres de bruit** dB

Prise en compte du degré de nuisance du bruit

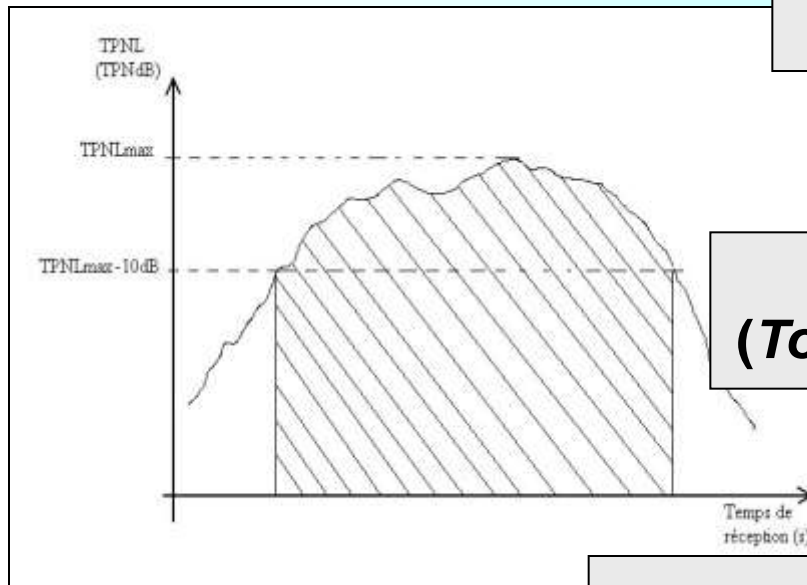
**PNL**  
**(Perceived Noise Level)** PNdB

Correction avec prise en compte des sons purs très gênants

**TPNL**  
**(Tone Perceived Noise Level)** TPNdB

Intégration temporelle autour du TPNLmax

**EPNL**  
**(Effective Perceived Noise Level)** EPNdB





## Limites de bruit imposées par l'OACI

### Les chapitres de l'OACI



- **Chapitre 2 :**

Avions conçu avant 1977.

Interdits en Europe depuis le 1er avril 2002.

Ne concerne pas les aéronefs de masse inférieure à 3 tonnes et de moins de 19 places (Sauf dérogation liée à des accords internationaux).

- **Chapitre 3 :**

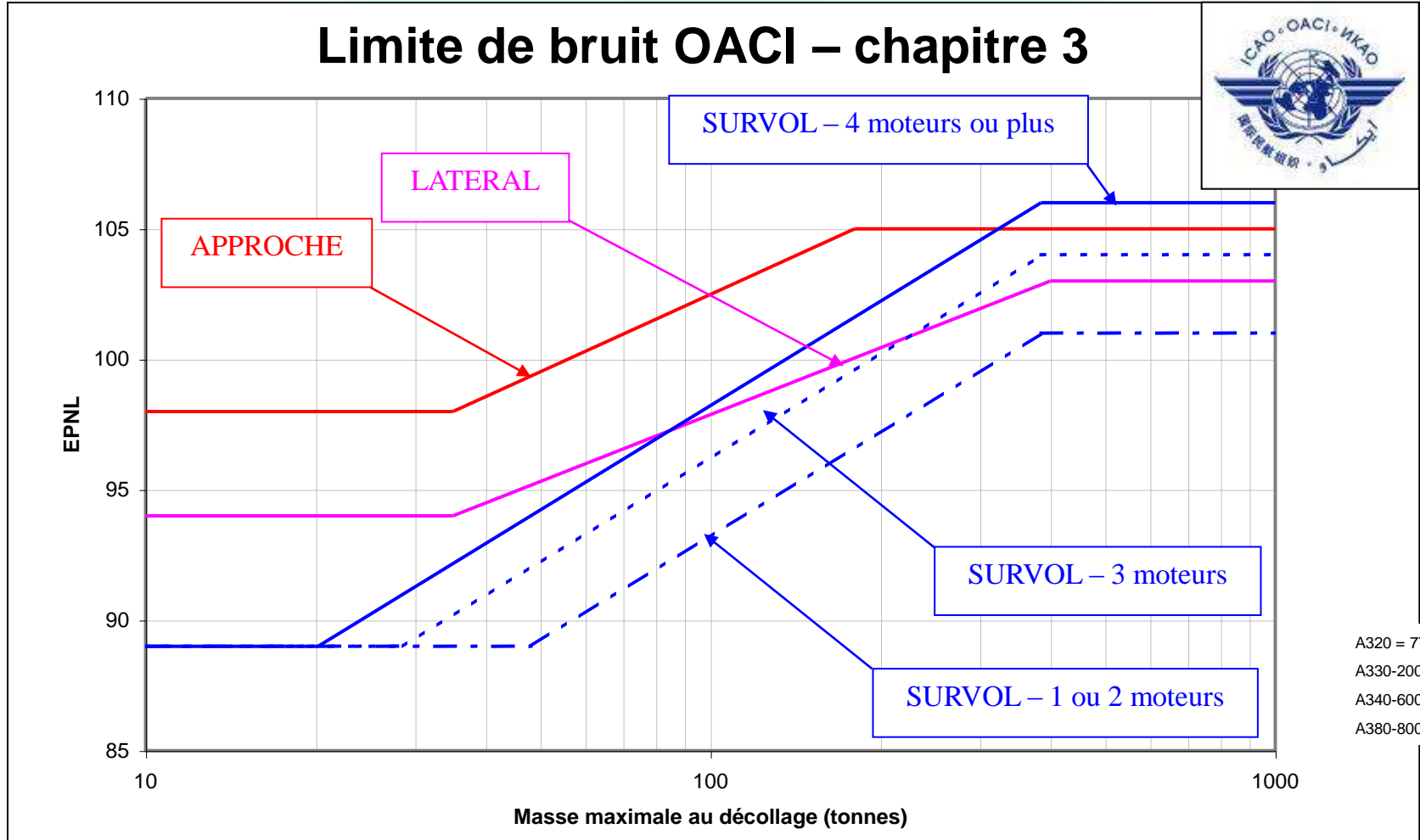
Concerne les avions conçus après 1977 comme tous les Airbus, les derniers Boeing et les versions plus récentes des Boeing 737 et 747.

- **Chapitre 4 :**

Concerne tous les avions produits à partir de 2006.



## Limites de bruit en certification

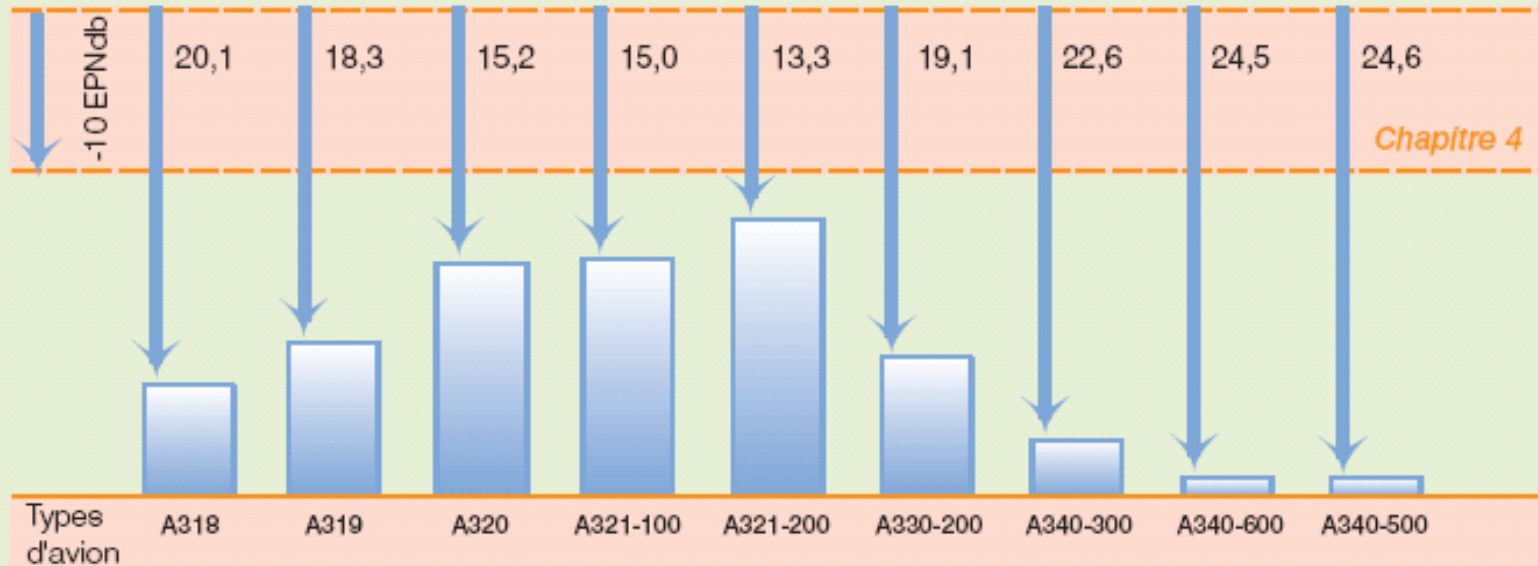


- Chapitre 3 : dépassement autorisé moyennant compensations
- Chapitre 4 : **marge de 10 EPNdB / Chap3** et aucun dépassement



## Limites de bruit en certification

### Marge cumulée de bruit (EPNdb) - La famille Airbus à commandes de vol électriques



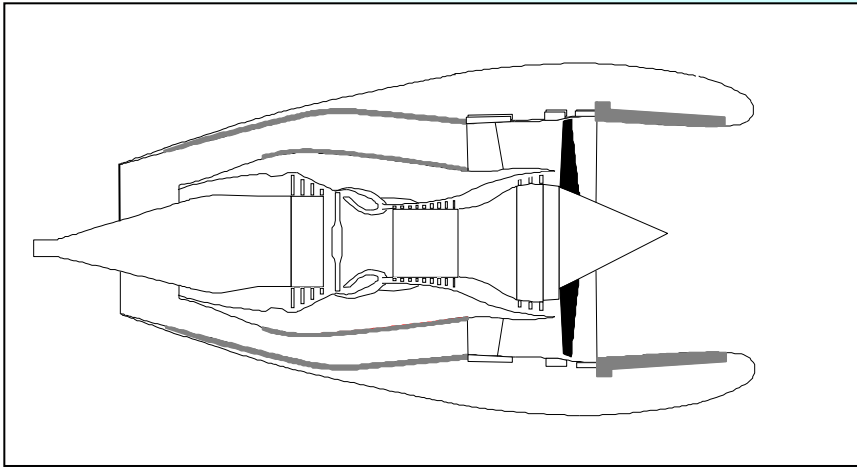
Sur la base de la masse maximum au décollage MTOW (Maximum Take-Off Weight).

Grâce à une technologie avancée en matière d'acoustique, les niveaux de bruit de tous les avions Airbus sont inférieurs aux limites fixées par le Chapitre 3 de l'OACI. Ils anticipent d'ores et déjà les limites imposées par le futur Chapitre 4. Les avions les plus récents se positionnent très en deçà de ces plafonds.

Source : Airbus.



Qui fait quoi sur les moteurs et nacelles ?



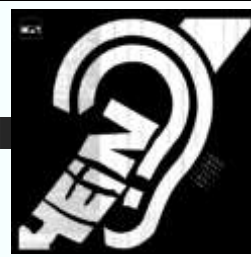
**Émission**  
Sources sonores

**Propagation**  
Vers l'extérieur

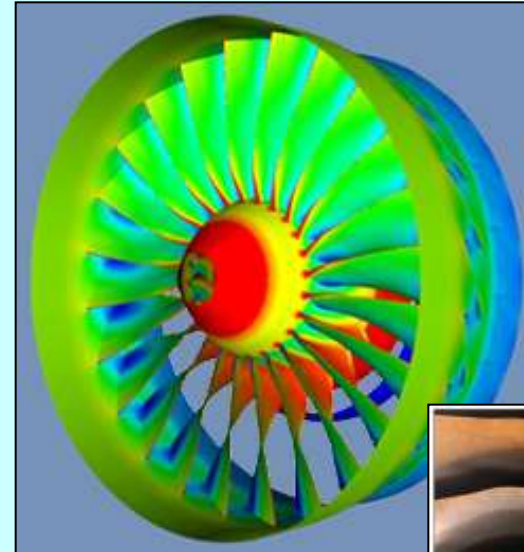
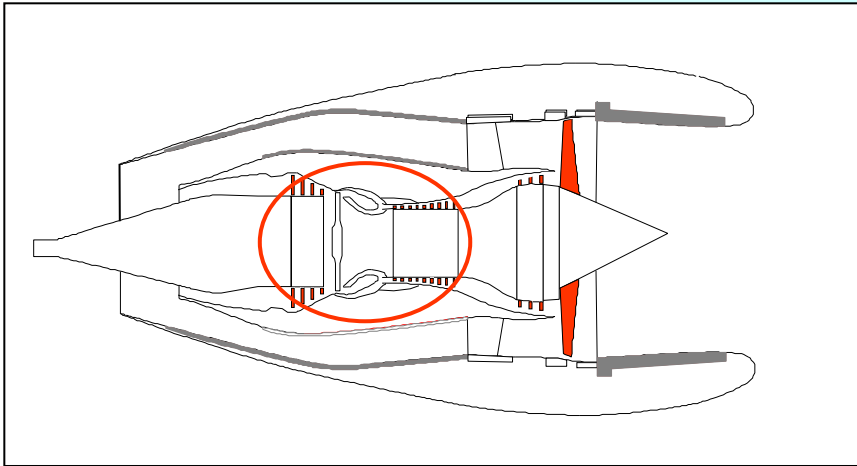
**Rayonnement**  
En champ libre

**Réception**  
Oreille

**Perception**  
Cerveau



## Technologies moteurs/nacelles



**Design des pales des turboréacteurs**  
**Responsables : motoristes**

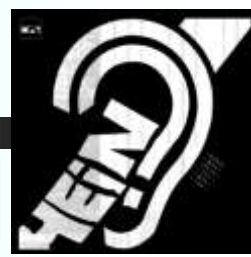
**Émission**  
Sources sonores

**Propagation**  
Vers l'extérieur

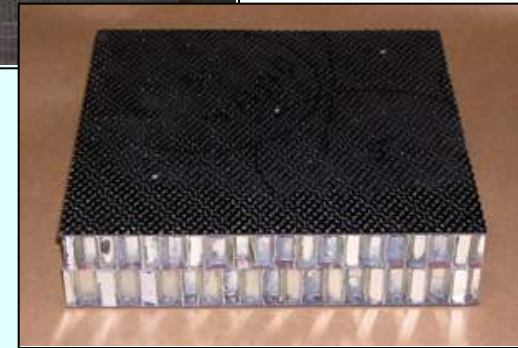
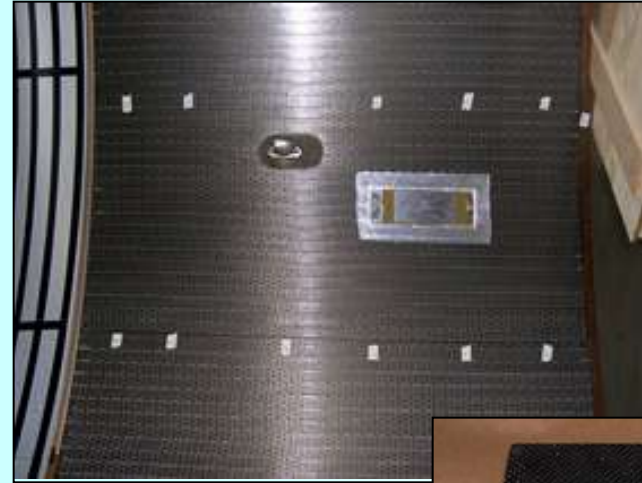
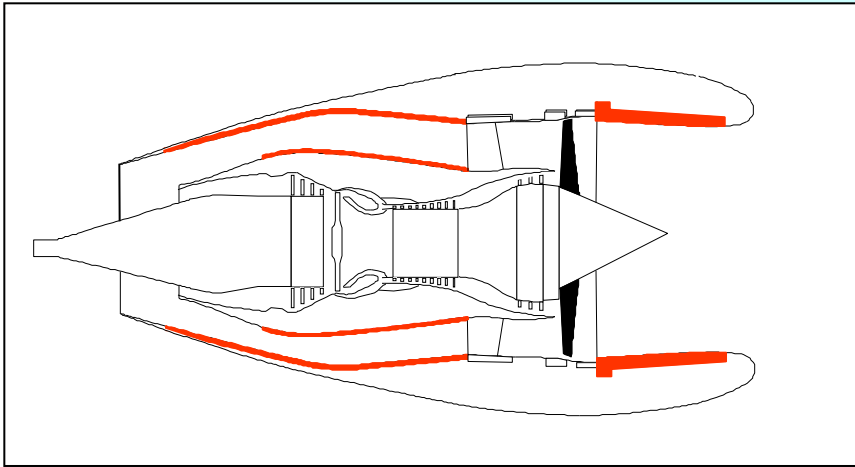
**Rayonnement**  
En champ libre

**Réception**  
Oreille

**Perception**  
Cerveau



## Technologies moteurs/nacelles



**Traitements acoustiques (matériaux absorbants)**  
**Responsables : motoristes et avionneurs**

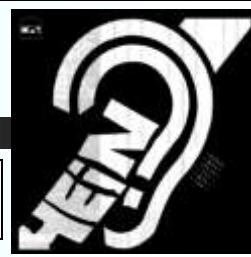
Émission  
Sources sonores

Propagation  
Vers l'extérieur

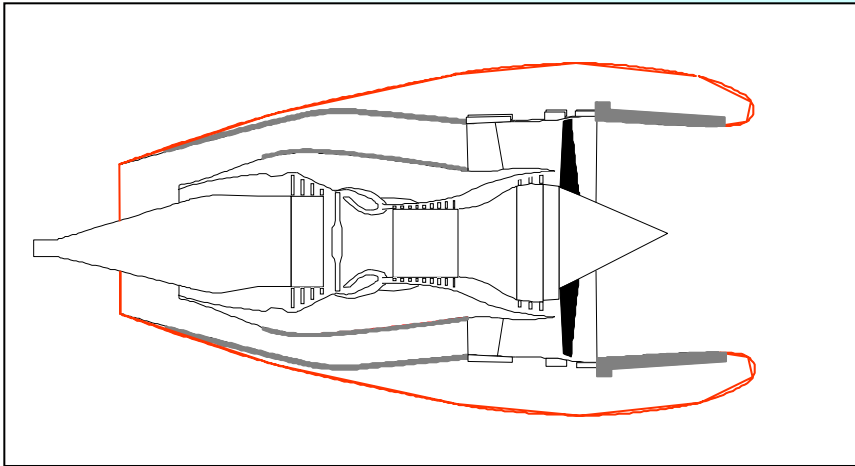
Rayonnement  
En champ libre

Réception  
Oreille

Perception  
Cerveau



## Technologies moteurs/nacelles



**Géométrie nacelle**  
**Responsables : avionneurs et nacellistes**

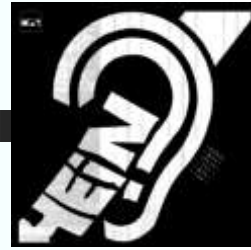
**Émission**  
Sources sonores

**Propagation**  
Vers l'extérieur

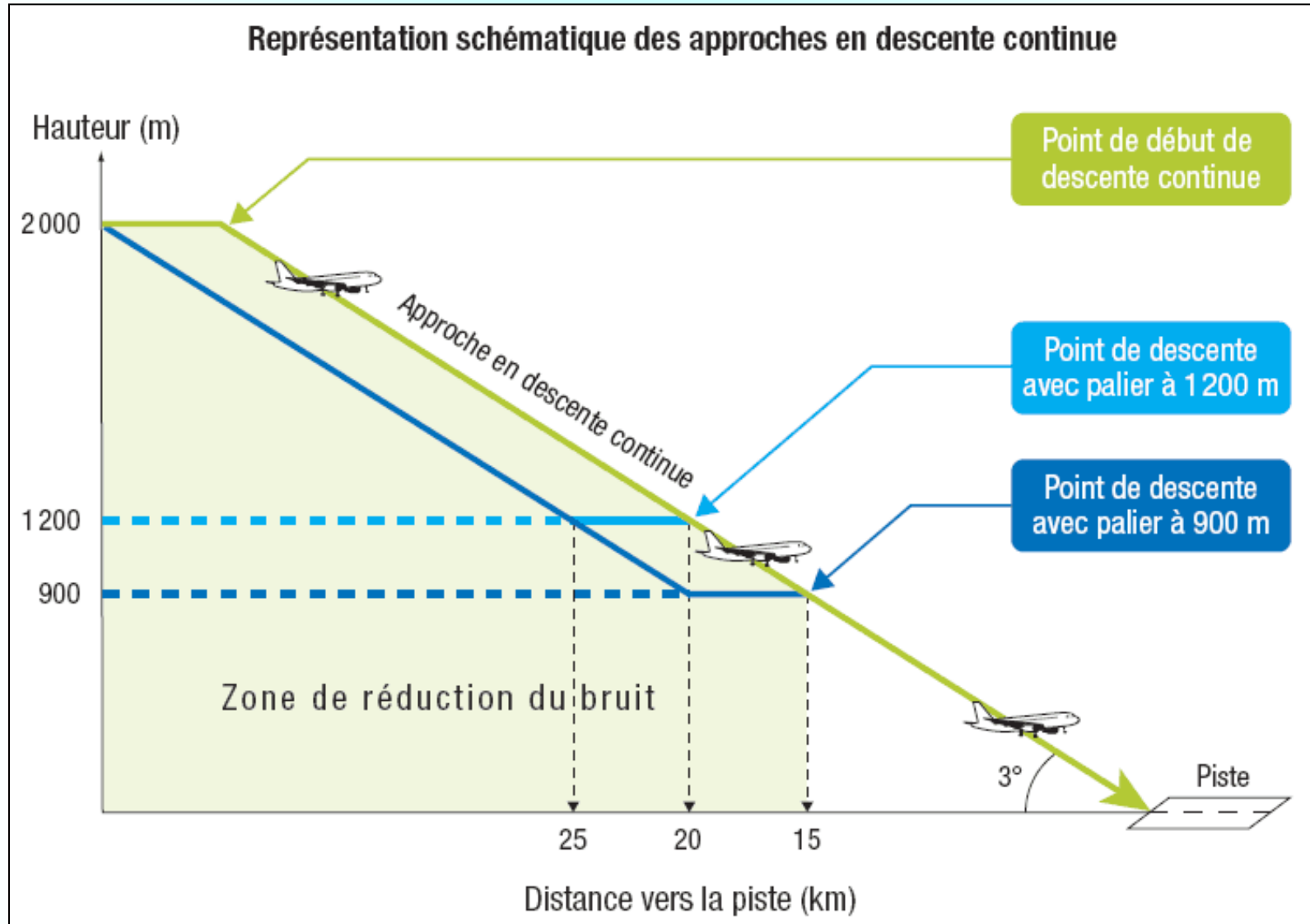
**Rayonnement**  
En champ libre

**Réception**  
Oreille

**Perception**  
Cerveau



## Procédures opérationnelles





## Les objectifs ACARE

L'**ACARE** (**A**dvisory **C**ouncil for **A**eronautics **R**esearch in **E**urope), le conseil consultatif pour la recherche aéronautique en Europe a été mis en place en juin 2001 par un groupe de personnalités du secteur rassemblées autour de Philippe Busquin, Commissaire en charge de la recherche en Europe.



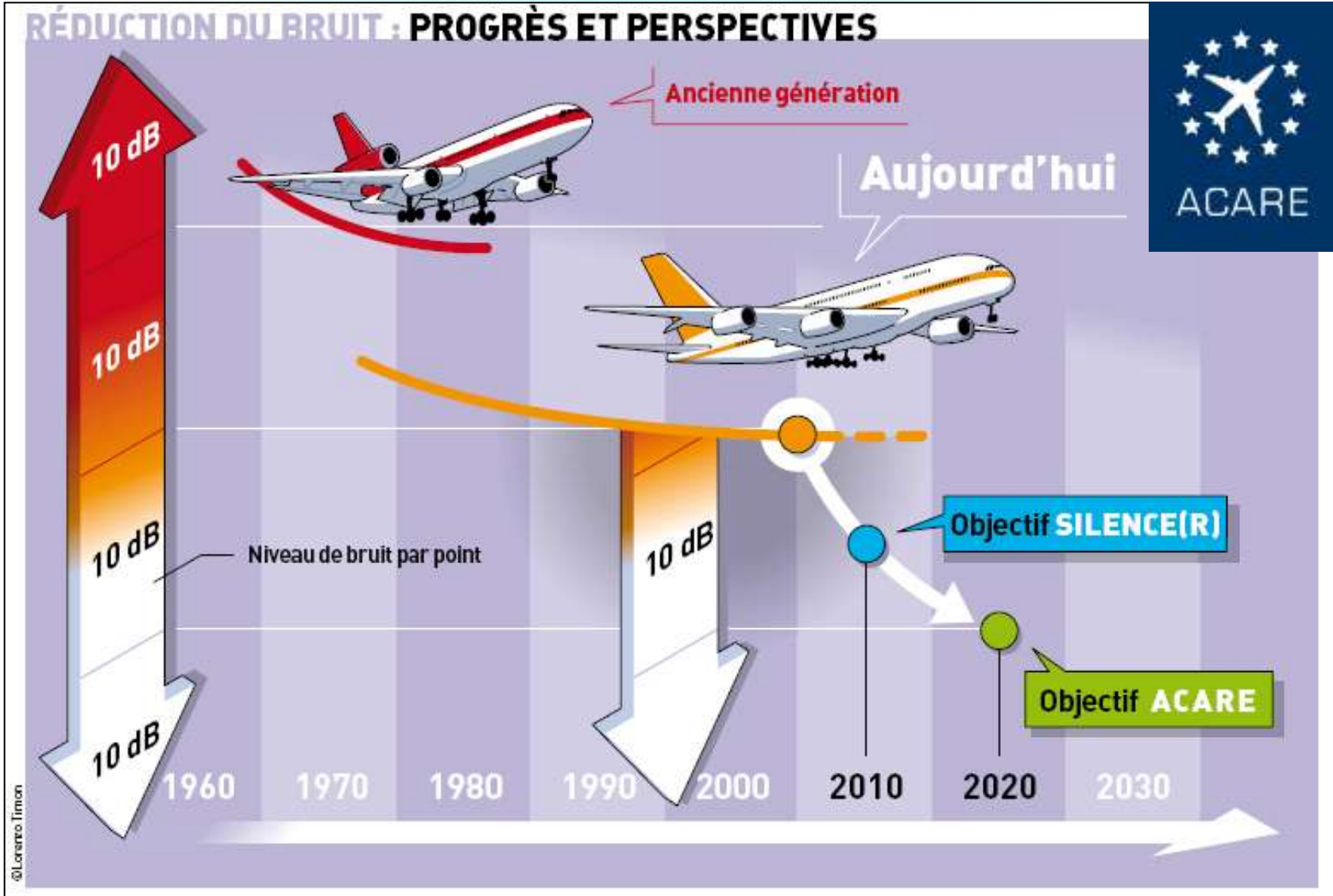
### Objectifs Quantifiés fixés par le SRA 2\* : *Réduire les incidences environnementales*

- Réduire la consommation de carburant et les émissions de CO<sub>2</sub> de 50%,
- Réduire les émissions de NO<sub>x</sub> de 80%,
- **Réduire le bruit perçu de 50% (réduction de - 10dB par mouvement),**
- **Atteindre le niveau de 65 Lden\*\* aux limites des aéroports, réduire l'empreinte sonore des héliports de 50%,**
- Progresser de manière substantielle vers la fabrication, la maintenance et le retrait vert.

\* Strategic Research Agenda    \*\*Lden= Day-Evening-Night noise composit index



## Les objectifs ACARE





# AEROPORT

## Réglementation des nuisances sonores (en France)

Texte juridique :

[L.99-588 du 12 Juillet 1999](#)

Depuis 1999

## Compétences générales pour tous les aéroports civils

- Un pouvoir de recommandation
- Un pouvoir d'alerte
- Un pouvoir d'investigation
- Un pouvoir de sanction
  - 1500 euros pour une personne physique
  - 20000 euros pour une personne morale



## Compétences spécifiques sur les dix principaux aéroports

L'ACNUSA est compétente pour :

- rendre un avis sur les projets de **PEB\***, de **PGS\*\***, ou de textes réglementaires
- définir les prescriptions applicables aux stations de mesure de bruit
- établir le programme de diffusion auprès du public des informations sur le bruit

\* PEB=Plan d'Exposition au Bruit \*\* PGS = Plan de Gène Sonore

# Réglementation

## PEB (Plan d'Exposition au Bruit)

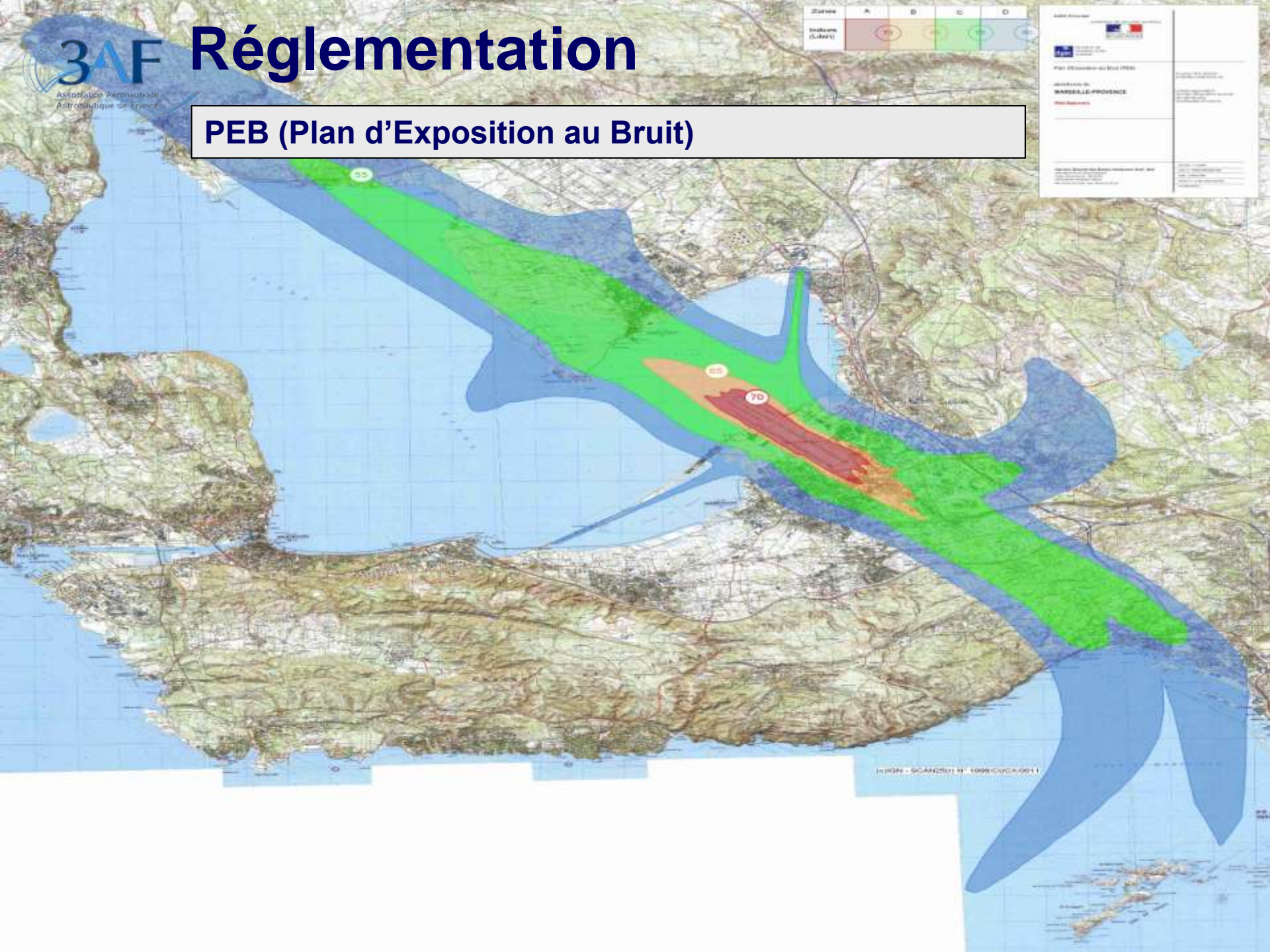
Zone	A	B	C	D
Indicateur (dB)	70	65	60	55

Advisory Committee  
Ministry of the Environment, Urban Planning and Climate  
Ministry of the Sea, Fisheries and Aquaculture  
Ministry of the Interior

Plan d'Exposition au Bruit (PEB)  
Aéroport de  
**MARSEILLE-PROVENCE**  
Marseille Provence  
Marseille Provence

Document de référence  
Document de consultation  
Document de suivi

Document de référence  
Document de consultation  
Document de suivi



INRS - SCARISOL N° 1098 (C/CKA-001)

## PEB (Plan d'Exposition au Bruit)

### Pourquoi ?

Ne pas augmenter les populations soumises aux nuisances.  
Interdire ou limiter les constructions nouvelles.

### Comment ?

Enquête publique après avis des communes, de la **CCE**, de l'**ACNUSA** et accord des ministres,  
le **PEB** est approuvé par arrêté préfectoral.  
Le **PEB** est annexé et transcrit dans le POS et autres doc. d'urbanisme (PLU).

### Qui ?

Les aéroports devant être dotés d'un **PEB** sont ceux classés en catégorie A, B et C ainsi que ceux inscrits dans une liste établie par arrêtés des ministres chargés de la défense, de l'urbanisme, de l'aviation civile et de l'environnement (=190 PEB).

### Quoi ?

Un rapport et une carte au 1/25 000 indiquant les zones A, B, C et D selon les nuisances sonores auxquelles elles sont exposées.

# Réglementation

## PEB (Plan d'Exposition au Bruit)



Marseille - Provence

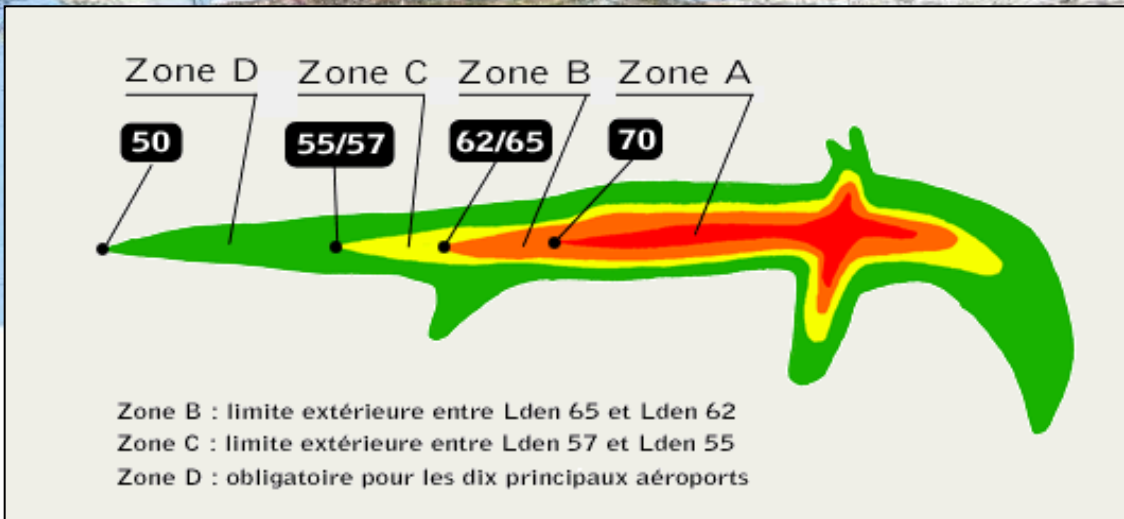
**dBA (décibel A)**

- Prise en compte de la sensibilité de l'oreille
- Pondération fréquentielle



**Lden (Level day evening night)**

- Pondération horaire
- Coef 1 (6h - 18h)
- Coef 3,16 (18h - 22h)
- Coef 10 (22h - 6h)



$$Lden = 10 \times \lg \left[ 12 \times 10^{(Ld/10)} + 4 \times 10^{((Le + 5)/10)} + 8 \times 10^{((Ln + 10)/10)} \right]$$

**Textes juridiques :**  
 Code de l'urbanisme : articles  
[L.147-1 à L.147-8](#)



## PGS (Plan de Gêne Sonore)

**ZONE III : Lden = 65 - 55**

**ZONE II : Lden = 70 - 65**

**ZONE I : Lden = 70+**

$$L_{den} = 10 \lg \left[ 12 \times 10^{(L_d/10)} + 4 \times 10^{((L_e + 5)/10)} + 8 \times 10^{((L_n + 10)/10)} \right]$$

ZONE III  
ZONE II  
ZONE I

### Textes juridiques :

[article 19-1 de la loi n°92-1444 décret n°94-236 du 18 mars 1994,](#)  
[modifié par les décret n°97-607, n°98-335, n°2000-415 et n°2002-626](#)



## PGS (Plan de Gêne Sonore)

### Pourquoi ?

Les riverains des dix principaux aéroports peuvent bénéficier d'une aide pour les travaux d'insonorisation de leur logement.

### Comment ?

Ce plan est établi sur la base du trafic estimé, des procédures de circulation aérienne applicables et des infrastructures qui seront en service dans l'année suivant la date de publication de l'arrêté approuvant le plan. Il est révisé sur l'initiative du préfet ou à la demande de l'**ACNUSA**.

### Qui ?

Les dix principaux aéroports doivent être doté d'un **PGS**.

### Quoi ?

Un rapport et une carte au 1/25000. Il comporte trois zones :  
zone I, dite de gêne très forte limitée par la courbe d'indice Lden 70 ;  
zone II, dite de gêne forte entre les courbes Lden 70 et Lden 65 ;  
zone III, dite de gêne modérée entre les courbes Lden 65 et Lden 55.



## Aide à l'insonorisation

### Pourquoi ?

Si la lutte contre le bruit au voisinage des aéroports s'appuie aussi sur un traitement « curatif » efficace : l'insonorisation des habitations.

### Comment ?

L'aide à l'insonorisation est financée par la **TNSA** (Taxe sur les Nuisances Sonores Aériennes) gérée par la **CCI** (Chambre de Commerce et d'Industrie) ou un gestionnaires d'aéroport.

### Qui ?

Les riverains situés en tout ou partie à l'intérieur du **PGS** de l'aéroport à la date de publication de ce plan.

### Quoi ?

Institué par la loi du 31 décembre 1992, le dispositif d'aide aux riverains est l'outil financier qui prend en charge une partie du coût des travaux d'insonorisation dans l'habitat.



### Aide à l'insonorisation

#### FINANCEMENT

**TGAP** (Taxe Générale sur les Activités Polluantes) 1999-2005  
Gérée par l'**ADEME** (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie)

#### FINANCEMENT

**TNSA** (Taxe sur les Nuisances Sonores Aériennes) depuis 2005  
Gérée par la **CCI** (Chambre de Commerce et d'Industrie)



ZONE III  
ZONE II  
ZONE I



## Aide à l'insonorisation

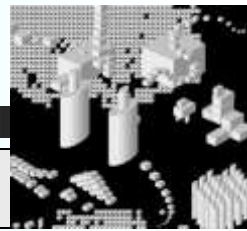
**80 à 100 % du coût des travaux**

## REPARTITION DES CREDITS

La **CCAR** (Commission Consultative d'Aide aux Riverains) s'occupe des crédits budgétaires destinés à l'insonorisation des habitations

Nombre de pièces principales	ZONE II du PGS		ZONE III du PGS	
	Avec cuisine séparée	Sans cuisine séparée	Avec cuisine séparée	Sans cuisine séparée
<b>Logements individuels</b>				
1	4 573,47 €	3 201,43 €	3 963,67 €	2 896,53 €
2	7 774,90 €	6 402,86 €	6 860,21 €	5 793,06 €
3	10 976,33 €	9 604,29 €	9 756,74 €	8 689,59 €
4	14 177,76 €	12 805,72 €	12 653,27 €	11 586,13 €
5	17 379,19 €	16 007,15 €	15 549,80 €	14 482,66 €
par pièce principale supplémentaire	3 201,43 €	3 201,43 €	2 896,53 €	2 896,53 €
<b>Logements collectifs</b>				
1	3 201,43 €	1 829,39 €	2 591,63 €	1 524,49 €
2	5 030,82 €	3 658,78 €	4 116,12 €	3 048,98 €
3	6 860,21 €	5 488,16 €	5 640,61 €	4 573,47 €
4	8 689,59 €	7 317,55 €	7 165,10 €	6 097,96 €
5	10 518,98 €	9 146,94 €	8 689,59 €	7 622,45 €
par pièce principale supplémentaire	1 829,39 €	1 829,39 €	1 524,49 €	1 524,49 €

 ZONE III  
 ZONE II  
 ZONE I

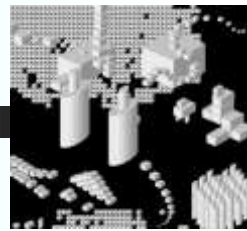


## Restrictions aéroportuaires françaises

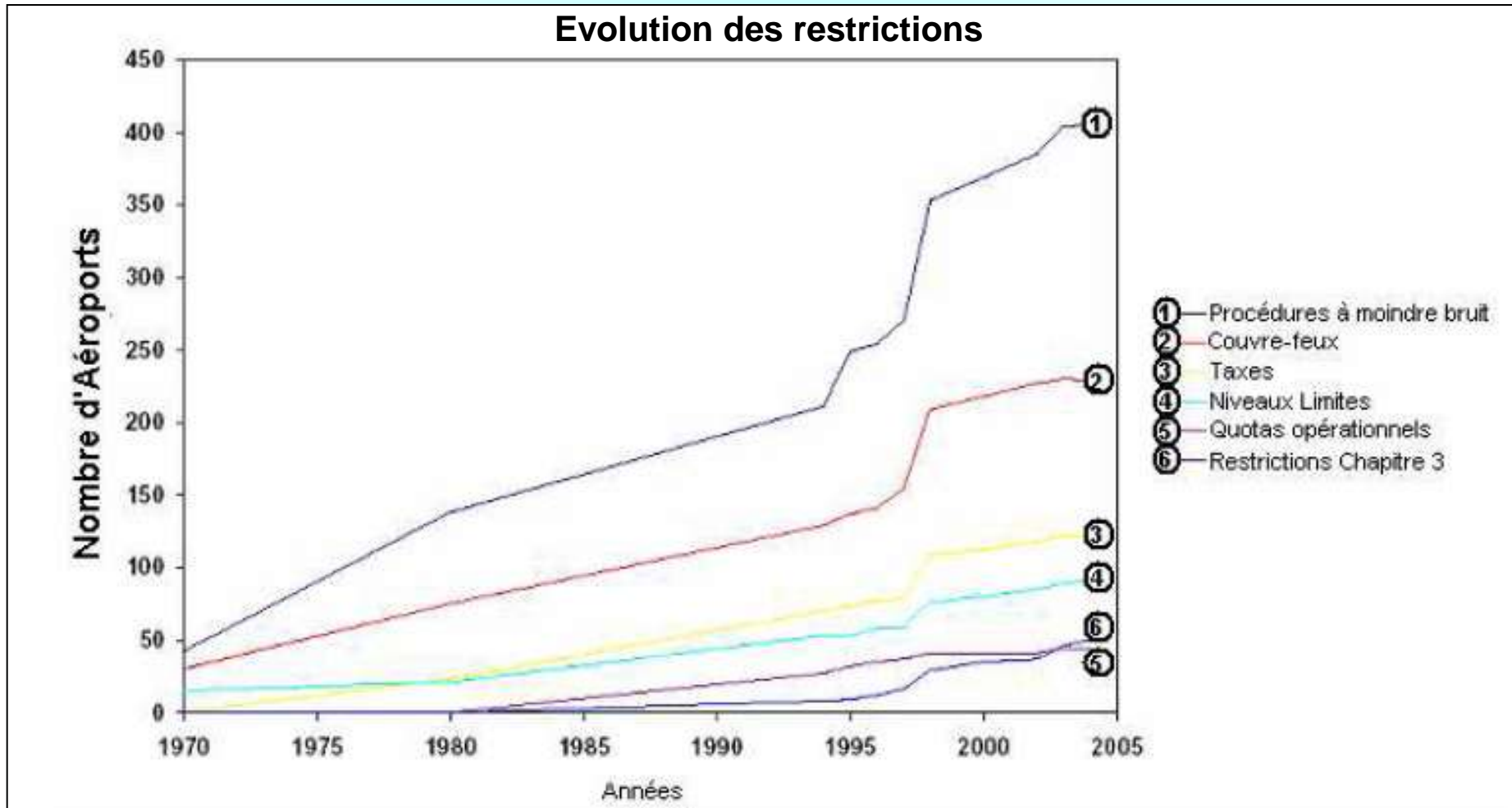
**Un certain nombre de restrictions sont appliquées sur les aéroports français :**

- **plafonnement du nombre de créneaux horaires**
- **limitation du nombre de créneaux horaires de nuit**
- **couvre-feu nocturne**
- **plafonnement de l'enveloppe globale de bruit**
- **restriction ou bannissement des avions bruyants...**

Ces restrictions d'exploitation sont assorties d'un régime de contrôle et de sanction mis en œuvre après avis d'une commission administrative, et dont les amendes peuvent atteindre, par infraction, de 7.500 à 20.000€.



## Restrictions aéroportuaires mondiales





## Alors, que penser de tout cela ?

Première conclusion: Le bruit ? Silence on s'en occupe !

- des mesures sophistiquées ne laissant de côté aucun facteur de bruit
- des réglementations mondiales, inspirant des règlements nationaux
- des plans d'action nationaux et locaux (PEB et PGS), et des mesures soignant les gênes actuelles (insonorisation etc...) et préparant l'avenir (règles d'urbanisme pour les nouvelles constructions)
- pollueurs / payeurs: taxes sur les compagnies aériennes
- une agence spécifique pour la répression (ACNUSA) et prévention

Deuxième conclusion: Le silence ? On y arrive bientôt !

- les ingénieurs continuent les recherches
- les avions modernes sont tellement silencieux, qu'on en vient à mettre des bruiteurs en cabine
- l'objectif est d'atteindre 65 Lden aux limites des aéroports, (ACARE 2020) c'est-à-dire 2 à 10 dB moins bruyant que la circulation urbaine



## Et les autres transports ?

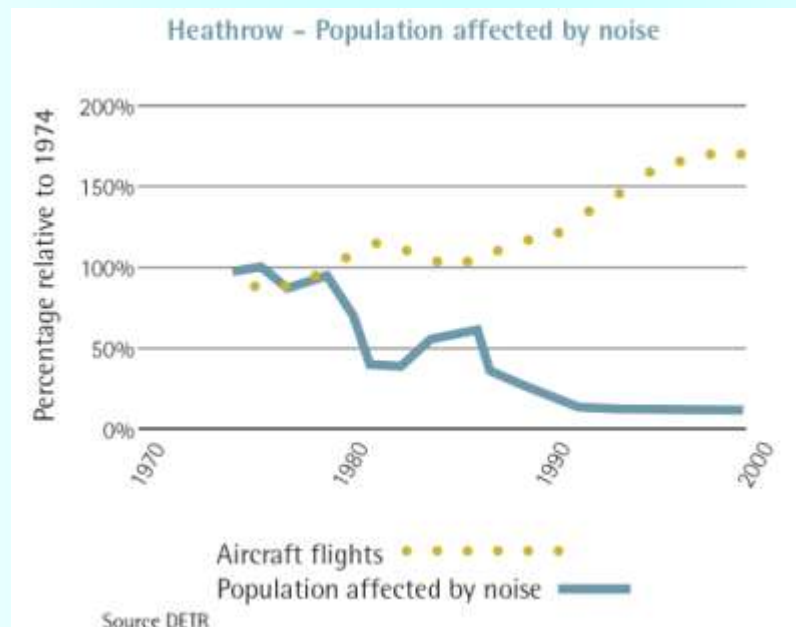
Différence flagrante: Le bruit ? on s'en occupe beaucoup moins bien!

- On ne peut pas dire qu'on ne fait rien
  - L'Europe se préoccupe de bruit (directives etc...)
  - L'État français a un ministère chargé du bruit qui ne s'occupe pas seulement des aérodomes.
- On en fait moins que contre le bruit des transport aériens
  - Pas de réglementation internationale
  - Pas d'agence française, équivalente à l'ACNUSA pour l'aérien
  - Responsabilité mairie / préfets, agents de l'état et des communes.  
Quand c'est tout le monde, c'est personne.
- Pollueurs pas payeurs: pas de taxes ni sur les trains, ni sur les véhicules routiers
  - Ce sont les constructeurs de route qui payent (État, collectivités)
- Les trains sont apparemment traités avec beaucoup de ménagement



## L'avion: le bon exemple du développement durable !

Le transport aérien a fait d'énormes progrès vers le silence autour des aéroports.



- En 2020, en atteignant les 65 Lden,
- l'aérien sera réconcilié avec la ville
  - les gêneurs bruyants seront les trains, les voitures et les camions
  - il faudra sérieusement s'en occuper

## Site Internet

<http://www.bruit.fr>

<http://www.acnusa.fr>

<http://www.dgac.fr>

<http://www.boeing.com/commercial/noise>

<http://environnement.toulouse.aeroport.fr>

<http://www.environnement.gouv.fr>

## Bibliographie

Acoustique industrielle et aéroacoustique

*Lewy S. – Hermès Science*

Introduction aux théories de l'acoustique

*Bruneau M. – Hermès Science*

Acoustique générale

*Filippi P.J.T. – SFA et les Editions de Physique*