

MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE, DE L'ÉQUIPEMENT, DU LOGEMENT ET DU TOURISME

Direction des Routes et de la Circulation Routière

GUIDE DU BRUIT

DES ROUTES URBAINES ET DE SES IMPLICATIONS TECHNIQUES

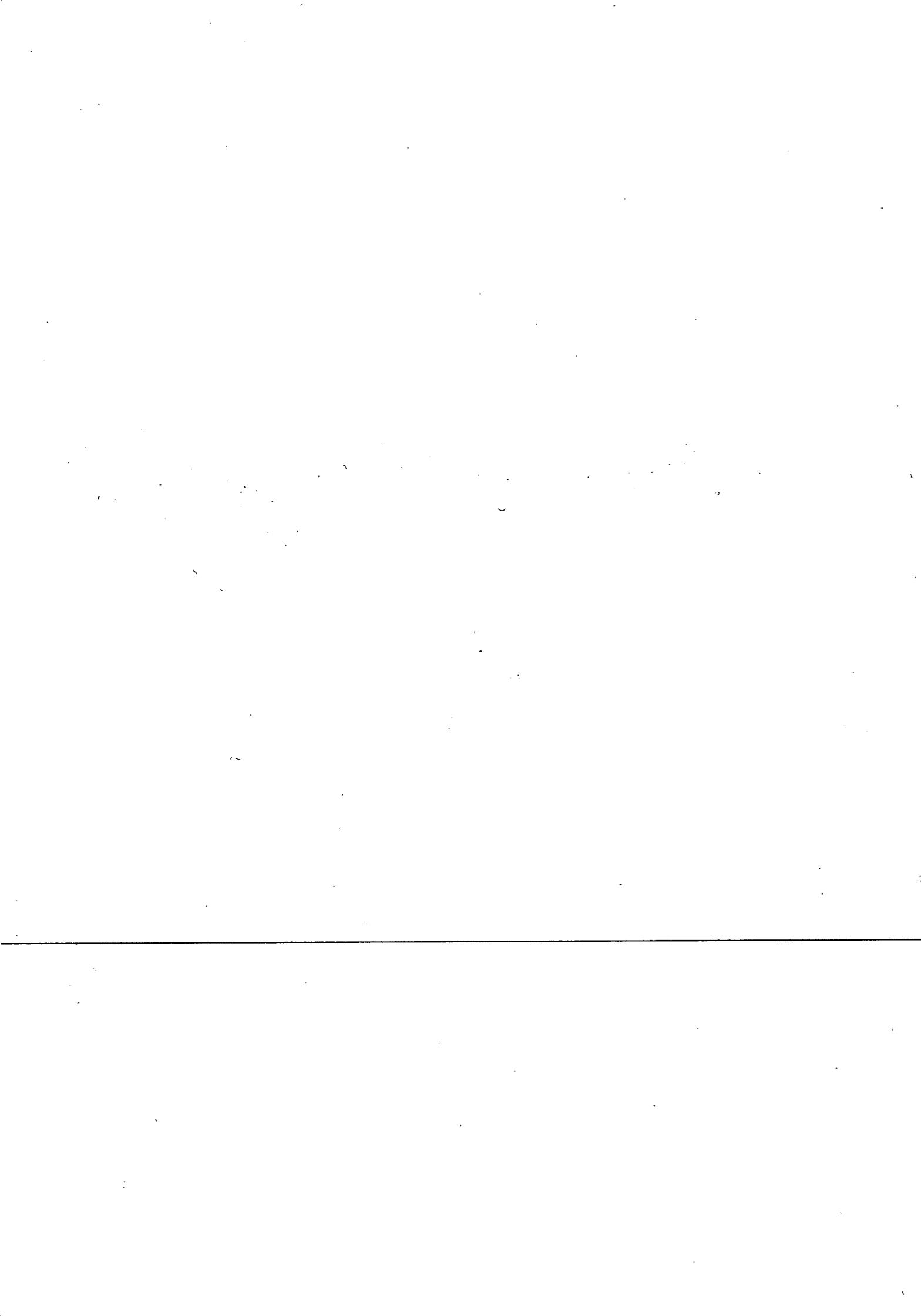
S.E.T.R.A.

Division Urbaine

46 avenue Aristide Briand

BP 100 - 92223 Bagneux

ÉDITION DE DÉCEMBRE 1972



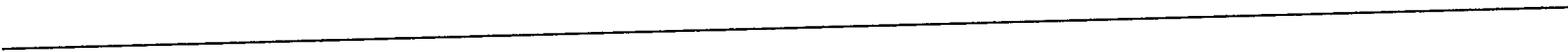
GUIDE DU BRUIT
DES ROUTES URBAINES
ET DE SES IMPLICATIONS TECHNIQUES

TABLE DES MATIERES

	PAGES
<u>TABLE DES MATIERES.</u>	1 - 3
<u>PARAMETRES A PRENDRE EN COMPTE POUR UN NIVEAU DE BRUIT.</u>	5
<u>INTRODUCTION : POURQUOI UN GUIDE DU BRUIT ET COMMENT S'EN SERVIR.</u>	7 - 9
<u>CHAPITRE 0 : DESCRIPTION QUANTITATIVE DU BRUIT ET DE SES EFFETS.</u>	11 - 15
0.1. - Le récepteur : des êtres humains...	11
0.2. - L'émetteur : des files de véhicules groupés aléatoirement	12
0.3. - Médiane et déciles du niveau L selon la durée d'observation	13 - 14
0.4. - Faits de base dans l'étude du bruit de la circulation	15
<u>CHAPITRE 1 : MESURE DU BRUIT DE LA CIRCULATION.</u>	17 - 26
1.1. - Intensité d'un son simple : le décibel (dB)	17
1.2. - Intensité du bruit : le décibel A (dBA)	17 - 18
1.3. - Niveau de bruit d'une route pendant une durée donnée	19 - 25
1.3.1 Forme générale de la relation L50 (Q)	19 - 21
1.3.2 Influence des poids lourds et des rampes	21 - 23
1.3.3 Relation pour les rues en géométrie confinée (U ou L)	23 - 24
1.3.4 Relation pour les voies rapides urbaines en champ libre	24 - 25
1.4. - Quelques niveaux sonores de diverses activités	25
1.5. - Mesure du bruit sur site ou sur modèle	25 - 26

	PAGES
<u>CHAPITRE 2 : DISTRIBUTION DU BRUIT DANS LE TEMPS</u>	27 - 31
2.1. - Isophone zéro d'une voie rapide de débit horaire Q	27 - 28
2.2. - Distribution des débits horaires d'une journée	28 - 29
2.3. - Isophone zéro L ₅₀ d'un trafic journalier J	29 - 31
<u>CHAPITRE 3 : DISTRIBUTION DU BRUIT DANS L'ESPACE.</u>	33 - 43
3.1. - Méthodes des surfaces d'isophones	33 - 38
3.1.1 Principe et limites de la méthode	33
3.1.2 Cartes d'isophones à vue directe et à vue défilée	33 - 38
3.2. - Diffraction du son	38 - 40
3.3. - Corrections diverses	40 - 42
3.4. - Périmètre de nuisance	42 - 43
3.4.1 Cas le plus courant	42
3.4.2. Cas des géométries non cylindriques	43
<u>CHAPITRE 4 : GENE DES ACTIVITES HUMAINES PAR LE BRUIT DE LA CIRCULATION.</u>	45 - 48
4.1. - Indices de bruit des routes et des aéroports	45 - 46
4.2. - Evaluation de la gêne due au bruit	46 - 47
4.2.1 Seuils de gêne	46 - 47
4.2.2 Basses fréquences et vibrations transmises par le sol	47
4.3. - Prise en compte de la gêne	48
<u>CHAPITRE 5 : COMPATIBILITE ROUTE --- URBAINE --- ZONE TRAVERSEE.</u>	49 - 70
5.0. - Principe de compatibilité. Limites et mise en oeuvre	49 - 50
5.1. - Action sur les véhicules (pour information)	50 - 55
5.1.0 Diverses origines du bruit de la circulation	50 - 51
5.1.1 Législation française	51 - 52
5.1.2 Réglementation Européenne et accord des Nations Unies	52
5.1.3 Avenir prévisible	52 - 55

	PAGES
5.2. - Action sur l'exploitation de la route	55 - 57
5.2.1 Dispositions réglementaires pour la circulation urbaine	55 - 56
5.2.2 Plans de circulation et restrictions spécifiques	56 - 57
5.3. - Action sur l'infrastructure routière	57 - 60
5.3.0 Spécificité de cette action	57 - 58
5.3.1 Action sur l'émission : tracé et texture de la chaussée	58
5.3.2 Action sur la transmission : profils en travers et écrans	58 - 60
5.4. - Action sur les bâtiments	60 - 64
5.4.0 Quelques ordres de grandeur	60 - 62
5.4.1 Isolation acoustique intérieure des bâtiments	62
5.4.2 Isolation acoustique extérieure. Label acoustique	62 - 64
5.5. - Action sur l'occupation des sols	64 - 68
5.5.0 L'urbanisme et le bruit	64 - 65
5.5.1 Le zonage	65 - 66
5.5.2 Les moyens réglementaires	66 - 67
5.5.3 Le plan de masse	67 - 68
5.6. - Directives générales d'étude	68 - 70
5.6.1 Situation établie : route et zone déjà construites	68 - 69
5.6.2 Situation modifiée : route neuve en zone déjà bâtie	69
5.6.3 Situation vierge : route et zone à construire toutes deux	69
5.6.4 Indications générales pour l'étude	70
<u>ANNEXE 1</u> : LES INDICES DE BRUIT	72 - 75
<u>ANNEXE 2</u> : COMPATIBILITE ROUTE EXPRESS - ZONE URBAINE	76 - 77
<u>ANNEXE 3</u> : IMPLICATIONS TECHNIQUES DU BRUIT D'UNE ROUTE EXPRESS DE TRAFIC JOURNALIER J.	78 - 79
<u>ANNEXE 4</u> : APERCU SUR LE GUIDE DU BRUIT "HUD 71" DU MINISTERE AMERICAIN DU LOGEMENT.	80 - 81



PARAMETRES A PRENDRE EN COMPTE
 POUR EVALUER
 UN NIVEAU SONORE MEDIAN DE CIRCULATION

Paramètre	Paragraphe	Page
Trafic journalier moyen à terme (5 à 10 ans)	2.3	29 à 31
Débit horaire représentatif de certaines heures	2.2	28 et 29
Nombre d'heures par jour de débit au moins Q	2.2	28 et 29
Proportion de poids lourds	1.3.2 et 3.3.	21 à 23, 40 et 41
Rampe du profil en long	1.3.2 et 3.3.	21 à 23, 40 et 41
Nature du revêtement de la chaussée	1.3.4 et 5.3.1	24 et 25, 58
Conditions d'exploitation de la route	1.3.1 et 5.5.1	19 à 21, 65 et 66
Vitesse moyenne de circulation des véhicules	3.3 et 5.2.2	40 et 41, 56 et 57
Niveau sonore médian pour une durée donnée	0.3	13 et 14
Isophone zéro à 3 m du bord de la chaussée	1.3.4	24 et 25
Distance et hauteur par rapport à la chaussée	3.1.2	33 à 38
Angle sous lequel on voit la route	3.3	40 et 41
Efficacité d'un écran pare-bruit	3.2	38 à 40
Nature des fenêtres et leur régime d'ouverture	5.4.0	60 à 62
Réverbération du son en façade	1.3.3	23 et 24
Seuils de gêne dans un local	4.2.1	46 et 47
Divers niveaux sonores usuels	1.4 et 5.4.0.	25 et 60 à 62
Isolation d'une façade	5.4.0	60 à 62



INTRODUCTION

Le présent guide, destiné surtout aux ingénieurs chargés de l'étude des projets de routes urbaines à forte circulation, a principalement pour objet de dégager les règles de l'art pouvant leur être utiles en vue de réduire la gêne due au bruit en provenance de ces routes.

Les études entreprises à cette fin ont conduit cependant à étendre cet objet: il semble en effet que l'action sur l'infrastructure routière ne soit pas seule à retenir pour combattre cette gêne, et que doivent s'y ajouter des actions sur l'exploitation des routes et, chaque fois qu'on peut, sur leurs abords, par les règles de construction et d'urbanisme à y prévoir. Aussi bien ces règles comme les projets routiers sont du domaine de l'administration de l'Équipement et du Logement, ainsi d'ailleurs, dans une bonne mesure, que les actions sur la source de bruit elle-même : les véhicules, de sorte que le document contient à ce sujet quelques informations.

Il donne aux ingénieurs, urbanistes et architectes des méthodes conventionnelles pour prévoir de façon raisonnablement sûre les niveaux du bruit de la circulation sur les routes projetées, et pour imaginer les dispositions capables d'en réduire autant que possible les effets nocifs. Mais il va de soi que ce guide, comme tout document similaire, est à usage interne à l'administration, et que ses dispositions ne sauraient avoir d'effet direct ou indirect à l'égard des tiers. Ce rappel est d'autant plus opportun qu'il s'agit d'un domaine d'étude encore peu prospecté.

-0-0-0-0-0-

Pour les ingénieurs routiers notamment, ce domaine est en outre nouveau. Phénomène physique complexe, le bruit ne se mesure pas aussi simplement qu'un débit de route ou une charge de pont. Phénomène sensoriel, psychique et social, la gêne due au bruit est encore plus difficile à saisir. Enfin, si l'on est parvenu à quantifier le "coût social" des accidents de la route, on ne sait pas encore prendre en compte celui du bruit.

Si, dans ce domaine nouveau, le guide introduit quelques normalisations en vue de créer un langage commun qui facilite les recherches des projeteurs et l'appréciation de leurs résultats, cet ensemble méthodique de directives d'étude n'est en rien un recueil de règles d'application, à la différence, par exemple, de l'"Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines".

Comme au surplus l'environnement des routes urbaines est complexe et divers, projeteurs routiers et autres utilisateurs du guide auront à suivre ces directives avec discernement, sans manquer de porter toute leur attention sur les particularités des situations, toujours nombreuses en ville.

-0-0-0-0-0-

Puisqu'il s'agit d'un domaine nouveau pour nombre de ses destinataires, on ne s'étonnera pas que les deux tiers de ce document (chap. 0 à 4) soient en fait des développements préalables à caractère parfois théorique :

. Le Chapitre 0 rappelle l'essentiel de la métrique du bruit et les traits propres du bruit de la circulation. Il "met dans l'ambiance" le lecteur en lui donnant le vocabulaire utile sans l'accabler de définitions trop précises.

. Le Chapitre 1 normalise la mesure du niveau de bruit moyen des circulations importantes par le choix de l'indicateur dit "L 50" qui présente une double corrélation satisfaisante, d'une part avec le niveau de la circulation, d'autre part avec le niveau de la gêne due au bruit.

. Le Chapitre 2 formule, dans divers cas-types, une relation entre le trafic journalier et le niveau médian de bruit L 50 au bord de la route, pour une période de référence convenablement choisie (6 h de jour).

. Le Chapitre 3 décrit les conditions de propagation du bruit dans l'espace à partir du bord de la route et aboutit ainsi à définir un "champ sonore". Mais, et c'est là une importante différence avec le bruit des aéroports, ce champ développe autour d'une source linéaire (la route) une intensité qui varie dans les trois dimensions (en plan mais aussi en hauteur).

. Le Chapitre 4 évoque le récepteur de bruit : l'homme placé dans son milieu, et indique quelques niveaux de gêne admissibles.

. Le Chapitre 5 est d'une autre nature puisqu'il a pour objet les directives d'étude et les dispositions à prendre pour réduire les effets de gêne dans le champ sonore que créera une route. Après avoir énoncé l'objectif global, il analyse les cinq modes d'action possibles : sur les véhicules (à titre d'information, car cette action n'est pas du domaine du document), sur l'exploitation de la route, sur l'infrastructure routière, sur les bâtiments et sur l'occupation des sols aux abords de la route. Ce dernier tiers du document en est vraiment l'objet efficient.

On remarquera que le guide ne traite pas les aspects suivants du problème, car l'état actuel des connaissances ne le permet pas :

- les "bruits de crête", particulièrement gênants la nuit. Leur atténuation ne peut d'ailleurs résulter que d'actions sur les véhicules et sur l'exploitation de la route. (C'est ici une deuxième différence essentielle avec le bruit des aéroports, qui n'émettent que des bruits de crête).

- les modifications du champ de bruit par un ensemble de constructions projeté aux abords de la route selon une géométrie irrégulière. Le guide ne donne à ce sujet que des indications relatives à des cas simples.

- enfin, lacune manifeste, le guide ne fournit aucun des éléments nécessaires aux études coût - efficacité, principalement du fait qu'on ne sait pas encore évaluer le coût social du bruit. Des recherches sont en cours sur ce sujet et semblables études sont d'autant plus souhaitables qu'on peut réduire la gêne parfois de plusieurs manières, et à des coûts différents supportés par des agents économiques divers.

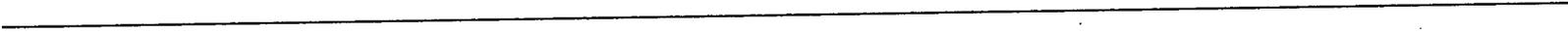
Dans un domaine aussi nouveau, complexe et sensible, il importe d'aborder l'étude d'un problème concret de bruit de route urbaine, si on la veut aussi complète et fine qu'on le peut aujourd'hui, en prenant connaissance de l'ensemble du document, dans l'ordre où il est composé, afin d'être en mesure de voir si ses conventions s'appliquent au cas examiné et quelles corrections faire, le cas échéant, par rapport aux cas-types qu'il présente.

Cependant, il n'est pas exclu que pour le seul dégrossissage d'un problème par exemple en vue d'éliminer d'emblée des solutions aberrantes, on puisse se contenter d'une lecture abrégée qui peut alors être abordée par le § 5.6. et ses deux tableaux annexés, puis les §§ 5.2. à 5.5..Le projeteur pourra ensuite remonter aux parties des chapitres 1 à 4 dont il aurait besoin.

-0-0-0-0-0-

Bien qu'imparfait, ce guide présente cependant les bases d'un dialogue qui devient désormais possible entre les projeteurs routiers, les autorités exploitantes des routes, les urbanistes et les architectes. Grâce à ce dialogue, aux études concrètes qui en sortiront, aux recherches théoriques en cours et aux développements expérimentaux à venir, on pourra le compléter et sans doute l'affiner, après une période de rodage nécessaire tant au document qu'à ses utilisateurs. Lorsque ceux-ci se seront progressivement familiarisés avec ce nouveau domaine d'étude, on pourra alléger et simplifier sa présentation.

-0-0-0-0-0-



CHAPITRE 0

DESCRIPTION QUANTITATIVE DU BRUIT ET DE SES EFFETS

0.1. - Le récepteur : des êtres humains plus ou moins sensibles et sensibilisés

On peut définir le bruit comme un ensemble complexe de sons qu'un sujet humain doit percevoir malgré lui.

La sensation sonore n'est que le premier degré de cette perception, dans laquelle des facteurs psycho-sociologiques ont aussi leur part (significations véhiculées ou représentations évoquées par les sons...), de sorte que celui qui perçoit le bruit est l'homme dans son entier, l'homme social, dans son contexte humain : famille, quartier, travail, loisir, etc... Cet aspect psychologique introduit une grande variété et une grande dispersion dans les observations.

Dès l'oreille même (avant toute élaboration dans le cortex temporal), à l'aspect purement physique du bruit (des ondes de pression acoustique qui se propagent dans l'air) s'ajoute un aspect physiologique : sa perception par l'oreille interne (tympan et chaîne de petits os).

On décrit l'aspect physique par l'analyse en fréquence et en intensité et l'aspect physiologique par la mesure sur sonomètre calibré selon la sensibilité de l'oreille. Enfin, l'aspect psycho-sociologique est pris en compte par des seuils de gêne qui traduisent une relation entre les niveaux sonores perçus et le pourcentage de réactions défavorables chez les individus.

L'oreille est sensible en fréquence sur environ dix octaves, cinq de part et d'autre du LA 3 (environ 500 Hz), c'est-à-dire entre les infra-sons, non perçus au-dessous de 16 Hz et les ultra-sons, inaudibles au-dessus de 16 000 Hz. Mais en fait, cent fois plus sensible dans la bande 200-8 000 Hz qu'en dehors, elle affaiblit en outre les basses fréquences.

Bien que non audibles, les infra-sons peuvent être nocifs et engendrer, tout comme le silence intégral prolongé, des nausées, des maux de tête, et même des angoisses.

L'intensité acoustique se mesure soit en densité de puissance rayonnée, exprimée en W/m^2 soit en discontinuité de pression, exprimée tantôt en bars, tantôt en pascals (Pa). Cette surpression varie comme la racine carrée de la densité de puissance. L'oreille sensible depuis un seuil de détection de l'ordre du picowatt par m^2 (millième de milliardième de W/m^2), choisi comme référence, jusqu'à un seuil de douleur (avec lésion de l'oreille interne) de l'ordre du Watt/ m^2 , soit encore, en pression, de 20 micropascals (pression acoustique de référence) jusqu'à 20 pascals (100 000 pascals = 1 bar = pression atmosphérique normale), les valeurs usuelles restant autour du cPa (microWatt/ m^2). Le recours aux décibels (décuple des logarithmes) ramène une aussi vaste plage à des nombres compris entre 10 et 130.

Lorsqu'il s'agit d'un ensemble de sons complexes, comme c'est le cas pour le bruit, il faut sous-entendre un spectre de fréquences "représentatif" sur lequel on définit l'énergie acoustique, en pondérant chacune de ses composantes suivant la fréquence : c'est le décibel A, dans le cas des bruits mécaniques habituels, et donc de la circulation automobile.

Enfin, une étude psychosociologique établit une corrélation entre le niveau d'énergie acoustique appliqué et la gêne des sujets qui y sont soumis, de façon à énoncer des propositions telles que "au niveau acoustique Z, Y pour-cent des sujets sont gênés dans l'activité Z".

0.2. - L'émetteur : des files de véhicules groupés aléatoirement.

Le bruit de la circulation routière a physiquement son origine dans des distributions linéaires (le long d'une chaussée) de sources sonores sensiblement ponctuelles (les véhicules), ce qui lui donne deux degrés de variabilité. D'une part, les véhicules présents sont un échantillon aléatoire du parc automobile qui peut être plus ou moins homogène, plus ou moins bruyant, etc... D'autre part, ces véhicules ont une disposition géométrique plus ou moins régulière.

Il va de soi que ce bruit n'a de caractères stables que si l'échantillon de véhicules a une taille minimale (plusieurs véhicules à la minute), et on peut s'attendre à n'obtenir de résultats reproductibles et de formules de calcul que si le débit de véhicules dépasse un certain seuil (plusieurs centaines de véhicules à l'heure).

De plus, au cours même de la durée d'observation (2, 6, 10, 15 minutes, une heure, un jour), cet échantillonnage et cette disposition ne cessent de varier, de sorte que le niveau sonore en un point de mesure présente des variations temporelles en valeur moyenne, voire en dispersion. Lorsqu'il s'agit d'une circulation pulsée (nombreux feux rouges), il est manifeste, par exemple, que l'observation pendant 6 minutes ne suffit pas.

Nombre de mesures ont été faites pour déterminer les précautions à respecter pour que les résultats soient statistiquement significatifs. Bien que le bruit de la circulation ne soit pas continu, on a pu montrer qu'il est assez régulier en valeur moyenne, mais qu'il présente des pointes (bruit de crête) au passage d'un engin anormalement bruyant, qui se détache ainsi de manière tout à fait aléatoire sur le bruit moyen presque constant.

On met en évidence cette structure du bruit en classant les niveaux sonores selon leur fréquence d'observation (par exemple 10 %, 50 % ou 90 % du temps). A l'intérieur même d'une classe de véhicules du parc automobile, on peut procéder ainsi et déterminer les niveaux sonores médians (50 % des véhicules de la classe considérée les atteignent ou les dépassent). Pour une circulation en palier, lancée, d'une vitesse de 65 à 80 km/h et un point de mesure à 15 m de la trajectoire, on a trouvé, en France, en 1970 :

- . 67 dBA pour les voitures particulières ;
- . 79 dBA pour les motocyclettes ;
- . 82 dBA pour les poids lourds.

Sauf mesures particulières d'exploitation de la route, les diverses classes de véhicules, dans la circulation réelle, sont mélangées en proportion variable. Le niveau sonore médian en dépend, et l'on peut affirmer que la distribution statistique des niveaux sonores n'est stable que pour une circulation continue, c'est-à-dire des débits d'au moins 300 véh/h, avec une proportion courante de poids lourds (5 à 20 %). Pour des débits plus faibles (ou des poids lourds plus nombreux), les niveaux présentent une grande dispersion et le niveau médian est d'autant moins caractéristique de leur distribution que la gêne se rattache alors aux pointes sonores (crêtes), largement indépendantes du débit de véhicules.

Bien que cet aspect du bruit des faibles circulations (intensité et distribution des crêtes sonores) soit essentiel pour le sommeil des riverains d'une route, nous ne le traitons pas, car, d'une part, il correspond à une circulation d'heure creuse (et nocturne) et, d'autre part, il relève de la police de la circulation (véhicules isolés anormalement bruyants, réglementation de la circulation en zone-dortoir).

Le présent guide ne considère donc que des mesures de niveaux sonores portant sur plusieurs minutes (6, 10 ou 15 minutes) et des circulations denses dont les débits correspondent à plusieurs centaines de véh/h au moins (trafic diurne). Il va de soi d'ailleurs que la mesure acoustique doit toujours s'accompagner du relevé du trafic routier.

Sous ces deux conditions, la source est assimilable à une distribution linéaire de générateurs de bruit, avec des valeurs médianes et des fluctuations telles qu'on peut établir des corrélations significatives, notamment entre niveau sonore et gêne ressentie.

0.3. - Médiane et déciles du niveau L. Influence de la durée d'observation.

Pendant la durée de la mesure, on enregistre des valeurs instantanées successives qui varient et l'on définit couramment le niveau sonore dépassé pendant la fraction x % du temps de la mesure :

- . si x = 50 %, c'est la valeur médiane L_{50} (bruit moyen),
- . si x = 90 %, c'est le décile inférieur L_{90}
- . si x = 10 %, c'est le décile supérieur L_{10}

Pour les circulations denses, la distribution des niveaux L semble suivre une loi de GAUSS, de moyenne m et dispersion s, et l'on a :

$$L_{90} = m - 1,28 s \quad L_{50} = m \quad L_{10} = m + 1,28 s$$

Si on met à part les recherches sur le niveau équivalent Leq calculé à partir de l'énergie acoustique globale et qui pourrait convenir à des bruits de toute origine, certains pays étrangers se demandent quel niveau L_{90} , L_{50} , L_{10} ou quelle combinaison de ces niveaux avec ou sans prise en compte de la dispersion repère le mieux la gêne du bruit de circulation (voir annexe 1). Pour les forts débits, c'est un débat académique et,

.../...

pour les faibles, d'un intérêt restreint. Certes L_{10} correspond aux bruits les plus intempestifs, qui tranchent aléatoirement sur le ronronnement du bruit L_{90} . Certes aussi la largeur de bande $L_{10} - L_{90}$ entre crêtes et bruit de base est gênante, mais les corrélations avec la gêne ressentie ne sont pas meilleures qu'avec L_{50} (sauf aux débits faibles).

En revanche, deux raisons militent fortement pour L_{50} :

. L'ingénieur routier cherche en définitive des corrélations entre la gêne des riverains et le débit Q de la circulation bruyante. Or, on a mis en évidence une relation directe très bonne entre la médiane L_{50} et le débit horaire Q , et de bonnes corrélations entre L_{50} et la gêne moyenne observée.

. L'acousticien et l'ingénieur souhaiteront souvent rattacher des mesures faites sur certaines bases de temps à d'autres durées (de quelques minutes à l'heure, voire plusieurs heures), dans les deux sens. Or l'observation a établi que la distribution des niveaux L est sensiblement gaussienne : la loi des grands nombres va donc jouer en faveur de la valeur centrale L_{50} dans le sens qui va de la moyenne de plusieurs petites mesures (par exemple 4 ou 6 mesures de 6 minutes) vers la prévision d'un L_{50} sur de plus grandes durées (par exemple l'heure). La symétrie de la loi de Gauss permettra même, dans une moindre mesure, la déduction inverse (par exemple déduire le L_{50} de 6 minutes à partir du L_{50} de 1 heure).

Le tableau ci-après donne la fourchette $\pm x$ dBA à l'intérieur de laquelle le L_{50} mesuré pendant la durée indiquée a plus d'une chance sur deux de tomber par rapport au L_{50} relatif à une heure.

CORRESPONDANCE PROBABLE ENTRE L_{50} POUR DIVERSES DUREES

Durée d'observation	2 mn	6 mn	10 mn	15 mn	1 h
Fourchette entre L_{50}	± 6 dBA	± 4 dBA	± 3 dBA	± 2 dBA	0

d'après CSTB 599 et Revue d'Acoustique 3.10 (1970) R. JOSSE.

De ce tableau on retiendra d'abord qu'il ne faut jamais omettre d'indiquer la durée d'observation lorsqu'on parle d'un niveau sonore. On notera aussi qu'il faut se méfier des mesures de bruit trop courtes, surtout si elles sont peu nombreuses, car elles risquent de conduire à des résultats très éloignés de la réalité. En revanche, suffisamment nombreuses pour que la convergence de la loi des grands nombres joue, elles peuvent conduire à une bonne détermination du L_{50} horaire.

0.4. - Faits de base dans l'étude du bruit de la circulation.

Le C.S.T.B. (Centre Scientifique et Technique du bâtiment, PARIS 16°) a établi que :

. Les réactions des individus au bruit sont très dispersées : dans les cas courant, en un lieu réputé bruyant, certaines personnes ne sont pas gênées et inversement dans un lieu calme, d'autres le sont.

. Malgré cette dispersion des réactions, il existe une forte corrélation entre la réaction moyenne d'un groupe de personnes et les caractéristiques du bruit auquel on les expose.

. Les caractéristiques principales du bruit en relation avec la gêne sont : son intensité (niveau) et son spectre en fréquence. Ces deux caractéristiques sont prises en compte globalement par une seule valeur, si on exprime le niveau d'énergie acoustique en décibels A (pondération en fréquence analogue à celle de l'oreille). C'est ce que nous ferons.

. A chaque type de bruit correspond un seuil de tolérance, ou plus généralement une relation entre son niveau et la gêne. Pour la circulation automobile, le niveau médian (en dBA) du bruit en heure de forte circulation est un bon paramètre, dans le cas des routes urbaines. De plus, il s'exprime linéairement en fonction du logarithme du débit horaire, le terme constant dépendant de la vitesse de circulation et le coefficient de proportionnalité du logarithme, de la fluidité de celle-ci.

. La puissance acoustique moyenne d'une route à forte circulation est d'environ 35 milliwatts par hectomètre quand 1 000 véh/h y circulent. En géométrie dégagée cylindrique idéale (sans effet de sol), cela correspond à 15 m de l'axe de la route à une énergie rayonnée de l'ordre de 8 microwatt/m² soit environ 69 à 70 dBA, niveau qui croît de 3 dBA tous les doublements de débit horaire.

. Cette puissance acoustique provient, en ce qui concerne le niveau moyen, pour une large part, du contact pneumatique-chaussée sauf si le moteur est fortement sollicité (démarrages, rampes, circulation saccadée), mais une part provient aussi de l'admission et de l'échappement, surtout en basses fréquences. Les pointes sonores (crêtes) sont imputables au moteur, surtout en hautes fréquences (pour plus de détail, voir 5.1.1. et 5.1.3.).

CHAPITRE 1

MESURES DU BRUIT DE LA CIRCULATION

1.1. - Intensité d'un son simple : le décibel

Le bel ou, plus souvent, son dixième : le décibel s'introduit dans la comparaison entre deux puissances ou deux intensités, et notamment en acoustique pour définir le niveau acoustique.

Entre deux intensités acoustiques, l'écart en décibels est le décuple du logarithme de leur rapport. On définit le zéro de l'échelle (0 dB) en prenant pour référence la plus faible intensité que perçoit l'oreille, soit 10^{-12} W m² à laquelle correspond la pression acoustique de référence de 20 micropascals. A l'autre extrémité, le seuil de douleur est au-dessus de 120 décibels (1 W/m²). Tout gain de 10 dB exprime le décuplement, et de 3 dB le doublement de l'intensité acoustique.

En pratique, la puissance varie comme le carré de la pression acoustique et le calcul se fait avec le vingtuple du logarithme du rapport des pressions, entre 20 micropascals et 20 pascals.

Enfin, on doit préciser la fréquence : unique dans le cas d'un son simple, elle est multiple (spectre) dans le cas d'un bruit complexe d'origine mécanique comme le bruit de la circulation. On opère alors par bandes d'octave, presque toujours centrées sur les fréquences de la série normale : 63 - 125 - 250 - 500 - 1 000 - 2 000 - 4 000 et 8 000 Hz. Un appareil appelé SONOMETRE donne directement de telles mesures.

1.2. - Intensité du bruit : le décibel A (dBA).

L'oreille n'est pas également sensible aux diverses bandes d'octave : elle est cent fois plus sensible entre 200 et 8 000 Hertz qu'hors de ce domaine, et de plus, elle affaiblit les basses fréquences.

Il faut donc construire un sonomètre qui reproduise la sensibilité de l'oreille en filtrant les sons graves et, plus généralement, en pondérant selon la fréquence chaque niveau mesuré par bande de fréquences.

C'est ce qu'on fait au moyen du "filtre A" normalisé par la C.E.I (Commission Electrotechnique Internationale), de sorte que, après pondération électronique, les décibels A (dBA) qu'on lit directement repèrent bien les réactions de l'oreille humaine au bruit de spectre complexe mesuré.

On peut presque qualifier le décibel de mesure physique d'un son simple, et le décibel A de mesure physiologique d'un son complexe, directement possible sur un sonomètre étalonné avec la courbe A. Mais pour s'élever de ce niveau acoustique noté L à la sensation psychologique, il faut encore tenir compte de la relation logarithmique bien connue (loi de FECHTNER) qui existe entre excitation sensorielle et représentation physique.

En vertu de cette loi, on dit en acoustique que le décuplement de l'intensité acoustique (accroissement de 10 dBA du niveau sonore) ne fait que doubler la sensation de bruit pour l'homme.

Pour nos besoins, on détaille cette relation dBA par dBA sur une décade (en plus ou en moins) selon le tableau ci-après.

MESURE OBJECTIVE ET SENSATION SUBJECTIVE DE BRUIT

SENSATION DE BRUIT	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
PUISSANCE ACOUSTIQUE	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3	4	5	6	8	10
dba en plus NIVEAU ACOUSTIQUE dba en moins	0	+ 1	+ 2	+ 3	+ 4	+ 5	+ 6	+ 7	+ 8	+ 9	+10
	-10	- 9	- 8	- 7	- 6	- 5	- 4	- 3	- 2	- 1	- 0
PUISSANCE ACOUSTIQUE	0,10	0,13	0,17	0,20	0,25	0,33	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
SENSATION DE BRUIT	0,5	0,52	0,55	0,6	0,63	0,67	0,7	0,75	0,8	0,9	1,0

Les niveaux de bruit ne s'additionnent pas : ce sont les intensités (ou les énergies) acoustiques qui le font (voir 3.3., 5°). Bien qu'on ne fasse sur les décibels que des opérations d'addition et de soustraction, il faut se souvenir que ce sont des logarithmes et que ces opérations sont en réalité des multiplications et des divisions.

Ainsi un écart de 3 dBA correspond à une multiplication (ou une division) par 2 de l'intensité acoustique. C'est la multiplication des sources sonores (moteurs notamment) qui a donné au bruit sa dimension moderne, et le bruit croît plus en extension spatiale (prolifération des sources) qu'en intensité "à la source" : on va vers des réglementations d'emploi autant que vers des normes de fabrication plus sévères.

Notons, par exemple, qu'une voiture (puissance mécanique : 50 kW) libère une puissance acoustique d'environ 50 mW (85 dBA à quelques mètres), un avion quadrimoteur (puissance mécanique : 100 000 kW) quelques dizaines de kW acoustiques (120 dBA à 100 m) et que, par comparaison, un orchestre symphonique de 75 exécutants (puissance mécanique : 5 kW à peine) émet 10 W acoustiques (100 dBA à 25 m), sur un spectre de fréquences estimé plus agréable, en général.

1.3.-Niveau sonore d'une route pendant une durée donnée

1.3.1. Forme générale de la relation entre niveau sonore médian L_{50} et le débit Q

Au cours d'une durée d'observation t , une route voit passer un certain nombre de véhicules que, moyennant quelques précautions on ramène au nombre qui passerait en une heure, ou débit horaire Q , même si t est inférieur à l'heure. On note aussi divers niveaux sonores que l'on décrit statistiquement en indiquant le pourcentage du temps t pendant lequel chaque niveau est atteint ou dépassé, L_{50} notamment (50 % du temps).

Le problème est de savoir quelle correspondance on peut établir entre Q et la distribution des niveaux sonores, c'est-à-dire pour nous avec L_{50} .

Cette question a été abondamment étudiée en France et dans les pays européens comparables (Allemagne, Royaume-Uni, Suède). Dans l'état présent de la motorisation de l'Europe, les conclusions sont à peu près concordantes.

Tout d'abord si la durée d'observation est inférieure à 2 minutes (et quelle que soit le densité de circulation), on ne met en évidence ni structure statistique stable des niveaux sonores (L_{50} peut varier de 10 dBA d'un échantillon à l'autre), ni, à fortiori, de relation entre un niveau donné (L_{50} , L_{10} ou L_{90}) et le débit Q . Celui-ci est d'ailleurs mal défini par extrapolation à partir de si courtes périodes. En pratique, mais sans que ce soit une norme, on recommande des mesures d'au moins 5 ou 6 minutes.

Au contraire, si la durée d'observation est assez grande (6, 10, ou 15 minutes, 1 ou plusieurs heures) et surtout dès que la circulation est assez dense pour que le débit horaire Q excède 300 véh/h (on peut résumer ces conditions en disant : dès que l'échantillon observé est de quelques dizaines de véhicules), on met en évidence une distribution des niveaux sonores quasi-gaussienne, ainsi qu'une bonne corrélation entre Q et un niveau acoustique L tel que la médiane L_{50} ou les déciles extrêmes L_{90} ou L_{10} (niveaux atteints ou dépassés soit 50 %, soit 90 %, soit 10 % du temps).

Le présent guide du bruit établit une relation entre L_{50} et Q , qui ne constitue qu'une première approche du problème valable pour des circulations denses. Une étude plus complète devra prendre en compte, outre le débit, la vitesse moyenne des véhicules, faisant ainsi intervenir explicitement la relation débit-vitesse de la route. Des études et des campagnes de mesures sont actuellement entreprises pour établir une formulation plus satisfaisante de L_{50} en fonction de ces paramètres. Elles devront aussi permettre de mieux prendre en compte l'influence de la proportion de poids lourds empruntant la route.

.../...

C'est donc exclusivement pour des circulations denses que le présent guide du bruit est établi, c'est-à-dire qu'il ne s'applique qu'aux routes urbaines dont le débit horaire excède 300 à 500 véh/h pendant au moins 6 h par jour ($Q = J/17$ voir 2.2.), ce qui correspond à un trafic journalier d'au moins 5 000 à 8 500 véh/jour (en pratique : 10 000 véh/j au moins à terme).

Pour ces routes à forte circulation, la théorie et la pratique permettent de repérer le bruit en heure pleine de débit horaire Q , par le niveau sonore médian L_{50} atteint ou dépassé la moitié de l'heure, et d'établir une relation linéaire entre L_{50} et $\log Q$, soit :

$$L_{50} = A + K \log Q.$$

L'emploi des décibels pour L_{50} fait que le coefficient de proportionnalité K s'écrit $K = 10 b$, révélant l'origine théorique de la formule : elle n'est que l'expression logarithmique de la relation monôme $W = a Q^b$ entre l'énergie acoustique totale (dont L_{50} est le logarithme) et le nombre de sources émettrices, c'est-à-dire le débit Q , porté à un certain exposant b selon la régularité de défilement de ces sources :

- . $b = 1$ ($K = 10$) : écoulement continu (voies rapides, forts débits)
- . $b = 3/2$ ($K = 15$) : écoulement un peu pulsé (routes majeures, débits moyens)
- . $b = 2$ ($K = 20$) : écoulement discontinu (rues ordinaires, débits très faibles)

Le terme constant A dépend principalement de la vitesse moyenne d'écoulement des véhicules (laquelle dépend du débit Q selon diverses relations suivant le type de route: rapide, express ou ordinaire).

Quant au coefficient K , on a vu qu'il était caractéristique de la régularité de la circulation, c'est-à-dire du type de route.

On trouvera ci-après les valeurs particulières de A et de K pour diverses routes (voir 1.3.3 et 1.3.4.), mais il faut auparavant dire un mot de la dispersion des niveaux autour de la médiane, puis examiner l'influence de la proportion de poids lourds (P.L.) selon la rampe de la route, afin d'en tenir compte lorsqu'on n'est pas dans le cas pour lequel sont établies les formules de référence, à savoir : route en palier et 12,5 % de P.L.

En un point de l'espace de plus en plus éloigné de la route, la distribution des niveaux sonores (par exemple la largeur de bande $L_{10} - L_{90}$ ou l'écart entre niveau médian L_{50} et niveau des crêtes L_{10}) dépend non seulement de la valeur de la médiane L_{50} mais aussi de la dispersion, et l'une et l'autre ne décroissent pas de la même façon avec la distance. Très forte près de la route (5 à 8 dBA), la dispersion tombe à 3 dBA à peine à 100 m. La raison physique est double : d'une part les crêtes sonores sont plus atténuées que le bruit moyen, d'autre part les aigus sont plus absorbés que les graves (ce qui joue sur

les niveaux en dBA par le biais de la courbe de pondération A). C'est ce qu'on résume en disant que l'éloignement rend les phénomènes de plus en plus réguliers et on notera qu'une mesure acoustique est d'autant moins précise qu'elle est plus proche de la source.

1.3.2. Correction de proportion de poids lourds et de rampe de la route

Implicitement, la relation générale $L_{50} = A + K \log Q$ se réfère à un débit Q de véhicules tous équivalents du point de vue acoustique, ou du moins, à un débit de Q véhicules réels ayant une composition moyenne définie, c'est-à-dire principalement une certaine proportion de poids lourds p (%) de P.L., l'ensemble circulant sur une route en palier (moins de 2 % de déclivité du profil en long, ou rampe).

En fait, les relations de référence $L_{50}(Q)$ données ci-(1.3.3. et 1.3.4.) ont été établies par l'observation (avec ajustement statistique) pour des routes urbaines en palier et une circulation comportant de 5 à 20 % de P.L. (soit 12,5 % + 7,5 %) c'est-à-dire autour de la moyenne nationale de P.L. : 12,5 % (et le reste en véhicules légers, ou V.L.).

Si ces deux conditions ne sont pas réunies, il faut apporter une correction qui tienne compte du fait qu'un P.L. est plus bruyant qu'un V.L. et d'autant plus que la rampe de la route est plus forte.

En France, l'observation conduit à admettre que, dans une rampe de n % (n supérieur à 2 : en dessous de 2 % la route est dite en palier), un P.L. a une puissance acoustique égale à $2n$ fois celle d'un V.L., soit :

- . 4 en palier, ce qui équivaut à +6 dBA
- . 8 en rampe de 4 %, ce qui équivaut à +9 dBA.

La puissance acoustique du débit comportant p % de P.L. dans une rampe n % est alors multipliée par $1 - p + p \times 2n = 1 + (2n - 1)p$ et le niveau médian L_{50} est accru de $K \log (1 + (2n - 1)p)$ selon le type de route (rapide : $K = 10$, majeure : $K = 15$, mineure : $K = 20$). On a tabulé en n et en p cette correction et on l'a traduite sous la forme de l'abaque de la page 22 : à gauche on lit la correction sur voie rapide, à droite, la correction sur route majeure.

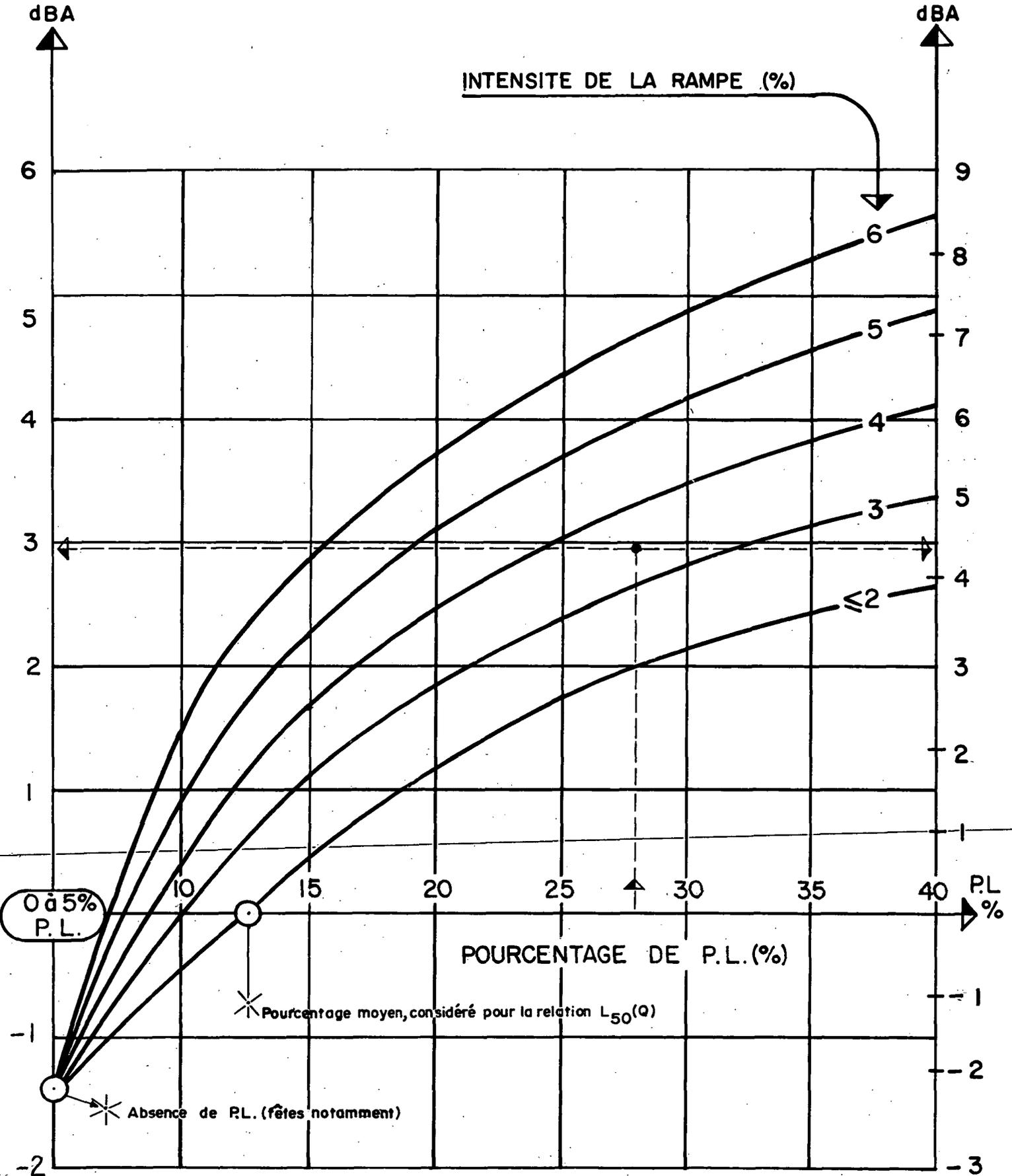
Ces résultats français recourent bien les observations sur route majeure ($K = 15$, échelle de droite) faites en Allemagne, au Royaume-Uni et en Union Soviétique, où l'effet des poids lourds est particulièrement exalté. Dans ce dernier pays, par exemple on note un accroissement du niveau acoustique de 1 dBA pour chaque augmentation de 10 % de la proportion de P.L. autour de 50 %.

En Allemagne, on note + 4 dBA de 0 à 20 % de P.L. et encore + 4 dBA de 20 à 50 % de P.L. Au Royaume-Uni, en palier, on a déterminé la correction en fonction du pourcentage de P.L. et selon le débit horaire Q sur route majeure, comme le résume le tableau ci-après :

AUGMENTATION DU NIVEAU SONORE MEDIAN L50
 D'UN DEBIT HORAIRE DE Q Véh/h
 SELON SON POURCENTAGE DE POIDS LOURDS
 ET LA RAMPE DU PROFIL EN LONG

VOIE
 RAPIDE

ROUTE
 MAJEURE



Exemple: PL 28% rampe 3,5% voie rapide: +3 dBA ,route majeur: + 4,5 dBA

CORRECTION (EN dBA) POUR POIDS LOURDS SUR ROUTE MAJEURE

Débit Q véh/h	500	1 000	1 500	2 000 et plus
5 à 20 % P.L.	0	0	0	0
25 % P.L.	1,5	1,0	1,0	1,0
30 % P.L.	3,0	2,5	2,0	2,0
40 % P.L.	4,0	3,5	3,0	3,0
50 % P.L.	5,5	5,0	4,5	4,0

d'après Urban planning Against Noise, 1967, R. J. STEPHENSON ET G. H. VULKAN

Ce tableau et l'abaque de la page 22 concordent bien si l'on se souvient du rôle du coefficient K ($K = 15$ sur route majeure). Plus généralement, quand le débit Q diminue, on passe à des écoulements dont le coefficient K croît et on se guidera sur le coefficient K de la formule de référence pour la plage de débits considérés, quand on voudra déterminer la correction P.L.

L'abaque de la page 22 se résume du reste en deux phrases : Sur route majeure (débits un peu pulsés), à rampe donnée, tout doublement du taux de P.L. au-dessus de 12,5 % accroît de 2 à 3 dBA le niveau médian, et, à taux de P.L. donné, toute augmentation de 1 % de la rampe de la route au-dessus de 2 %, l'accroît de 1 dBA environ.

1.3.3 Relation de référence $L_{50}(Q)$ des rues en U ou en L

La plupart du temps les études de bruit concernent, et c'est bien évident lorsqu'il s'agit d'un projet de route nouvelle, une ou deux chaussées sans constructions riveraines alignées sur ses bords, c'est-à-dire un champ sonore en géométrie dégagée, et ce sera le cas général par la suite (1.3.4 mais aussi chapitres 2 et 3).

Mais il faut connaître aussi les niveaux sonores en géométrie confinée, c'est-à-dire pour des rues bordées d'immeubles en ordre continu. Si les immeubles sont des deux côtés, la rue est en U. D'un seul, elle est en L.

Cette définition implique la présence de façades (routes en tissu urbain ancien). On a donc considéré à titre tout à fait exceptionnel le niveau sonore en façade, compte tenu de l'existence de celle-ci, c'est-à-dire accru de 3 dBA par la réflexion des ondes sur elle, par rapport au niveau en champ libre. C'est bien le niveau que mesurera un sonomètre placé 2 m devant la façade et c'est celui qui correspond à la définition de l'isolation acoustique de façade (voir 5.4.0.).

Pour une rue en U de largeur 1 (m) entre façades, le débit Q (véh/h), compris entre 300 et 3 000 véh/h, la relation de référence donnant le niveau L_{50} en façade est :

$$L_{50} = 38 + 15 \log Q \text{ (véh/h)} - 10 \log 1 \text{ (m)}$$

Pour une rue en L, on fait 1 = 100 m dans la relation précédente et il vient :

$$L_{50} = 18 + 15 \log Q \text{ (véh/h)}$$

On notera, par ailleurs, que la saturation de ce type de rue (débit maximal de l'ordre de 750 véh/h par file de circulation) donne des niveaux sonores qui ne peuvent guère excéder 75 dBA (en palier, avec 12,5 % de P.L.).

1.3.4. Relation de référence $L_{50}(Q)$ des voies rapides urbaines

Comme pour la relation précédente, de nombreuses mesures faites à diverses reprises dans diverses villes françaises, complétées par des relevés sur maquettes et recoupées par des considérations théoriques, ont permis au C.S.T.B. (4, Avenue du Recteur POINCARÉ, PARIS 16°) de compiler une courbe $L_{50}(Q)$ pour les voies urbaines à écoulement continu, qu'on peut approcher par une ligne brisée, d'où la relation de référence selon trois plages de débit :

Q entre 300 et 1 000 véh/h	$L_{50} = 69 + 20 \log \frac{Q}{1\ 000}$
Q entre 1 000 et 2 500 véh/h	$L_{50} = 69 + 15 \log \frac{Q}{1\ 000}$
Q au-dessus de 2 500 véh/h	$L_{50} = 71 + 10 \log \frac{Q}{1\ 000}$

d'après C.S.T.B. 952 Fig.4

Le niveau médian L_{50} considéré ici est le niveau en champ libre à 3 m du bord de chaussée. Il convient de lui ajouter les 3 dBA dus à la réverbération sur un obstacle tel qu'une façade, si on veut le rendre directement utilisable après calcul de la propagation à distance pour définir une isolation acoustique de façade (voir 5.4.0).

Ce niveau L_{50} concerne exclusivement des circulations continues (ni feux rouges, ni à-coups, ni arrêts) à des vitesses de l'ordre de 80 à 50 km/h sur chaussée (s) moderne (s) présentant un bon tracé et un bon uni.

Si la chaussée est pavée il faut ajouter 2 à 5 dBA selon l'état du pavé. Des feux rouges non coordonnés peuvent ajouter de l'ordre de 5 dBA, voire plus.

D'emploi immédiat, ces formules (1.3.3. ou 1.3.4) permettent de prévoir que, 6 heures par jour au moins, des rues fréquentées par 10 000 à 40 000 véh/jour ou des voies rapides empruntées par 20 000 à 140 000 véh/j auront des niveaux acoustiques médians de l'ordre, respectivement, de 65 à 75 dBA ou 70 à 80 dBA.

1.4. - Quelques niveaux sonores de diverses activités.

A titre comparatif, on trouvera ci-dessous une échelle de divers bruits usuels dans un pays moderne :

Activité	dBA	Bruit ressenti
Réacteur d'avion à 100 m.....	120	....douloureux
Chaudronnerie, forge.....	110	....assourdissant
Orchestre 75 exécutants, à 25 m.....	100	....intense
Machines pneumatiques à quelques m.....	90	....très bruyant
Automobile en accélération à 10 m.....	85	....bruyant
Terrassements très mécanisés à 30 m.....	80	....très fort
Intérieur de train ou d'auto.....	75	....assez fort
Aspirateur à 3 m, magasin sonorisé.....	70	....très gênant
Restaurant animé, atelier dactylo.....	65	....assez gênant
Conversation animée, voix moyenne.....	60	....gênant
Magasin traditionnel.....	55	....modéré
Bureau ou salle d'études.....	50	....assez modéré
Conversation calme, vie familiale.....	45	....très modéré
Silence à la campagne, le jour.....	40	....assez faible
Silence à la campagne, la nuit.....	30	....faible
Studio d'enregistrement sonore.....	20	....très faible
Bruissement d'un feuillage.....	10	....silencieux

1.5. - Mesure du bruit sur site ou sur modèle.

Outre les calculs permis par les formules données en 1.3. on peut parfois avoir besoin de mesures directes du bruit sur site ou sur maquette.

Sur site, on emploie des sonomètres calibrés selon la courbe A de la C.E.I. Ces campagnes de mesure peuvent être parfois délicates, par exemple pour le bruit en façade de logements occupés, surtout si elles se doublent d'une enquête psycho-sociologique, et, de toute façon, elles sont assez longues si on les veut significatives.

Sur maquette, la similitude impose aux fréquences sonores un rapport inverse du rapport de similitude géométrique. Faute de pouvoir simuler le spectre complexe des fréquences porteuses, on se borne à la fréquence de 500 Hz, parfois 1 000 Hz dont le niveau d'octave ne diffère pas trop du niveau pondéré sur tout le spectre selon la courbe A. Sur la maquette cette fréquence devient très aiguë : 10 000 Hz sur une maquette au 1/20 : le modèle réduit est loin d'être

petit, ce qui rend onéreuse sa construction (exigences acoustiques sur les matériaux) et longue son expérimentation.

Les mesures sur site ou sur maquette doivent donc rester le dernier recours, en les limitant aux seuls cas où la méthode générale de calcul n'est pas apte à prévoir le niveau L à partir du débit Q et de la géométrie envisagée. Ces cas sont notamment les brusques variations de profil en travers : débouché de tunnel ou de tranchée, changement de configuration des immeubles riverains, décrochements importants, profils dissymétriques,...

Hormis ces cas, où l'hypothèse de géométrie cylindrique et symétrique de part et d'autre de la route n'est manifestement pas réalisée, et en soulignant que cette hypothèse est à la base du présent guide, tous les cas usuels doivent pouvoir être calculés à 1 ou 2 dBA près en tout point, à partir de considérations géométriques (voir chapitre 3) et d'une relation appropriée entre L_{50} et Q (ou J).

-0-0-0-0-0-

CHAPITRE 2

DISTRIBUTION DU BRUIT DANS LE TEMPS

Ce chapitre est rédigé principalement dans l'optique de niveaux sonores en champ libre, c'est-à-dire pour le L_{50} des voies rapides urbaines en géométrie dégagée (voir 1.3.4.), et la notion d'isophone zéro y fait charnière entre la variation des débits et la propagation du bruit dans l'espace. Pour les rues majeures en U ou en L ce second aspect est d'intérêt restreint puisqu'on connaît le niveau sonore en façade c'est-à-dire directement la seule isophone intéressante. Mais la relation des débits classés Q - J garde son utilité.

2.1. - Isophone zéro d'une voie rapide de débit horaire Q.

Pour calculer le niveau sonore en tout point, autour d'une voie rapide de débit horaire Q, on considère d'abord à 3 m des chaussées une isophone particulière (surface d'égal niveau sonore), l'isophone zéro.

Comme son niveau sonore se relie directement au débit Q, elle constitue la charnière entre la variation du bruit au cours de la journée, selon les variations de Q, et la propagation du bruit de la route jusqu'au point considéré, sous réserve que la géométrie soit régulière, c'est-à-dire cylindrique autour de l'axe de la route.

Physiquement, la source de bruit qui nous occupe est confinée dans un certain volume au-dessus des chaussées : en épaisseur, de 0 à 1,5 m et, en largeur, jusqu'à 0,5 m des bords de chaussée.

Expérimentalement, on a pu montrer que, quelle que soit la géométrie environnante (remblai, tranchée, écran, etc...), il existait une première surface isophone à quelques mètres des chaussées, commune à tous les cas : assimilable au demi-cylindre circulaire dont la plate forme est le plan diamétral, et dont le niveau sonore médian L_{50} est précisément celui qu'on a donné en 1.3.4., soit en simplifiant par $\log 1\ 000 = 3$:

pour Q de	300 à	1 000 véh/h :	$L_{50} = 9 + 20 \log Q$
pour Q de	1 000 à	2 500 véh/h :	$L_{50} = 24 + 15 \log Q$
pour Q supérieur à	2 500 véh/h :		$L_{50} = 41 + 10 \log Q$

Ce niveau sonore à 3 m du bord de chaussée, précis à 1 dBA près correspond à une circulation continue lancée (vitesse 50 à 80 km/h) sur chaussée moderne. S'il n'en est pas ainsi, sans qu'on soit dans le cas des géométries confinées (rues en U ou en L), pour des trafics journaliers supérieurs à 10 000 véh/jour (à l'horizon d'étude), en champ relativement libre (immeubles discontinus et assez distants des chaussées), on peut tenter d'obtenir un ordre de grandeur à 2dBA près, au moyen des corrections indiquées en 1.3. et 3.3.

L'important sera, dans tous les cas, de prendre en compte les débits Q vraiment représentatifs du trafic de la route, pour l'étude que l'on a en

vue. C'est ce que vise, notamment, la considération des débits horaires classés. Après la première convention qui a introduit $L_{50}(Q)$, elle en permet une seconde grâce à laquelle on peut passer à $L_{50}(J)$, où J est le trafic journalier moyen de la route.

2.2. - Distribution des débits horaires d'une journée.

Le débit d'une route urbaine varie selon les heures de la journée, la taille de l'agglomération, la nature des activités qu'elle dessert et la fonction qu'elle assure (radiale, rocade, pénétrante, etc...).

Cette distribution des débits sur la liaison considérée peut parfois être très particulière (desserte d'un aéroport, d'un marché-gare, d'une zone de bureaux), mais, en général, la route est polyvalente, et l'on peut se fier à des distributions assez stables qui classent les débits horaires en regard du nombre d'heures pendant lesquelles ils sont atteints ou dépassés ou du pourcentage du trafic journalier qui s'écoule au moins à ce débit.

Pour nos besoins, cette distribution type des débits horaires Q dans une journée de trafic moyen J , peut se schématiser comme suit :

. Le trafic journalier J (véh/j) ne s'écoule pas uniformément au débit horaire constant Q (véh/j) = $J/24$. Sur toute route, qu'elle soit rurale ou urbaine, on n'observe de débits horaires au moins égaux à $J/24$ que la moitié du temps, et l'autre moitié ne voit passer que le quart du trafic total.

. Pour une route en agglomération d'au moins 50 000 habitants (notre cas), le débit horaire $J/17$ est atteint ou dépassé le quart du temps (6 heures par jour), durée qui suffit à écouler environ la moitié du trafic total.

. Des débits horaires plus forts (heures de pointe) peuvent s'observer mais le plus fort débit horaire dépend de la taille de la ville : $J/8$ en petite ville (moins de 100 000 habitants), $J/10$ en grande ville (semi-millionnaire ou plus), $J/11$ voire $J/12$ en très grande ville sur route congestionnée plusieurs heures par jour.

. Des débits horaires plus faibles (heures creuses) peuvent s'observer pendant la "nuit du trafic" : pendant 6 heures (repos nocturne) le débit horaire n'excède pas $J/50$, voire $J/100$ pendant 3 heures.

Ainsi le débit horaire $J/17$ occupe une position centrale dans la distribution des débits classés. Il intervenait déjà dans le calcul économique des avantages que la route procure au trafic J , sous le nom de DEBIT UNIFORME EQUIVALENT car il ramenait le calcul à ce débit constant qui écoulait J en 17 heures (et rien les 7 autres heures).

.../...

. J/17 est une valeur médiane pour les J usagers : la moitié d'entre eux circule mieux qu'au débit horaire J/17, l'autre moins bien.

. J/17 est une valeur représentative des circulations urbaines denses, qui est indépendante de la taille de la ville et de la fonction de la route, ce que ne sont pas les débits d'heure de pointe, qui varient selon les jours et parfois les heures.

. J/17 est une valeur facile à repérer : ce débit s'observe en général autour de 11 h ou de 16 h les jours ouvrables, et de toute façon, il est représentatif des 6 heures de plus forte activité diurne, de sorte que 4 ou 6 mesures d'un quart d'heure bien distribuées au cours de la journée, hors des pointes, suffisent à l'atteindre avec une bonne précision, ainsi que le niveau acoustique L_{50} correspondant.

Le débit horaire J/17 apparaît donc comme la caractéristique centrale d'une circulation urbaine dense, susceptible en particulier d'en relier le niveau sonore diurne pendant 6 heures (L_{50}) au trafic journalier J.

DEBITS HORAIRES CLASSES Q ET NIVEAUX SONORES CORRESPONDANTS L_{50} (dBA)
POUR UNE VOIE RAPIDE URBAINE DE TRAFIC JOURNALIER J (véh/j)

Période considérée	Pointe		Activité diurne normale		Coucher réveil	Pleine nuit	
Nombre d'heures par jour	1	3	6	12	18	21	
Débit horaire Q	J/10	J/14	J/17	J/25	J/50	J/100	
Niveau sonore médian	J = 20 000	L + 3	L + 1,5	L	L - 3,5	L - 9,5	L - 15,5
	J = 40 000 (*)	L + 2	L + 1	L	L - 3	L - 7	L - 14
	J = 80 000	L + 2	L + 1	L	L - 2	L - 6	L - 11
L_{50}	J = 120 000	L + 2	L + 1	L	L - 2	L - 4,5	L - 9

(*) Convient aussi sensiblement aux rues majeures (U ou L) de 10 000 à 40 000 véh/j. La version numérique de ce tableau est à la page 31. Les définitions successives de L_{50} (Q) selon la plage de débit Q font diminuer les écarts entre niveaux quand le trafic J augmente.

2.3. - Isophone zéro L_{50} d'un trafic journalier J.

La relation de référence L_{50} (Q) (voir 1.3. et 2.1.) peut se transformer en relation entre L_{50} et J si l'on fait choix de la période de temps pendant laquelle Q est atteint ou dépassé.

Par définition, l'isophone zéro L_{50} correspond au débit horaire uniforme équivalent J/17 atteint ou dépassé 6 heures par jour environ, selon le tableau ci-dessous :

ISOPHONE ZERO POUR J/17 ET LE TRAFIC JOURNALIER J

J (véh/j)	5 000	8 500	13 500	17 000	20 000	25 000	35 000	42 000
Q (véh/h)	300	500	800	1 000	1 200	1 500	2 000	2 500
L_{50} (dBA)	59	63	67	69	70,5	72	73,5	75

J (véh/j)	50 000	70 000	85 000	110 000	140 000	170 000	200 000	280 000
Q (véh/h)	3 000	4 000	5 000	6 500	8 000	10 000	12 500	16 000
L_{50} (dBA)	76	77	78	79	80	81	82	83

Cette valeur de L_{50} est doublement médiane : à la fois sur la distribution du bruit pour l'heure considérée et sur la distribution du débit horaire pour le trafic journalier J considéré.

Elle n'est toutefois un bon indicateur que pour les heures d'activité diurne, pour lesquelles le bruit moyen est bien relié à la gêne que peut engendrer le bruit de la circulation.

Il n'en va plus de même pour les heures de repos et sommeil, qui sont surtout sensibles aux crêtes de bruit, largement indépendantes des niveaux de trafic Q et J et pour lesquelles même un indicateur dérivé, tel que L_{50} pour J/50 ou J/100, non seulement aurait peu d'utilité mais encore serait très sujet à caution (échantillon statistique insuffisant).

A partir du tableau des débits classés et du tableau $L_{50} - Q - J$ on obtient le tableau suivant :

.../...

NIVEAUX DE BRUIT (en dBA) D'UNE VOIE RAPIDE DE TRAFIC J
(à 3 m du bord de chaussée)

TRAFIC JOURNALIER J (véh/j)	NIVEAU D'HEURE DE POINTE (1 h/j) J/10	NIVEAU DE JOUR (6 h/j) J/17	NIVEAU DE NUIT (6 h/j) (3 h/j)	
			J/50	J/100
10 000	69	66	57	54
20 000	73	70	61	57
40 000	77	75	67	61
60 000	79	76,5	70	64
80 000	80	78	72	67
100 000	81	79	73	69
120 000	82	79,5	74	70
140 000	83	80	75	71

A quelques mètres d'eux, les véhicules automobiles ne peuvent donc engendrer en général, un bruit moyen qui excède 83 dBA s'ils sont en circulation groupée avec les plus forts trafics qu'on sache réaliser (ni, en bruit de crête plus de 95 dBA, s'il s'agit de véhicules isolés anormalement bruyants).

Avec des valeurs généralement comprises entre 60 et 80 dBA, le bruit des routes urbaines se situe au milieu du domaine acoustique de l'oreille, qui est précisément celui de la conversation et des bruits familiers, à domicile, au bureau ou dans les magasins. Pour qu'il ne gêne pas toutes les activités correspondantes il sera donc nécessaire d'atténuer son niveau de une ou deux décades entre son émission sur la route et sa réception dans le local qui abrite l'activité humaine à protéger (voir 4.2.1.)

-0-0-0-0-0-

CHAPITRE 3

DISTRIBUTION DU BRUIT DANS L'ESPACE

3.1. - Méthode des surfaces isophones

3.1.1. Principe et limites de la méthode

La méthode consiste à déterminer les surfaces d'égal niveau sonore (ISOPHONES) en les graduant en dBa en moins par rapport à L_{50} , niveau de l'isophone zéro (d'où le nom de cette isophone). On visualise ainsi l'atténuation du bruit en distance (géométrie à vue directe) ou après diffraction (géométrie à vue défilée).

Bien que tout à fait générale, la méthode se limite en pratique aux isophones de champ libre (cas des voies rapides visées en 1.3.4. sans façades réverbérantes. Dans le cas des rues en U ou en L, elle est inutile, les façades constituant une bonne approximation des isophones utiles). Elle vise aussi surtout des géométries cylindriques pour lesquelles elle conduit à des courbes isophones dans le profil en travers, le plus souvent avec symétrie axiale par rapport au plan médian de la route.

La méthode concerne donc surtout les sections de voies rapides urbaines de profil en travers constant ou presque, et le plus souvent symétrique (en particulier les écrans pare-bruit, s'il y en a, sont des deux côtés). De plus, les diverses surfaces qui délimitent l'espace (sol, murs, façades....) doivent présenter aux ondes sonores sensiblement le même pouvoir réfléchissant ou absorbant (c'est le cas général en ville où tout, ou presque tout, est maçonné, revêtu ou stérile).

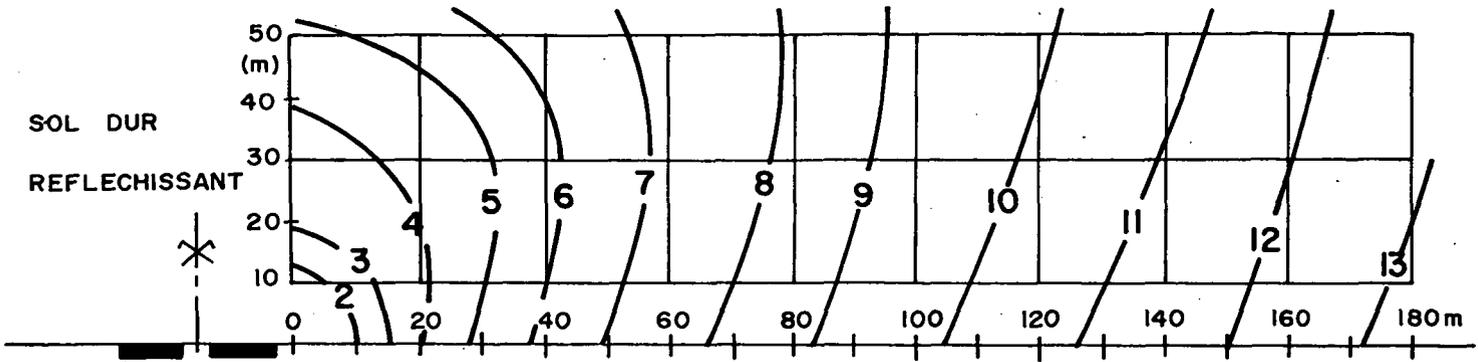
Les "effets de sol" sont du reste faibles dès que le rayon acoustique est incliné de plus de 10° sur le sol, (voir page 34 les cas de sol absorbant et de sol réfléchissant). L'effet de diffraction d'un terrain boisé ou d'absorption d'une bande gazonnée n'est guère que de 1 dBA par décamètre et n'est donc perceptible que pour des bandes larges d'au moins 25 m.

La méthode s'applique en pratique assez peu si la géométrie n'est ni cylindrique ni symétrique ni homogène (en pouvoir réfléchissant des surfaces). Ces cas irréguliers sont du ressort du relevé direct des surfaces isophones sur site et sur maquette. Mais leur coût les limite aux opérations majeures (têtes de tunnel, par exemple).

3.1.2. Cartes d'isophones de voies rapides en vue directe ou défilée

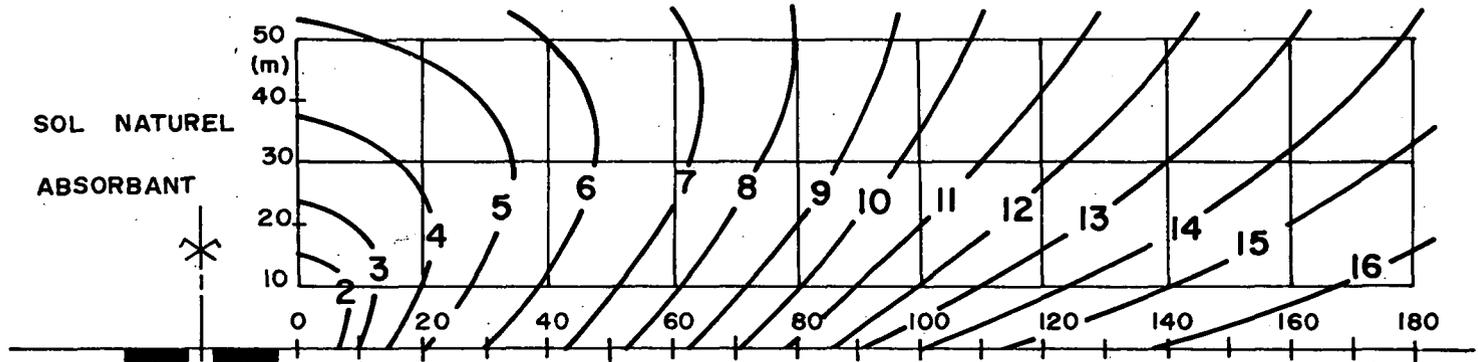
L'isophone zéro est commune à tous les cas, que la route soit à fleur de sol, en élévation ou en déblai et que ses abords soient ou non bâtis. Son niveau sonore médian L_{50} ne dépend que du débit horaire Q (voir 2.1.) ou du trafic journalier J (voir 2.3.). Elle est assimilable au demi-cylindre circulaire dont le plan diamétral est la plate-forme même de la route rapide.

ISOPHONES EN CHAMP LIBRE SUR SOL REFLECHISSANT OU NON AUTOROUTE AU NIVEAU D'UN SOL REFLECHISSANT



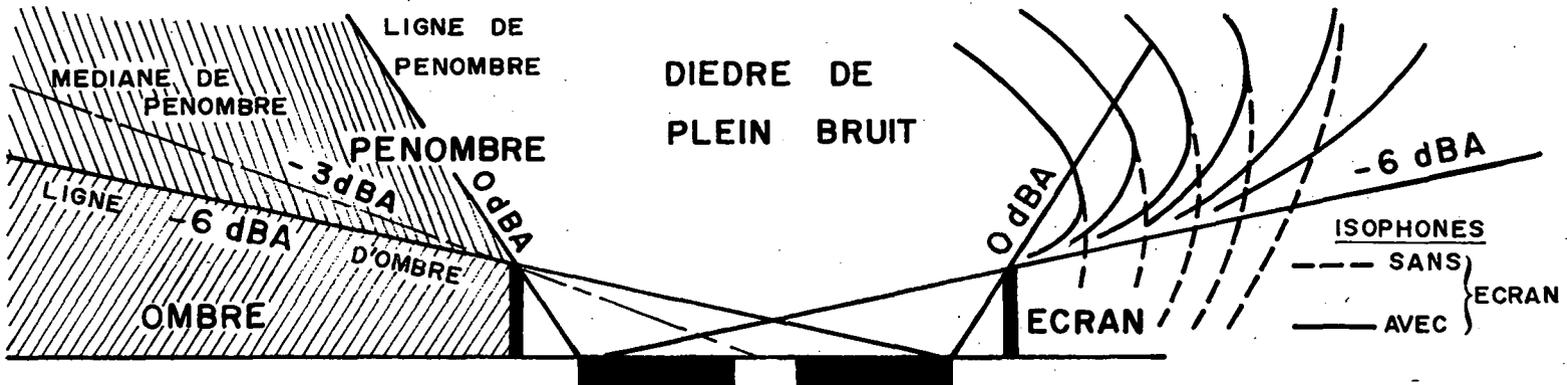
CSTB. 952 fig.16

AUTOROUTE AU NIVEAU D'UN SOL ABSORBANT

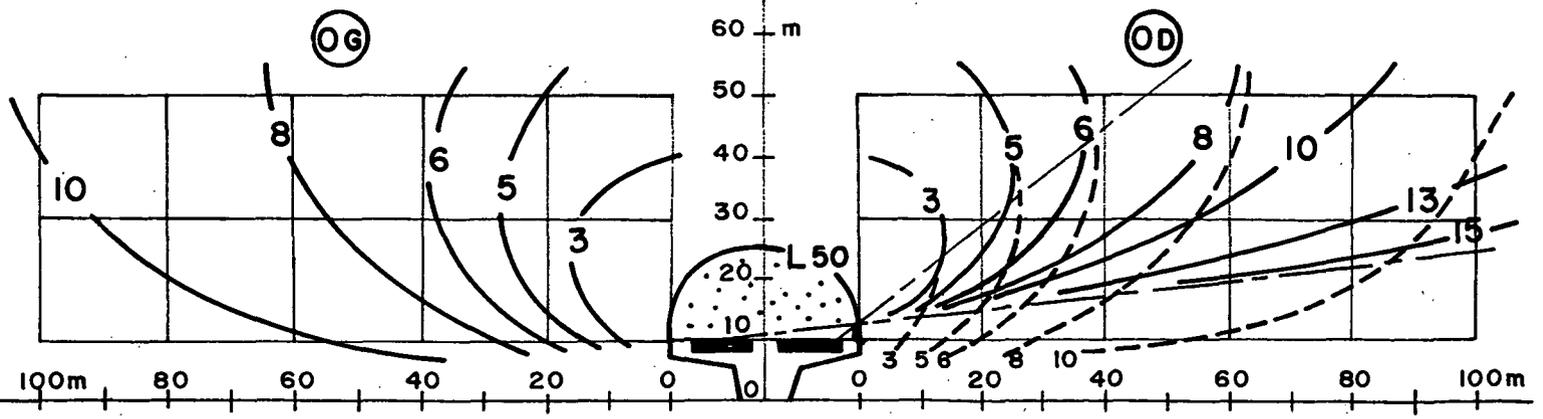


CSTB 952 fig.17

MISE EN PLACE SCHEMATIQUE DES ISOPHONES DE DIFFRACTION



EXEMPLE : VIADUC DE 10m SANS OU AVEC ECRAN DE 1,5 m SANS ECRAN AVEC ECRAN



CSTB 952 fig.6

CSTB 952 fig.6+7

Par rapport à cette isophone, les autres isophones sont graduées en dBA en moins par rapport à L₅₀.

Les planches des pages : 34 (pour les principes), 36 et 37 (pour les cas-types symétriques) présentent en coupe transversale les résultats des mesures sur site ou sur maquette faites par le C.S.T.B. et publiées dans ses cahiers 669 et 952. On s'est borné à uniformiser les échelles et la largeur de la voie rapide (plate-forme de 30 m portant 2 chaussées de 10,5 m), et il va de soi qu'elles ne sont valables qu'en géométrie cylindrique.

Les lois élémentaires qui régissent ces isophones sont :

. En géométrie à vue directe : propagation rectiligne. D'une part l'air absorbe environ 7 dBA par km, d'autre part l'accroissement homothétique des surfaces d'onde cylindriques abaisse le niveau sonore de 3 dBA quand la distance double (ce serait 6 dBA en géométrie sphérique). Comme la source réelle n'est pas un axe de cylindre sans épaisseur mais un certain volume, cette seconde loi n'est qu'approchée. Au total, entre 30 et 200 m du bord de la route, les deux effets se combinent en une atténuation de 3 à 4 dBA par doublement de la distance comptée depuis le bord de la route, et, en général, à l'horizontale.

. En géométrie à vue défilée : diffraction. L'atténuation par diffraction ne dépend que de la différence de marche entre ce qu'aurait été le tracé rectiligne (intercepté par l'écran) et ce qu'est le trajet de diffraction en ligne brisée sur l'arête de l'écran. Depuis l'arête de diffraction on voit les bords extrêmes de chaussée de la route sous un angle dont le bord le plus incliné est la ligne de pénombre et l'autre, la ligne d'ombre. En théorie, l'atténuation par diffraction est de 0 dBA sur celle-là, 6 dBA sur celle-ci. Le volume de la source sonore rend ces lois approchées dans les cas réels, et les lignes d'ombre et de pénombre ne sont plus rectilignes ni définies par les bords de chaussée.

Les cas réels combinent en général ces deux types de propagation :

. Le premier type règne dans le dièdre de plein bruit, au-dessus des lignes de pénombre. Même sans aucune arête de diffraction, l'effet de sol limite l'ouverture de ce dièdre à environ 45 ° de part et d'autre de la verticale (Cf. page 34). Selon la nature de la surface du sol, l'effet de sol consiste en absorptions ou réflexions parasites du son et ramène plus ou moins près de la route le "pied" des isophones. Dans le dièdre de plein bruit, celles-ci (y compris la première : l'isophone zéro) sont assimilables à des cylindres circulaires coaxiaux à la route.

Le second type règne dans les zones de pénombre, entre le dièdre de plein bruit et le sol. Dans la zone de pénombre, les isophones prolongent les isophones circulaires de plein bruit par un arc de parabole qui va rejoindre l'arête de diffraction tangentiellement à la ligne d'ombre. Ainsi, une arête de diffraction rassemble vers elle le "pied des isophones". Dans la zone d'ombre, les isophones tendent vers des ondes planes, c'est-à-dire des parallèles à la ligne d'ombre. Ces tracés théoriques ne sont qu'approchés dans les cas réels, mais permettent une assez bonne mise en place.

.../...

ISOPHONES POUR QUELQUES PROFILS EN TRAVERS USUELS

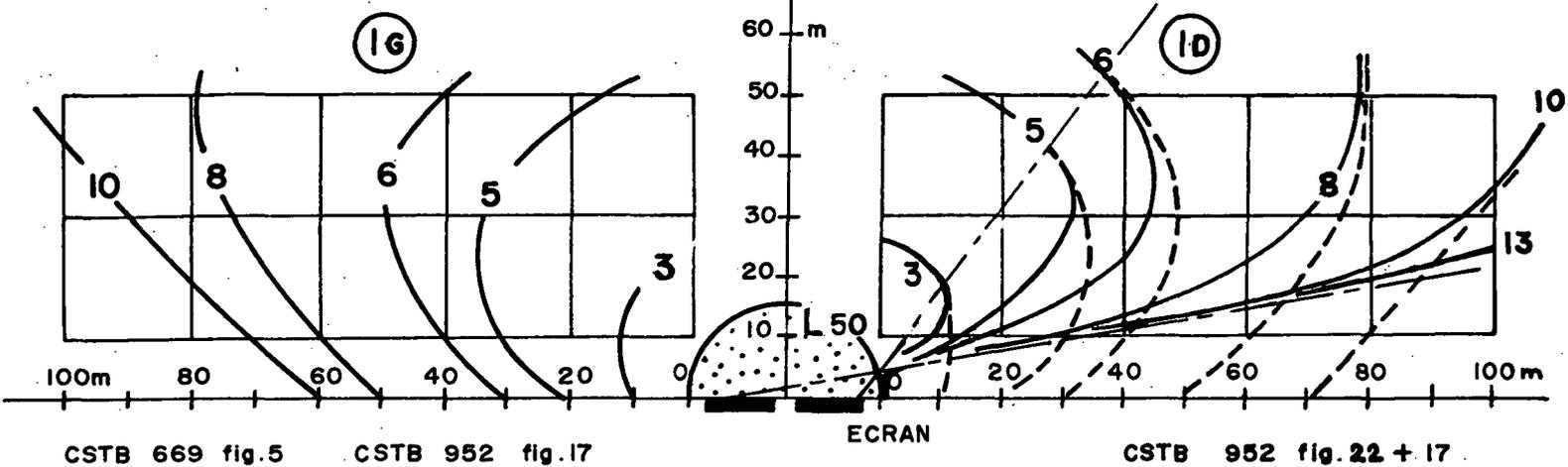
36

GEOMETRIE A VUE DIRECTE
(SANS ARETE DE DIFFRACTION)

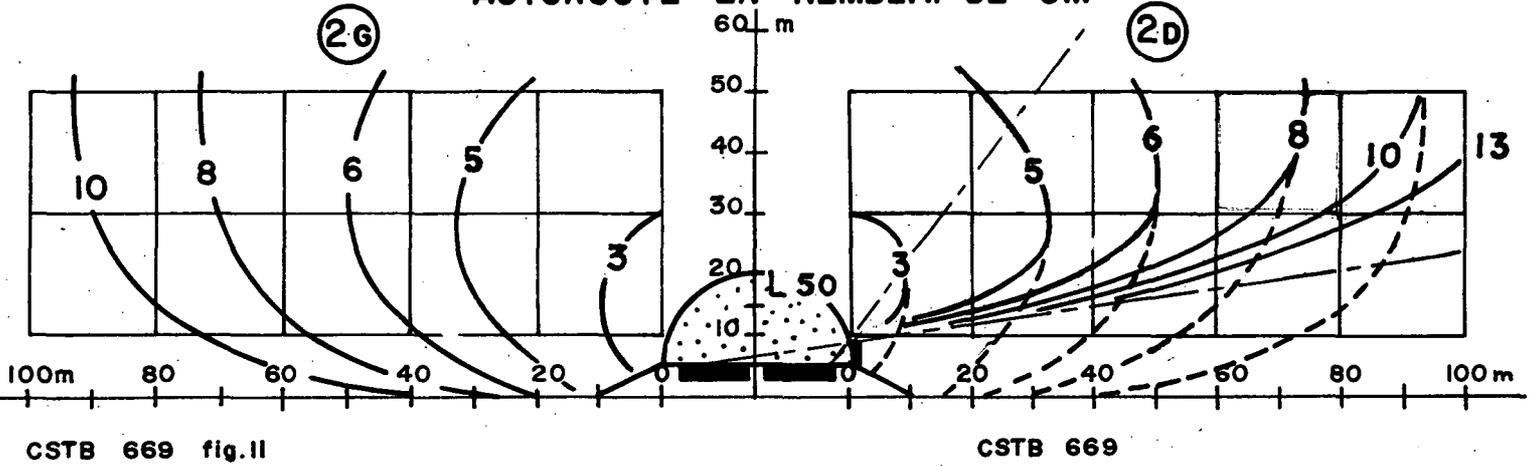
(à compléter par symétrie)

GEOMETRIE A VUE DEFILEE
(ECRAN NON-ABSORBANT DE 4 m)

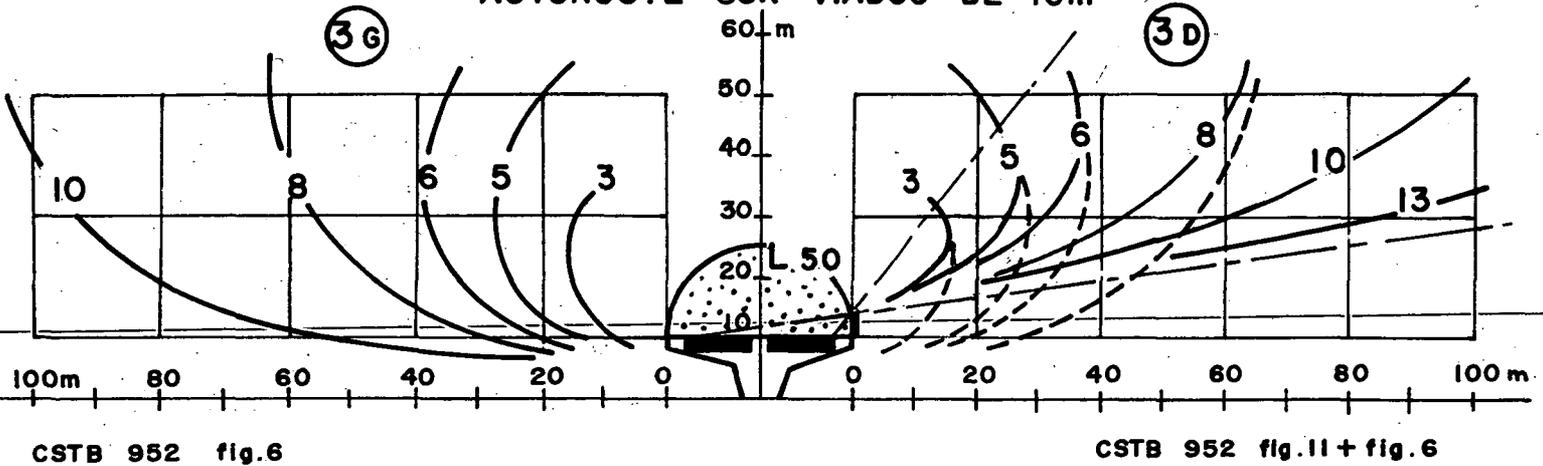
AUTOROUTE AU NIVEAU DU SOL



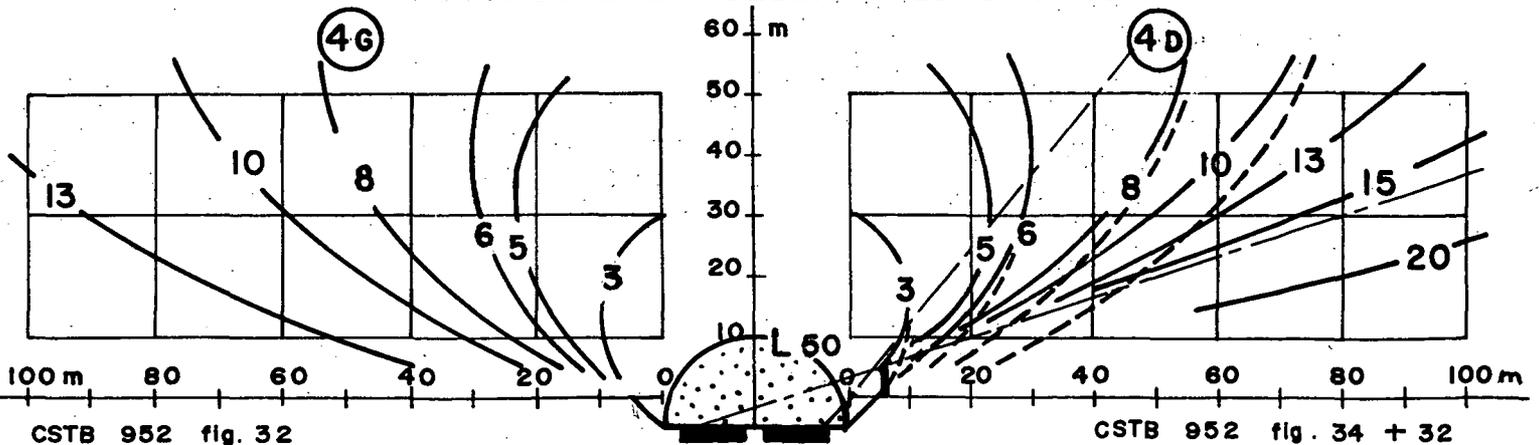
AUTOROUTE EN REMBLAI DE 5m



AUTOROUTE SUR VIADUC DE 10m



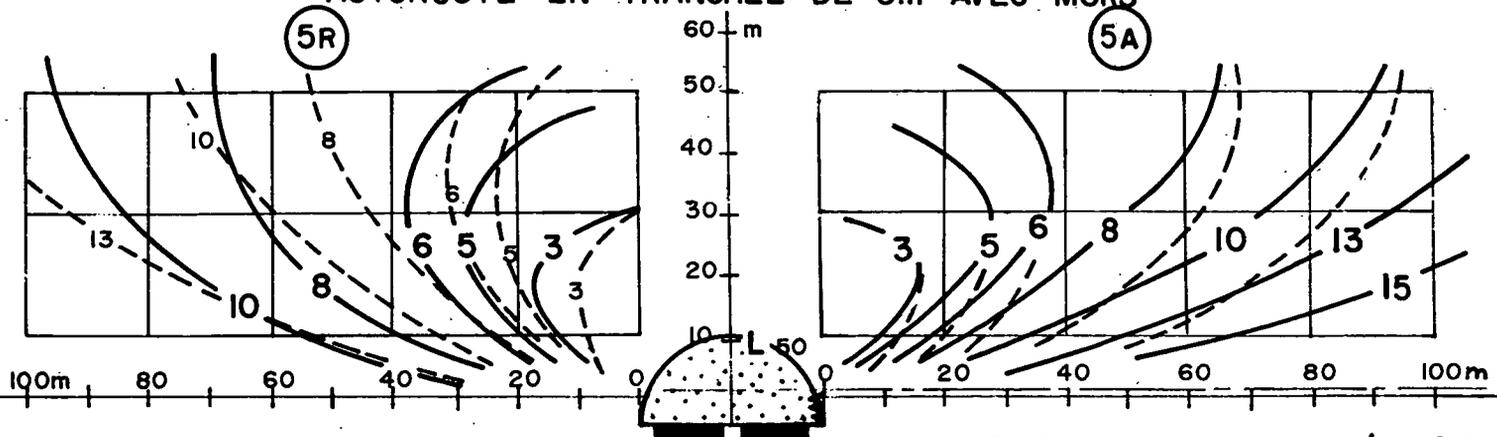
AUTOROUTE EN DEBLAI TALUTE DE 5m



ECRANS SIMPLES (REFLECHISSANTS)

ECRANS ABSORBANTS

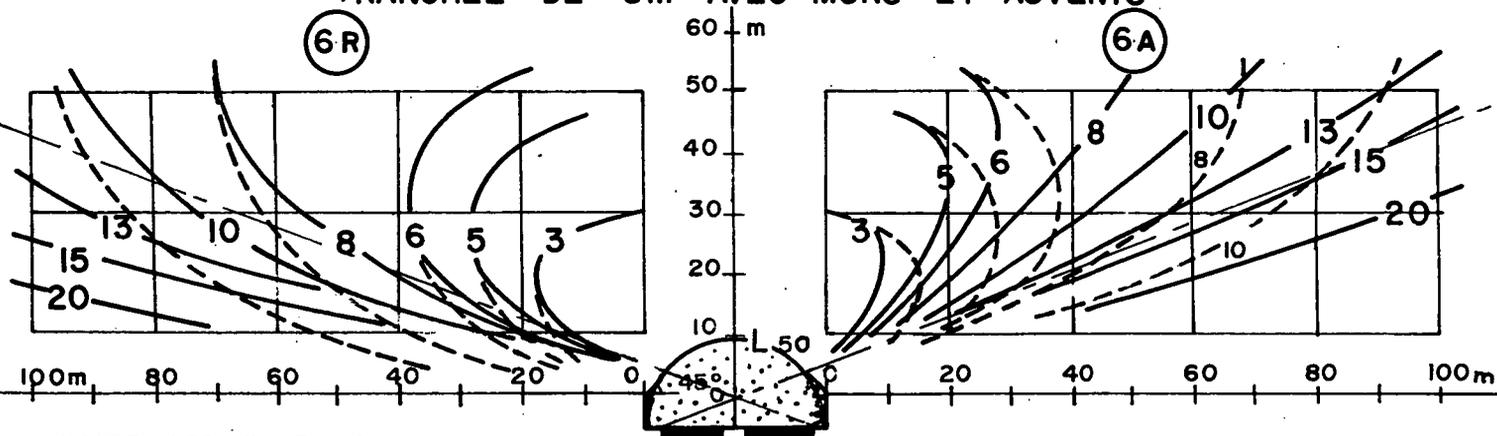
AUTOROUTE EN TRANCHEE DE 5m AVEC MURS



CSTB 952 fig. 33 (--- cf. 4 G)

CSTB 952. fig. 37 + fig. 33 (--- cf. 5 R)

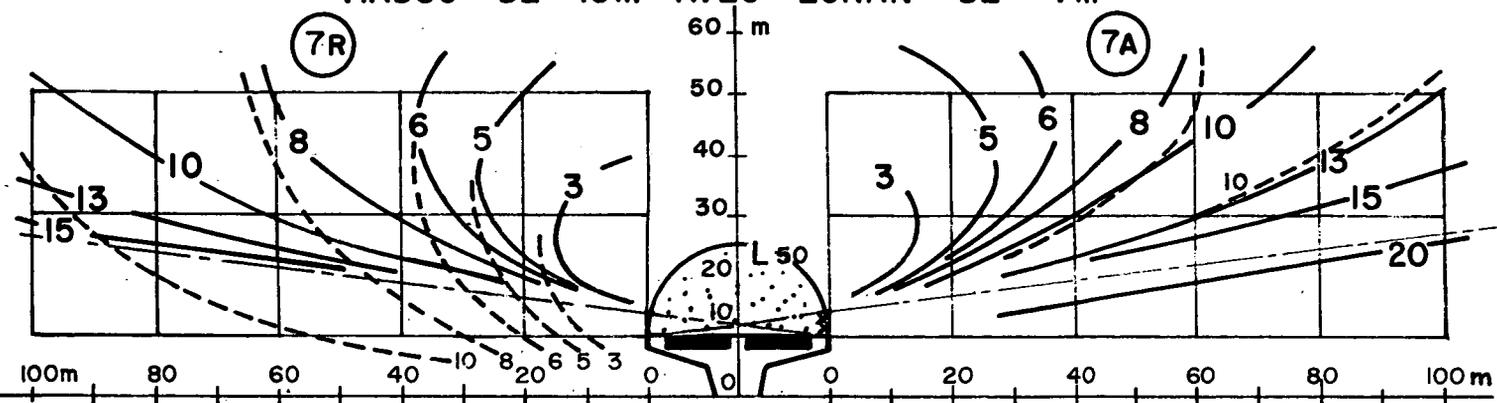
TRANCHEE DE 5m AVEC MURS ET AUVENTS



CCSTB 952 fig. 38 (---cf. 5R)

CSTB 952 fig 39 + 33 (---cf 6R)

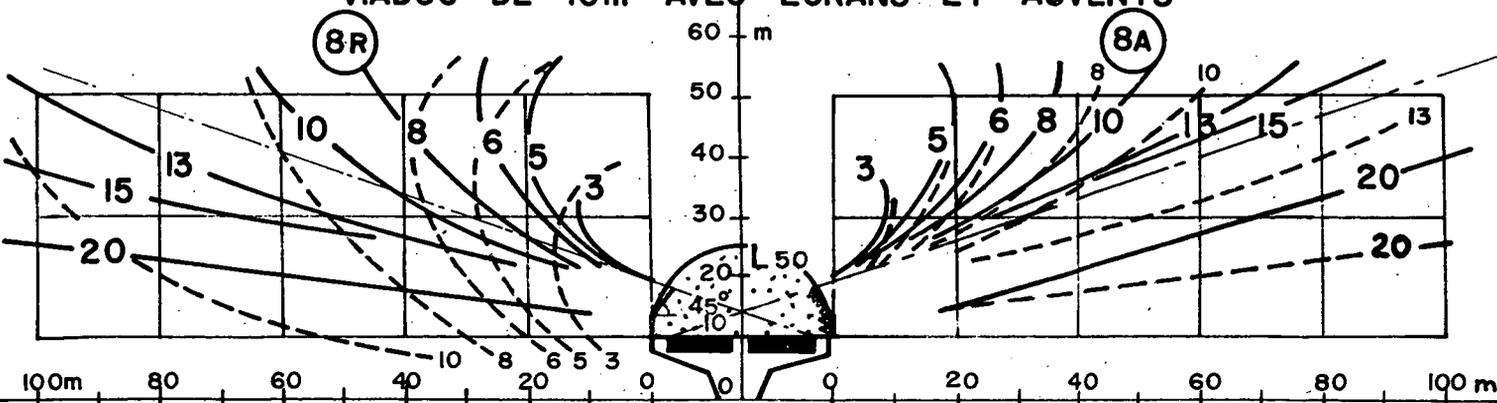
VIADUC DE 10m AVEC ECRAN DE 4m



CSTB 952 fig 11 + 6 (---cf. 3G)

CSTB 952 fig. 12 + 6 (---cf. 7R)

VIADUC DE 10m AVEC ECRANS ET AUVENTS



CSTB 952 fig. 13 + 6 (--- cf. 3G)

CSTB 952 fig. 14 + 6 (---cf. 8R)

On résume l'ensemble en disant que, pour les routes, "le son monte": il faut l'entendre par référence au dièdre de plein bruit et sans effet de sol, ni réflexions parasites multiples.

Tout l'art de la défense des fonds riverains contre le bruit d'une route consiste à refermer vers le haut le dièdre de plein bruit, aussi économiquement que possible, par des masques et des écrans qui avancent assez près et assez haut leurs arêtes de diffraction.

Enfin, en lisant une carte d'isophones (c'est-à-dire des dBA en moins par rapport à L_{50}), on n'oubliera pas que la précision acoustique de 1 ou 2 dBA se traduit par plusieurs mètres d'incertitude sur la position géométrique. On n'oubliera pas non plus que les régions proches du sol (rayon acoustique incliné de moins de 10°) sont le siège d'effets très variables susceptibles de perturber beaucoup le tracé des isophones (voir page 34).

3.2. - Diffraction du son.

Cette partie peut servir à évaluer l'atténuation qu'apporte un écran anti-bruit placé d'un seul côté d'une route.

Si, en vue directe (propagation rectiligne) l'atténuation n'est fonction que de la distance parcourue, en vue défilée (diffraction), elle n'est fonction que de la différence de marche entre trajet direct (impossible) et trajet brisé source - arête - récepteur.

Cette atténuation a fait l'objet de travaux théoriques et de compilations, qui n'ont pu dépasser les cas les plus simples (sources ponctuelles ou filiformes), mais leurs résultats ont été généralisés aux cas réels et notamment à celui des routes, sources larges et épaisses pas toujours cylindriques. Les deux méthodes les plus connues sont l'une d'origine expérimentale : c'est la loi de MAEKAWA, l'autre d'origine mathématique : c'est l'abaque de REDFEARN.

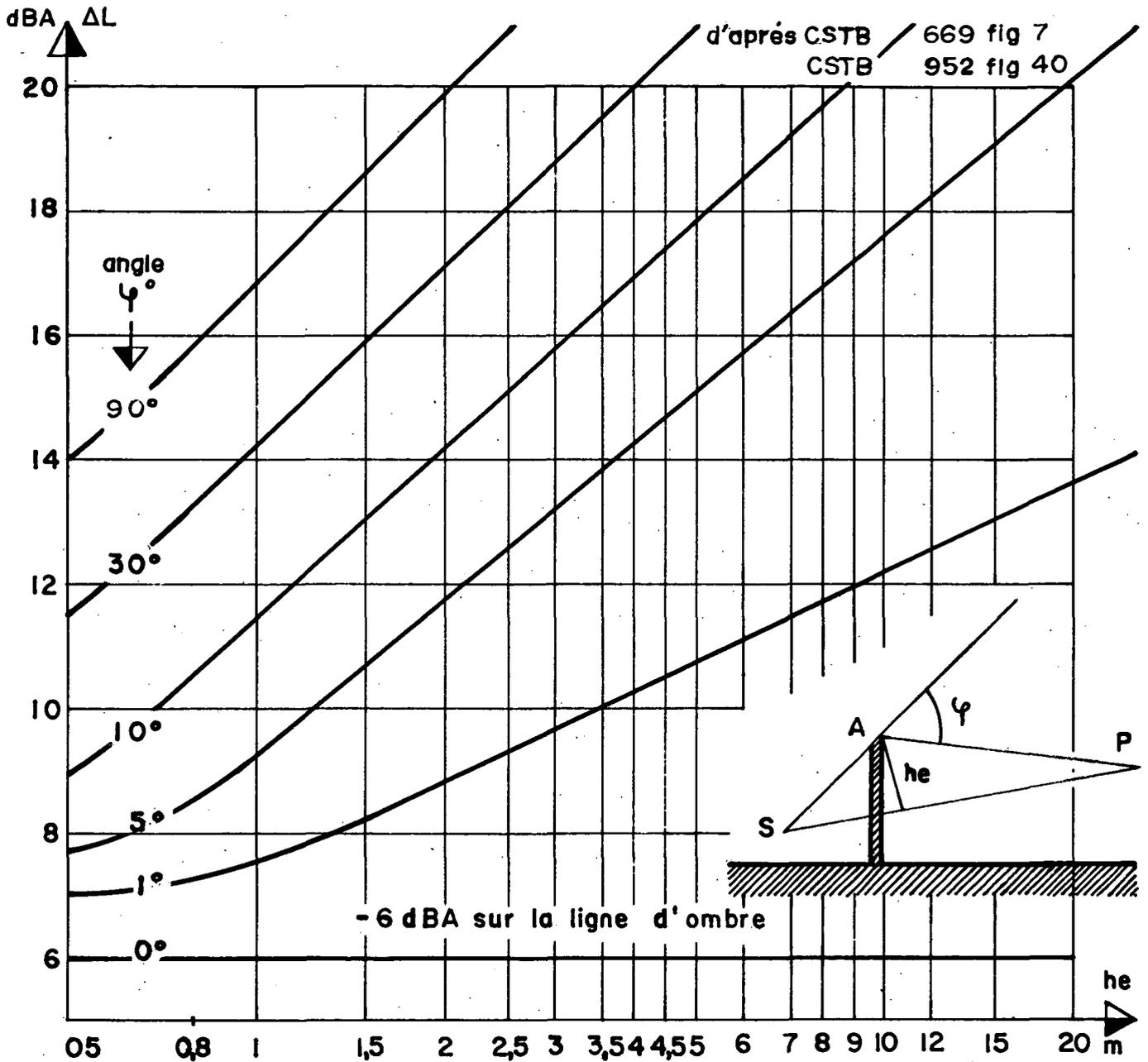
. Loi de MAEKAWA (1968). Soient S une source ponctuelle, P le point de réception, A l'arête de diffraction. Si l'on assimile l'énergie acoustique en dBA pondérée sur tout le spectre à la seule énergie de l'octave centrée sur la fréquence 500 Hz (longueur d'onde 0,66 m), l'atténuation au point P en dBA est fonction de la différence de marche S (m) = $SA + AP - SP$ comme suit :

EFFICACITE (en dBA) D'UN ECRAN PARE-BRUIT, SELON MAEKAWA

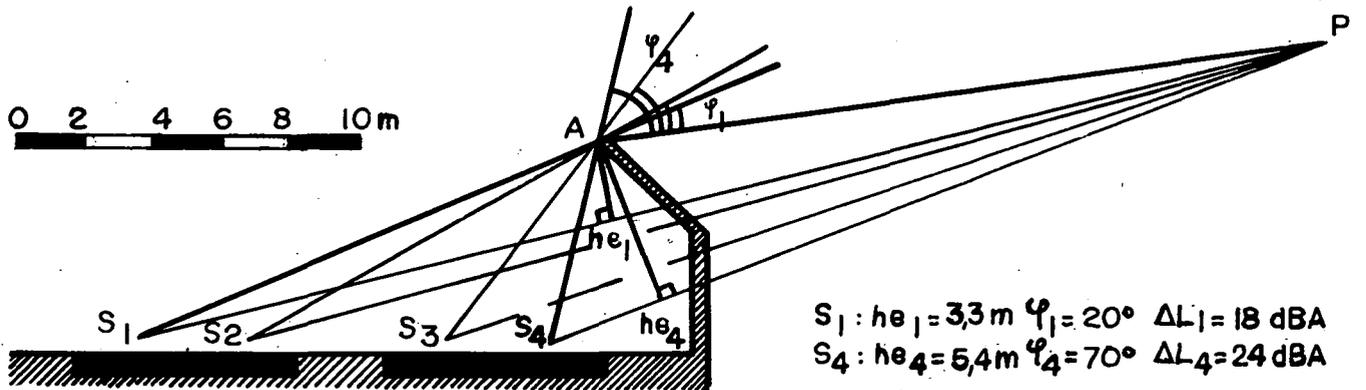
Différence de marche S (s)	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	3,0	5,0
Atténuation (dBA)	12	14	16	17	19	22	25

L'effet propre de l'écran est la différence entre l'atténuation ci-dessus et l'atténuation en distance si on avait été en vue directe (distance SP) :

AFFAIBLISSEMENT DU SON PAR DIFFRACTION (SELON REDFEARN)



CAS D'UNE SOURCE LARGE (VOIE RAPIDE URBAINE)



On combine les niveaux sonores comme indiqué au 3.3. (5°)

pour des écrans hauts de 4 m et placés à 3 m du bord de chaussée, l'efficacité propre est d'une dizaine de dBA.

. ABAQUE de REDFEARN (1940). Egalement pour une source ponctuelle, le mathématicien REDFEARN a généralisé aux ondes sphériques le calcul exact de SOMMERFELD pour les ondes planes, et en a déduit une expression de l'atténuation (en dBA) qui ne dépend que de deux paramètres géométriques : l'angle de brisure φ du trajet de diffraction, et la hauteur h du triangle de diffraction.

Cette hauteur h , improprement traduite de l'anglais comme "hauteur effective d'écran", en est plutôt la hauteur apparente, ou utile, ou efficace, pour la diffraction SAP.

Pour la fréquence de 500 Hz, REDFEARN a établi sur ces bases un abaque très commode, donné page 39, qui évite le calcul quadratique peu précis de la différence de marche S considérée par MAEKAWA, au profit d'un relevé direct de φ et de h .

Mais, appliquées aux routes urbaines en géométrie libre, l'une et l'autre méthodes appellent les mêmes réserves.

. Application aux routes des calculs de MAEKAWA ou REDFEARN

La première réserve concerne le passage de la géométrie sphérique (source ponctuelle) à la géométrie cylindrique (source filiforme). Pour une file de sources indépendantes (c'est notre cas), ce n'est guère licite, mais on ne peut mieux faire (difficulté de calcul ou de choix des paramètres). En gardant le résultat dans le plan du profil en travers, perpendiculaire à l'axe de la route et à l'écran, notons qu'on surévalue certainement le bruit moyen. Mais comme l'écran est par ailleurs plus efficace pour les plus proches véhicules, il atténue plus les crêtes de bruit qui leur sont surtout imputables. Au total, il resserre l'écart entre pointes et bruit moyen et il réduirait donc la gêne des riverains plus que ne l'indiquent les calculs ci-dessus exposés sur le seul bruit médian.

La seconde réserve est que la source sonore que représente une route urbaine même supposée cylindrique, est épaisse et large. Vus de l'arête de diffraction A , ses divers points et notamment ses diverses files de circulation conduisent à des valeurs d'atténuation par diffraction très différentes (on en donne un exemple page 39 pour l'abaque de REDFEARN). Des écarts de 5 ou 6 dBA sont courants.

3.3. - Corrections diverses.

. Effet de façade

Si l'on fait la mesure du niveau sonore à 1 ou 2 m devant une façade, et qu'on la compare à la valeur calculée ou lue sur une carte d'isophones établie en faisant abstraction de l'immeuble (celui-ci n'étant pas encore construit, notamment), la mesure en façade sera plus élevée de 3 dBA, du fait du système d'ondes stationnaires qui s'établira par réflexion sur la façade. En particulier, cet

effet est incorporé à la formule donnée en 1.3.3. pour les rues en U (ou en L) mais ne l'est pas dans les formules pour voies rapides (1.3.4.), supposées en champ libre.

. Effet d'extension finie

On a supposé que la route était une ligne indéfinie de sources sonores. Mais si, du point de réception P on ne la voit pas comme telle c'est-à-dire sous un angle de 180° , mais sous l'angle A° , le niveau sonore correspondant sera celui que donne le calcul en géométrie cylindrique indéfinie, amputé de $10 \log A/180^\circ$. Ainsi, un immeuble en épi, perpendiculaire à la route, reçoit en façade 3 dBA en moins que s'il lui était parallèle.

. Effet de rampe et de poids lourds.

La correction détaillée est donnée en 1.3.2. au moyen d'un abaque qui combine le pourcentage de rampe de la route et le pourcentage de poids lourds de sa circulation, pour les voies rapides ou les routes majeures. On peut résumer comme suit la correction sur une route majeure (sur voie rapide, la correction n'est que les 2/3, en général) :

Pour des circulations légèrement pulsées, tout doublement de pourcentage de poids lourds (P.T.C. de 3,5 t au moins) au-dessus de la valeur courante de 12,5 %, accroît de 2 à 3 dBA le niveau sonore médian, à rampe donnée du profil en long de la route. A pourcentage de P.L. donné, toute augmentation de la rampe de 1 % au-dessus d'un seuil de 2 %, l'accroît de 1 dBA environ.

. Effet de vitesse.

Dans les relations $L_{50} = A + K \log Q$, le terme A dépend de la vitesse moyenne pratiquée : 50 à 80 km/h sur voie rapide (parfois plus en banlieue), 30 à 60 km/h sur voirie traditionnelle. Les relations de référence données en 1.3.3. et 1.3.4. correspondent à ces plages de vitesse.

. Composition de deux niveaux sonores.

Si en un point, on calcule un niveau sonore L_1 pour une portion de route (par exemple en remblai, vue sous l'angle θ_1) et un niveau sonore L_2 pour une autre portion de la route (par exemple en déblai, vue sous l'angle θ_2), le niveau sonore résultant L est le plus grand des deux niveaux L_1 et L_2 , majoré, quand l'écart entre les niveaux n'est pas trop important, d'un certain nombre de dBA (au plus 3) en fonction de cet écart, selon le tableau suivant :

écart	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
majoration	3	2,5	2		1,5		1			0,5	

Cette opération qui exprime l'addition des énergies acoustiques est évidemment associative.

1er exemple : $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = 60$ dBA

L résultant = 66 dBA (6 dBA expriment en effet le quadruplement de l'énergie).

.../...

2e exemple : $L_1 = 66$ dBA $L_2 = 60$ dBA

L résultant = 67 dBA.

3.4. - Périmètre de nuisance.

3.4.1. Cas le plus courant

On définit le périmètre de nuisance sonore d'une route urbaine pour une gêne donnée dans un plan donné parallèle au sol (très généralement horizontal en ville), comme la courbe d'égale intensité sonore correspondant à ce seuil de gêne, c'est-à-dire comme l'isophone ayant pour niveau sonore la somme de ce seuil de gêne et de l'isolement acoustique de façade escompté. Il y a donc autant de périmètres que de combinaisons des trois paramètres principaux : hauteur au-dessus du sol - seuil de gêne - isolement de façade. En pratique, on peut proposer une seule hauteur-type : 10 m, qui correspond aux immeubles de 3 ou 4 niveaux et fait frontière entre habitat collectif et individuel. On peut aussi se borner à deux types d'activités dans les locaux : habitat diurne calme ou activité tertiaire courante. On peut enfin se limiter à trois options d'isolation des façades : fenêtres entrebaillées, fenêtres ordinaires fermées, vitrages doubles scellés, ce qui ramène à 4 ou 6 les périmètres de nuisance à considérer.

Toutefois, repérer la gêne par la valeur en dBA du niveau acoustique qui l'induit est loin d'être satisfaisant pour un phénomène psychosociologique. Non seulement deux niveaux de même valeur mais appliqués par des sons de spectre de fréquence différents, sur des durées ou à des époques différentes, peuvent produire des réactions de gêne différentes (voir chapitre 4) mais aussi peuvent intervenir : la catégorie socio-professionnelle, le passé des sujets, l'impression qu'ils ont de subir sans remède ou de pouvoir fuir le bruit, voire en profiter, etc... De sorte que le nombre de dBA n'est pas un repère parfait de la gêne, même s'il est le seul pratique.

Des enquêtes, plaintes et observations faites en France (1) comme à l'étranger, on a pu déduire, avec un bon accord international, trois "zones" successives de la sensibilité des riverains au bruit moyen des routes en fonction du niveau de bruit L_{50} mesuré à 2 m en avant des façades :

- vers 48 - 53 dBA une certaine gêne commence à être ressentie à l'extérieur,
- vers 63 - 68 dBA c'est le tour de la vie d'intérieur (il faut fermer les fenêtres, parfois insonoriser). Mais cela dépend beaucoup de la disposition intérieure du logement et de son orientation (simple ou double exposition) et de la zone où il se trouve (centre ville, périphérie, zone rurale).
- au-dessus de 73 dBA, une forte gêne est quasi unanimement ressentie.

(1) Lors d'une enquête en région parisienne, sur 400 familles environ, un questionnaire comportait 15 questions sur la gêne sonore des voies rapides. Les réponses défavorables à la route express ont été au nombre de 3 sur 15 tant que le niveau mesuré à 2 m en avant de la façade n'excédait pas 63 dBA, et de plus de 10 sur 15 quand il excédait 73 dBA (voir C.S.T.B. 762).

3.4.2. Cas des géométries non cylindriques

Si le profil en travers présente des discontinuités, par exemple débouché de tunnel, de tranchée couverte ou ouverte assez encaissée, la distribution du bruit n'est plus cylindrique et il faut modifier la méthode des isophones exposée en 3.1. : elle ne sera plus appliquée en profil en travers mais dans des plans parallèles aux chaussées (et au sol).

On retrouve ainsi dans les trois dimensions les surfaces isophones (au lieu des périmètres), plus difficiles à représenter sur plans et plus coûteuses à déterminer (mesures sur site ou sur maquettes).

Dans le cas d'un débouché de tunnel, le niveau sonore dépend notablement des propriétés absorbantes ou réverbérantes de ses parois et cet aspect du revêtement des tunnels urbains prend de l'importance.

-0-0-0-0-0-

CHAPITRE 4

GENE DES ACTIVITES HUMAINES PAR LE BRUIT DE LA CIRCULATION

4.1. - Indices de bruit des routes et des aéroports.

Les sources de bruit les plus fréquemment citées comme gênantes par les citadins sont la circulation routière et les aéroports.

Chacune de ces sources a donné lieu à de nombreuses études pour définir des indices de bruit représentatifs. Ils n'ont guère en commun que leur "unité": le décibel, mais pour les routes c'est le décibel A (pondéré sur le spectre des fréquences) et pour les aérodromes, c'est le PNdB (Perceived Noise Decibel). Le niveau en PNdB d'un bruit d'avion est, selon la norme ISO R 507 le niveau en décibels d'un bruit très riche en fréquence de 1 000 Hz et produisant sur l'homme la même impression. Par rapport au niveau exprimé en dBA, le niveau en PNdB est supérieur de 9 à 14 décibels. Quant aux divers indices, routiers ou aéronautiques, qui emploient dBA ou PNdB, les plus courants sont présentés à l'annexe 1.

En France, le niveau sonore des routes est repéré par le niveau médian L₅₀, atteint ou dépassé la moitié du temps d'observation. D'autres pays penchent pour le L₁₀, valeur de crête dépassée 10 % du temps, ou pour un indice énergétique global dit Leq (niveau équivalent), etc... Tous ces indices n'ont pas de meilleure corrélation avec la gêne que L₅₀, qui est le seul à jouir d'une définition simple, d'une mesure commode et d'une signification claire, sans compter sa relation bien établie avec le débit Q.

Pour le niveau sonore aux abords des aérodromes, la Commission du Bruit du Ministère des Affaires Sociales a adopté en France l'indice isopsophonique N relié au bruit de pointe moyen L_c (selon les types d'avions) et au nombre journalier de mouvements n par :

$$N \text{ (dB)} = L_c \text{ (PNdB)} + 10 \log n \text{ (avion/jour)} - 34$$

Dans les autres pays on trouve soit des indices de formulation très proche, (Etats-Unis, Grande-Bretagne), soit une valeur calculée équivalente (niveau constant ayant le même effet que le niveau variable réel) qui correspond à l'énergie acoustique globale : c'est l'indice \bar{Q} (dit "de dérangement" Allemagne).

Pour l'étude des P.O.S. (Plans d'occupation des Sols), on pourrait se demander s'il existe une équivalence entre l'indice aéronautique N et l'indice routier L₅₀. C'est évidemment exclu dès la définition physique même des indices, mais ce l'est encore plus au niveau psychologique de la gêne ressentie : comment comparer un bruit d'aérodrome essentiellement discontinu et riche en aigus, qui se répand librement à partir d'une source ponctuelle élevée au-dessus du sol et rapidement mobile, avec le bruit d'une route, essentiellement continu et riche en graves, qui provient selon des directions imposées, d'une source linéaire permanente et fixe ?

Enfin on n'oubliera pas que la commodité de langage qui consiste à repérer la gêne, effet psychologique, par l'indice de bruit, mesure physique de sa cause, peut être une mauvaise habitude. Dire que X dBA est un seuil de gêne non seulement n'est pas toujours vrai mais passe sous silence des paramètres humains encore plus essentiels que les fréquences, paramètres physiques escamotés par l'emploi des dBA.

4.2. - Evaluation de la gêne due au bruit.

4.2.1. Seuils de gêne.

Le bruit est un phénomène subjectif, et comme tel, il n'existe aucune mesure objective tout à fait satisfaisante de ses effets, et notamment de la gêne qu'il développe chez ceux qui le subissent. En effet, un même bruit physiquement bien défini (en fréquence, niveau, durée) détermine chez les sujets exposés des perceptions psychologiques différentes et surtout des réactions psychologiques variées. La variabilité de ces réactions ne laisse espérer, au mieux, que des corrélations satisfaisantes (au sens de la statistique) entre elles et la description physique du bruit qui les provoque, description qui n'est déjà pas simple en soi.

En d'autres termes, il y a une part d'arbitraire irréductible à repérer la gêne due au bruit par un niveau quelconque de son énergie acoustique. L'ingénieur y échappera d'autant moins que, s'il entrevoit un moyen de repérer un bruit qui devient gênant, parce qu'il sait justement que le bruit est un ensemble de sons mesurables, il oubliera souvent que le psychisme de l'homme qui le subit se prête moins à la mesure.

Ce moyen, c'est le seuil de gêne du niveau sonore appliqué, c'est-à-dire le niveau à partir duquel, dans l'activité humaine considérée, on observe qu'une certaine proportion des sujets exposés sont gênés (de quelques pour-cent à 20 %, selon la nature de l'activité).

Ces seuils de gêne sont recherchés au moyen de corrélations entre un indice psychologique de gêne et le niveau moyen du bruit L, notamment en France au C.S.T.B. mais aussi en Angleterre, U.R.S.S., Suède, Suisse, etc... Leur expression en dBA ne doit pas masquer leur composante psychologique essentielle, de sorte que ces valeurs ne sont pas indépendantes du contexte social et humain auquel elles s'appliquent. Les comparaisons internationales peuvent donc être parfois délicates, mais, dans les pays européens de mode de vie comparable, on trouve un bon accord pour les valeurs du tableau ci-contre :

.../...

SEUILS DE GENE DE QUELQUES ACTIVITES HUMAINES

Situation considérée	Seuil de gêne (dBA)
Silence nocturne	30
Silence diurne	40
Pièce de séjour	45
Bureau ou salle d'étude	50
Local commercial	55 - 65

On en déduit des "niveaux sonores admissibles en façade" en ajoutant l'isolement acoustique de façade (voir ci-après et en 5.1.4.).

4.2.2. Basses fréquences et vibrations transmises par le sol

Pour mesurer en dBA les bruits aériens, le sonomètre muni de la courbe de calibrage A atténuée - comme l'oreille - assez considérablement les basses fréquences. Mais il peut arriver que ces dernières soient temporairement et exceptionnellement abondantes (par exemple : voitures de sport ou grosses motos soumises à des accélérations violentes et répétées). Le sentiment de gêne qui en résulte se rattache difficilement à L_{50} (dBA), indice qui atténue les sons graves, alors qu'on est ici sur deux octaves basses : de 15 à 60 Hz en général.

De même, il peut arriver que la circulation entraîne des vibrations mécaniques de la route et des bâtiments riverains, par exemple des trépidations au passage d'engins lourds. Certaines protestations, notamment au passage du métro dans les tréfonds d'immeubles, mais aussi aux abords de certains chantiers urbains, attestent la gêne de ces phénomènes, sans qu'elle soit pour l'instant, vraiment mesurable (fréquences : 10 à 30 Hz).

Sans contester la réalité de ces excès de basses fréquences aériennes ou de vibrations dans les bâtiments, l'ingénieur n'est donc pas encore à même de les prendre en compte convenablement.

.../...

4.3. - Prise en compte de la gêne.

Pour une activité riveraine, le seuil de gêne est défini comme le niveau maximal admis dans les locaux. Pour la route de trafic J, le bruit émis est défini par le niveau L₅₀ de l'isophone zéro.

L'une et l'autre sont compatibles s'il existe ou si l'on peut mettre en place entre elles, le plus économiquement possible, des moyens pour atténuer le bruit, de route à façade (éloignement) ou de façade à local (isolation acoustique), de façon que la somme des atténuations couvre au moins l'écart entre le niveau émis par la route et le niveau admis dans le local.

Un énoncé aussi général n'est applicable qu'en précisant la plupart des paramètres qu'il sous-entend et en limitant l'ajustement à un ou deux, sur lesquels on puisse encore agir. C'est l'objet du chapitre suivant de le faire, et l'on se bornera à donner ici, à titre indicatif les ordres de grandeur des atténuations usuelles :

QUELQUES ATTENUATIONS USUELLES DU BRUIT

Action sur la transmission du bruit	Atténuation (dBA)
écran pare-bruit	9 à 12
distance (à 25 m du bord de la chaussée)	4
fenêtre ordinaire ouverte	7
fenêtre ordinaire entrebaïllée	12
fenêtre ordinaire fermée	22
fenêtre fermée et calfeutrée	27
doubles vitrages scellés, écartés de 5 cm	31 à 37
mur aveugle léger (150 kg/m ²)	40
mur aveugle lourd (300 kg/m ²)	50

CHAPITRE 5
COMPATIBILITE ENTRE ROUTE URBAINE ET ZONE TRAVERSE
DIRECTIVES D'ETUDE

5.0. - Principe de compatibilité. Limites et mise en oeuvre.

Si un local abrite une activité humaine qui admet un seuil de gêne (voir 4.2.1.), derrière une façade qui offre une certaine isolation acoustique (voir 5.4.0.), il en résulte un niveau sonore maximal admissible en façade. Si, à proximité, se trouve une route dont le trafic et la géométrie déterminent une isophone zéro (voir 1.3. et 2.3.) et des isophones de propagation (voir 3.1.2.), il en résulte aussi un certain niveau sonore en façade.

La route et la zone urbaine sont compatibles si le niveau sonore venu de la route n'excède pas le niveau sonore souhaité pour le local, et, plus précisément, si la somme des atténuations (de part de d'autre de la façade) du bruit entre la route et le local couvre l'écart entre le niveau admis dans celui-ci et le niveau émis par celle-là.

Cet énoncé repose sur une quadruple "normalisation" qui lui apporte donc quatre limitations :

- à la source, le niveau médian de bruit L₅₀ exclut l'effet des crêtes (pointes sonores) et de leur répétition et répartition dans le temps ;
- à la réception, les seuils de gêne des activités humaines sont des fictions statistiques (comportement d'un "sujet moyen") et excluent, en outre, certaines modalités de "mise en bruit" (par exemple, l'accoutumance progressive au cours des années...),
- à la transmission, les modalités-types de propagation et d'atténuation du son (cartes d'isophones, isolation acoustique des façades) sont imposées par les nécessités pratiques des projets, mais nous limitent aux valeurs moyennes, bien que nous sachions que des écarts apparaîtront, au moment des réalisations, du fait notamment de progrès probables que nous ne pouvons dès à présent tenir pour acquis ;
- en matière d'horaire : le débit représentatif de la circulation que nous avons choisi (j/17, débit horaire atteint ou dépassé 6 h par jour) est, certes, très significatif. Associé au niveau L₅₀ (J/17), il permet de bien repérer un bruit atteint ou dépassé environ 3 h par jour soit un peu plus de 12 % du temps total. Mais ce n'est cependant qu'une convention qui peut dans quelques cas, ne pas convenir à des études particulières.

Ces quatre séries d'option (régularité du bruit émis, seuils représentatifs de la gêne, atténuations de propagation, période de temps d'observation) sont matière à discussion et les chapitres 0 à 4 ont procédé à cette discussion. La "normalisation" a consisté à faire des choix au terme de cet examen, et dans le chapitre 5 on considère ces choix comme faits.

Enfin le principe de compatibilité entre route et zone urbaine peut se mettre en oeuvre à cinq niveaux d'action :

- l'action sur les véhicules (bruit autorisé individuellement) ;
- l'action sur la circulation (fluidité du trafic) ;
- l'action sur la route (constitution des ouvrages) ;
- l'action sur les bâtiments (aménagement, insonorisation) ;
- l'action sur l'occupation des sols (usage et implantation des bâtiments).

Selon les cas, ces différents niveaux d'action mettent en jeu : l'industrie (fabrication des véhicules), les maîtres d'ouvrage (entrepreneurs et exploitants des routes, constructeurs de bâtiments) et leurs maîtres d'ouvrages techniques, ainsi que, d'une manière générale, le pouvoir réglementaire (sur les véhicules, la circulation, la construction ou l'urbanisme).

Bien que le présent guide s'adresse surtout aux maîtres d'oeuvre techniques de la route, il a semblé utile de situer leurs possibilités propres d'intervention dans l'ensemble des actions qui sont analysées ci-après.

5.1. - Action sur les véhicules (pour information).

5.1.0. Diverses origines du bruit de la circulation

Un véhicule en mouvement présente quatre sources principales de bruit : au niveau du moteur (culbuterie, engrenages) bruit riche en hautes fréquences ; à l'admission et surtout à l'échappement, bruit riche en basses fréquences ; au contact pneu-chaussée, composante majeure du bruit de fond ; enfin dans la transmission et au niveau du ventilateur, selon le type de véhicules.

La première mesure contre le bruit de la circulation urbaine a été l'interdiction d'user (et d'abuser) des avertisseurs sonores (PARIS, 1959)

L'action des autorités et les efforts des constructeurs se sont ensuite et surtout portés sur les bruits d'admission et d'échappement, et aujourd'hui, une politique plus globale se dessine, qui vise à long terme (10 ans) un abaissement notable des niveaux sonores des véhicules, en s'attaquant à leurs bruits de toute origine.

Pour le moment, il s'agit d'abord des véhicules neufs, sortant d'usine, c'est-à-dire d'imposer aux constructeurs des normes de fabrication de plus en plus sévères. Mais un autre volet de la lutte concerne les véhicules déjà en service et est du ressort de la police. Depuis 1969, à LAUSANNE, une Brigade Anti-Bruit procède au dépistage des véhicules bruyants et à leur remise en état d'office. Au début de 1972, la création en France d'une trentaine de brigades semblables va dans le même sens.

...//...

L'âge rend en effet les véhicules plus bruyants (perte d'efficacité des silencieux notamment, voire détérioration). Les allemands ont noté que le niveau sonore d'un véhicule restait celui de sa sortie d'usine pendant les 3 premières années, puis qu'il croissait de 3 dBA pendant les 3 suivantes et n'évoluait plus guère après. La "police du bruit" doit donc prolonger l'effort des fabricants (véhicules et accessoires) par la surveillance des usagers (contrôle, remise au niveau admissible).

Que ce soit à l'usine ou dans la rue, la tendance depuis une douzaine d'années va vers des niveaux maximaux définis avec une précision croissante et constamment révisés en baisse, dans un cadre de plus en plus international.

5.1.1. Législation française

Le Code de la Route consacre son article R 70 à l'obligation d'un silencieux d'échappement, afin que les véhicules n'émettent pas de bruit susceptibles de causer une gêne aux usagers de la route ou aux riverains.

Après l'arrêté du 25 Octobre 1962, l'arrêté interministériel du 13 Avril 1972 relatif au bruit des véhicules fixe les niveaux maximaux admissibles pour les divers types de véhicules, dans les conditions de mesure précisées dans un cahier des charges en annexe : sonomètre à 7,5 m de l'axe du véhicule et 1,2 m au-dessus du sol, véhicule en pleine accélération, sur un rapport intermédiaire (2e ou 3e) sans que la vitesse initiale excède 50 km/h. Ces conditions sont supposées représentatives de la conduite normale en ville (démarrage au feu vert notamment) et ont été reprises par la Communauté Economique Européenne et par les Nations Unies.

Les niveaux sonores des véhicules à moteur, mesurés lors de la réception par type ou à titre isolé, selon cette procédure (I.S.O. R 362), ne devront pas, à un dBA près, excéder les valeurs suivantes :

BRUIT MAXIMAL ADMISSIBLE (en dBA) selon I.S.O R 362

TYPE DE VEHICULE	Niveau maximal (dBA)
Cyclomoteurs	73
Vélocycleurs et assimilés	80
Voitures particulières et dérivés	82
Motocyclettes et motocycleurs	84
Utilitaires légers (moins de 3,5 t de P.T.A.C.)	84
Utilitaires lourds (plus de 3,5 t de P.T.A.C.)	89
Véhicules de grande puissance (plus de 200 ch)	91

Enfin, et c'est une nouveauté, l'arrêté vise les silencieux d'admission et d'échappement : qualité des matériaux fibreux utilisés, maintien en bon état ou remplacement, interdiction de les modifier pour aggraver le bruit au lieu de le réduire.

5.1.2. Réglementation Européenne et Accord des Nations Unies

Les niveaux maximaux ci-dessous ont été fixés :

BRUIT MAXIMAL ADMISSIBLE (en dBA) selon I.S.O R 362

TYPE DE VEHICULE	Communauté Européenne CEE 70/157 du 6/2/1970	Nation Unies Commission Economique pour l'Europe Mars 1968
Cyclomoteurs	-	82
Vélocycle et assimilés	-	84
Voitures particulières et dérivés	82	84
Utilitaires légers (moins de 3,5 t de P.T.A.C.)	84	85
Motocyclettes et motoculteurs	-	86
Utilitaires lourds (plus de 3,5 t de P.T.A.C.)	89	89
Véhicules de grande puissance (plus de 200 ch)	91	92

Ces plafonds de bruit s'imposent à tous les véhicules produits en Europe, soit dans un des six états membres de la Communauté Européenne, soit dans les autres pays européens membres des Nations Unies, et ils sont mesurés selon la norme I.S.O. R 362.

~~Les niveaux indiqués ne doivent pas être dépassés y compris un décibel A de tolérance. L'arrêté français est conforme à la Directive Communautaire CEE 70-157, et plus sévère que la Recommandation des Nations Unies (notamment pour les Deux-Roues).~~

5.1.3. Avenir prévisible

Une récente étude anglaise (Road Research Laboratory, Report LR 357, 1970) a déterminé le niveau sonore de 80 % des véhicules existants (à l'exclusion des 10 % les plus et les moins bruyants), tant dans les conditions mêmes de l'essai normalisé en accélération ISO/ R 362, qu'en croisière à vitesse constante (45 km/h). Les résultats sont :

.../...

NIVEAU SONORE EFFECTIF (en dBA) de 80 % DES VEHICULES EN SERVICE
(EN GRANDE-BRETAGNE EN 1970)

	en accélération normalisée ISO/R 362	à vitesse constante 45 km/h
Motocyclette	-	72-83
Petites voitures (jusqu'à 1 600 cm ³)	77-83	67-75
Grosses voitures (plus de 1 600 cm ³)	80-82	68-77
Utilitaires légers (moins de 3,5 t)	79-91	69-77
Utilitaires lourds (plus de 3,5 t)	88-92	76-86
Autobus	-	80-85

Ce tableau confirme que l'essai ISO en accélération est plus bruyant de quelque 10 dBA que la circulation fluide à vitesse constante. Il montre ensuite que 80 % + 10 % = 90 % au moins des véhicules en service y satisfont (Cf. les tableaux 5.1.1. et 5.1.2.). Il montre enfin que le bruit d'une motocyclette en accélération ISO équivaut à celui de 5 V.L. et celui d'un véhicule utilitaire, selon son P.T.C., à celui de 3 à 10 V.L.

Des mesures faites par l'I.R.T. (Institut de Recherches sur les Transports) ont constaté le même écart sonore entre voitures en 3e croisière (50 km/h) : 65 à 75 dBA et en 2e accélérée : 75 à 85 dBA.

De tout cela on peut conclure que la lutte contre le bruit de la circulation passe par une action soutenue à la source même, sur les véhicules et que celle-ci comporte deux étapes : d'abord, réduire l'écart entre les plus bruyants (10 % des V.L., 12 % des P.L.) et la grande masse qui fonctionne entre 70 et 80 dBA. Ensuite, diminuer le niveau général, une fois éliminés les véhicules qui s'en écartaient (action sur le niveau moyen après résorption des crêtes sonores).

La France a entrepris dans ce sens des études à long terme, qui devraient se concrétiser pour 1980 par des abaissements substantiels des niveaux sonores, acquis selon un programme "Recherche et Développement" qui doit être déterminé avant la fin de 1972.

La voie réaliste passe par l'amélioration des véhicules dans leur architecture traditionnelle, et notamment avec les moteurs qu'on leur connaît aujourd'hui, le débouché industriel de moteurs de conception différente n'étant pas prévisible pour la présente décennie, alors que celle-ci va voir doubler le nombre de véhicules en service. On peut, dès lors, donner quelques indications sur les améliorations possibles, voire probables, dans le cadre des techniques actuelles.

Pour les bruits du moteur, on peut s'attendre à des progrès sur les moteurs d'aujourd'hui par : équilibrage dynamique, insonorisation des culbuteries et pignoneries mais aussi des flancs, des carters, voire des parois du compartiment

moteur, amélioration des dispositifs de distribution et d'alimentation, voire dessin nouveau des chambres de combustion... Ces perfectionnements des moteurs des types utilisés aujourd'hui ne sont pas tous également coûteux et permettraient des gains de bruit pour tous les véhicules, mais surtout pour les véhicules utilitaires, longtemps négligés dans ce domaine. Il devrait en résulter rapidement un resserrement des niveaux sonores du parc de véhicules. L'abaissement du régime de rotation, à puissance inchangée, exige en contrepartie un accroissement de la cylindrée jusqu'à présent peu encouragé par la fiscalité, mais susceptible de faire gagner 1 dBA par 10% de réduction du nombre de t/mn, voire plus pour les moteurs à huile lourde (Diesel).

Pour les bruits d'admission et d'échappement, il est certain que les dispositifs dits "silencieux" ont fait l'objet d'améliorations, ces dernières années, de sorte que cette source de bruit pour les véhicules à l'arrêt n'est plus maintenant la plus importante, mais se situe après le bruit propre du moteur. Un nouveau gain de décibels représenterait un effort notable, disent les constructeurs, au niveau des véhicules neufs. Quant aux véhicules en service l'arrêté du 13.04.1972 (voir 5.1.1.) marque pour la première fois le souci d'assurer aux silencieux une efficacité durable, à la fois par une longévité suffisante de ces équipements et par une obligation de les maintenir en état d'atténuer le bruit conformément aux conditions d'homologation. Dans le cas des deux-roues, enfin, on connaît d'ores et déjà des silencieux plus efficaces et, évidemment, plus lourds et plus chers, mais ils ne devraient pas tarder à se généraliser surtout en se souvenant qu'un seul deux-roues fait autant de bruit, dans la situation présente, que 4 ou 5 voitures particulières. Il y a là aussi une action à court terme pour homogénéiser le parc au regard du bruit, en faisant rentrer dans le rang les véhicules plus bruyants qui s'en écartent.

Pour le bruit au contact pneu-chaussée, prépondérant en circulation continue et fluide (véhicules lancés sur voie rapide urbaine), on peut indiquer que la valeur médiane du niveau sonore mesuré à 7,5 m pour des voitures lancées, moteur coupé, sur route en très bon état est de 66 dBA à 50 km/h (72 dBA à 80 km/h). Sur pavés ou route mouillée le bruit augmente nettement. Les fabricants de pneumatiques s'efforcent de rendre les pneus plus sûrs, mais leur bruit varie selon les modèles, sans qu'on puisse dire qu'il augmente avec l'adhérence : en s'usant, au contraire, les pneus deviennent plus bruyants. Il y a là d'ailleurs, pour les bandages de poids lourds, matière à action à court terme : quand les pneus de poids lourds s'usent, ils émettent un sifflement caractéristique, dû à la formation de petites "ventouses" qui claquent au contact de la chaussée, et on devrait pouvoir contrarier cet effet par un dessin adéquat des sculptures.

Pour le bruit de la transmission et du ventilateur, et plus généralement de tous les auxiliaires externes du moteur, l'étude acoustique de ces systèmes devrait permettre une diminution de leur bruit. C'est déjà en partie le cas pour le dessin des pales de ventilateur. Mais pour la transmission, seule la généralisation des systèmes automatiques, elle aussi peu encouragée par la fiscalité, permettrait des gains notables, en réduisant le nombre d'accéléérations nécessaires.

C'est sur la base d'analyses technico-économiques de ce type que le Royaume-Uni, par exemple, a décidé de ramener entre Avril et Octobre 1973, les niveaux sonores maximaux admissibles pour les véhicules neufs de 84 à 80 dBA pour les voitures particulières, 85 à 82 dBA pour les utilitaires légers et 89 à 86 dBA pour les utilitaires lourds.

Il va sans dire, toutefois, que ces efforts doivent être coordonnés de manière internationale, ne serait-ce que pour harmoniser les conditions de concurrence des industries automobiles des divers pays, et en particulier, l'O.C.D.E. (Organisation de Coopération et de Développement Economique) se soucie de très près de l'évolution des idées et des progrès en la matière.

5.2. - Action sur l'exploitation de la route.

5.2.1. Dispositions réglementaires concernant la circulation urbaine

Les maires, et pour la Ville de Paris le Préfet de Police détiennent les pouvoirs nécessaires pour réglementer la circulation sur les routes urbaines en application de l'article R 225 du Code de la Route et de l'Article 98 du Code d'Administration Communale.

. Code de la Route, article R 225 : Les dispositions du Code de la Route ne font pas obstacle au droit, conféré par les lois et règlements aux préfets et aux maires, de prescrire, dans les limites de leurs pouvoirs, et lorsque l'intérêt de la sécurité ou de l'ordre public l'exige, des mesures plus rigoureuses que celles qu'édicte le Code de la Route.

. Code d'Administration Communale (loi 66-407 du 18 Juin 1966), article 98 modifié par le Décret 71-606 du 20 Juillet 1971, article 1 : Le maire a la police des routes nationales et départementales, et des voies de communication à l'intérieur des agglomérations, mais seulement en ce qui touche à la circulation sur les dites voies et sous réserve des pouvoirs dévolus au préfet sur les routes à grande circulation.

Le maire (et pour Paris, le Préfet de Police) peut, par arrêté motivé, eu égard aux nécessités de la circulation :

1°) Interdire à certaines heures l'accès de certaines voies de l'agglomération ou de certaines portions de voie, ou réserver cet accès à certaines heures, à diverses catégories d'usagers ou de véhicules ;

2°) Réglementer l'arrêt et le stationnement des véhicules ou de certaines catégories d'entre eux, ainsi que la desserte des immeubles riverains.

Le maire (et pour Paris, le Préfet de Police) peut, par arrêté motivé :

3°) Instituer à titre permanent ou provisoire, pour les véhicules affectés à un service public et pour les besoins exclusifs de ce service des stationnements réservés sur les voies publiques.

4°) Réserver des emplacements sur ces mêmes voies pour faciliter la circulation et le stationnement des transports publics de voyageurs et des taxis.

. Circulaires interministérielles Equipement/Intérieur 71-230 du 16 Avril 1971 et du 16 Mai 1972.

Après avoir défini le quadruple but d'un plan de circulation (mieux écouler le trafic, améliorer le fonctionnement des transports en commun, organiser

.../...

le stationnement, protéger les piétons), cette circulaire examine les études et les équipements qu'il exige (signalisations au sol, verticale et lumineuse). Après un rappel du rôle du maire en la matière (à l'exclusion de la Ville de Paris), la circulaire traite enfin des modalités de financement.

Assurément cette circulaire vise à régler la circulation et mieux exploiter la voirie, sans mentionner explicitement le bruit qui résulte du trafic, mais il n'est pas interdit pour autant de s'appuyer sur ses directives et sur les plans de circulation pour chercher à réduire la nuisance sonore du trafic, en particulier en interdisant à certaines catégories de véhicules de circuler à certaines heures dans certaines voies.

5.2.2. Plans de circulation et restrictions spécifiques

Le respect de plafonds de vitesse sur les autoroutes urbaines (80 km/h) ou en ville (60 km/h) est impératif à plus d'un titre, mais contribue aussi au contrôle du bruit de la circulation. En effet, dans le cas des circulations encore relativement peu denses (débit/capacité ne dépassant pas 0,5 à 0,6), qui est celui où trouve à s'appliquer une limitation de vitesse, la voie peut supporter le même débit avec une vitesse plus faible, et le niveau de bruit s'en trouve diminué. En outre, la limitation de vitesse et la coordination des feux permettent de réduire les bruits de crête.

Un plan de circulation peut donc être bénéfique dans le domaine du bruit, comme le sont des mesures de restrictions spécifiques. Ces deux sortes de mesures ne doivent d'ailleurs pas être réservées aux seules grandes artères, mais elles peuvent viser les voies de tout type dans une zone. Les trois signalisations (horizontale, verticale et lumineuse) concourant à leur mise en oeuvre sous le nom technique de "régulation du trafic".

. Les plans de circulation tirent parti de comptages directionnels sur le réseau, grâce auxquels on reconnaît les courants les plus importants, ce qui permet de modifier, séparer, contrôler certains trajets en vue de les favoriser. Les moyens de le faire sont : les mises en sens unique, interdictions d'arrêt ou de stationnement sur certains axes, mises en priorité de certaines voies, créations de couloirs réservés aux autobus, contrôle par feux des carrefours. La lutte contre le bruit peut se conjuguer avec le désir de mieux écouler sur certains axes privilégiés les courants majeurs, comme avec le souci de rendre le calme à certaines zones en en détournant le trafic qui n'a rien à y faire (par exemple : zones résidentielles interdites de nuit aux véhicules utilitaires, et à la limite les horaires et modalités de ramassage des ordures dans ces zones relèvent de ce souci).

. Les restrictions de circulation sont par essence des mesures de police visant les déplacements urbains de certains véhicules particulièrement gênants : interdiction faites aux poids lourds d'accéder à certaines voies ou à certains quartiers, soit en permanence, soit à certaines heures (zone verte de Paris, par exemple), mais aussi réglementation des livraisons (temps limité, adaptation des véhicules, mécanisation des opérations) et même des véhicules autorisés (circuits imposés, tonnage et gabarit imposés).

On signifie aux conducteurs ces diverses mesures (dont l'ensemble est appelé parfois : exploitation du réseau) par le truchement de la régulation du trafic, sous deux formes principalement, selon qu'on reste sur voirie ordinaire ou qu'on est sur voie rapide exempte d'accès riverains. Sur voie rapide, en général très fréquentée, il s'agit de prévenir la saturation en contrôlant les entrées ou en délestant les sections surchargées. Sur voirie ordinaire, il s'agit d'actionner les cycles de feux des carrefours (en un point, le long d'un axe, sur toute une zone) soit suivant des stratégies prédéterminées, qui changent éventuellement suivant l'heure de la journée, soit suivant une stratégie évolutive qui adapte constamment les cycles au trafic qui se présente. Le plus connu des cas est celui de l'"onde verte" le long d'un axe, mais la généralisation des ordinateurs a diversifié beaucoup les possibilités pratiques et on voit se multiplier les "réseaux adaptatifs" dont l'ordinateur central ajuste sans cesse les cycles au trafic.

Au-delà de la seule exploitation du réseau, au sens strict, réaliser un passage dénivelé (souterrain le plus souvent) dans un carrefour chargé, ou aménager une route express (vitesse 60 ou 80 km/h), c'est aussi réduire le bruit du trafic (à mêmes débit et vitesse, bien sûr), notamment par la diminution des bruits de crête dus aux démarrages aux feux.

Dans un projet de passage souterrain, la lutte contre le bruit est multiforme : choix des profils en long et en travers des approches, conception des parois du tunnel et nature des revêtements, aux têtes surtout, mais aussi agencement des paralames et implantation des orifices de ventilation. Il faut, en particulier, éviter que ces derniers ne fassent office d'amplificateurs directifs du bruit (un bon dessin de ces bouches peut atténuer leur bruit de 10 dBA).

De la recherche d'un parc plus homogène de véhicules utilisateurs à l'exploitation de routes express, en passant par la coordination des carrefours à feux et la réalisation de passages souterrains, les mesures possibles sont variées. Principalement tournées vers l'écoulement du trafic, elles peuvent toutefois contribuer aussi à la lutte contre son bruit, en particulier dans les zones urbaines anciennes, où elles restent parfois le seul recours.

5.3. - Action sur l'infrastructure routière.

5.3.0. Spécificité de cette action

Dans les deux types d'actions précédentes : sur les véhicules (5.1.) et sur l'exploitation du trafic (5.2.), on a pu noter deux points qui touchent à la consistance ou à la conception de l'infrastructure routière :

- pour que le bruit de roulement soit régulier, on recherche des chaussées unies : 2 à 5 dBA de moins que des chaussées rugueuses selon leur état (jusqu'à 10 dBA pour un pavage provisoire irrégulier) ;

- pour que l'écoulement du trafic soit fluide (ni à-coups, ni arrêts, ni congestion), on cherche à concevoir les routes principales en fonction de ce type d'exploitation, et le concept complet qui en découle n'est autre que celui de voie rapide urbaine à accès limités.

Voyons maintenant comment et dans quelle mesure on peut modeler la géométrie de la route pour réduire le bruit de son trafic à la source (par exemple : moindres rampes en profil en long) et à distance (vues défilées).

Pour évaluer techniquement et économiquement ce que coûte à la route la lutte contre le bruit, il ne faut ici prendre en compte que les variantes expressément envisagées dans ce seul but, à partir du projet de base tel qu'il serait strictement suffisant en technique routière.

Si c'est assez évident dans un cas comme celui d'un écran artificiel pare-bruit ou d'une levée latérale de terre faisant masque, il n'en va pas toujours ainsi en général, qu'il s'agisse d'actions à l'émission (tracé et texture des chaussées) ou d'actions à la transmission (profil en travers et écrans divers).

5.3.1. Action sur l'émission du bruit : tracé et texture des chaussées

Le tracé de la route doit contribuer principalement à diminuer les sollicitations du moteur et subsidiairement celles des pneumatiques.

Pour le tracé en plan, les courbes contribuent évidemment à limiter la vitesse en heures de moyenne fréquentation, mais peuvent introduire des bruits spécifiques surtout avec certains types de pneumatiques.

Pour le profil en long, les rampes ont une influence assez sensible : sur route majeure et quelle que soit la proportion de poids lourds, 1 dBA de majoration pour chaque 1 % de rampe au-dessus de 2 % (au-dessous de 2 % de la route est dite en palier).

Pour la texture des chaussées, le bruit de contact pneu-chaussée semble, pour ce qui est du pneu, varier en raison inverse de l'adhérence, les pneus usés et lisses se montrant plus bruyants. Mais pour ce qui est de la chaussée, le bruit varie directement avec la rugosité. Avec les voitures fabriquées en Europe, un revêtement bitumineux fait gagner de 2 à 5dBA par rapport aux pavés, selon l'état et la régularité du pavage (mosaïque ou à l'échantillon) mais entre un revêtement bitumineux uni et un revêtement bitumineux rugueux (strié transversalement) ou un bon revêtement bétonné, on n'observe pas d'écart supérieur à 1,5 dBA. Enfin une chaussée mouillée, quelle qu'elle soit, est plus bruyante de 2 dBA que lorsqu'elle est sèche.

5.3.2. Action sur la transmission du bruit : profil en travers et écrans

Il s'agit de défilier aux vues le plus possible les chaussées, soit naturellement et par construction (mise en contre-bas, voire en tunnel), soit artificiellement au moyen d'écrans latéraux, c'est-à-dire d'adopter sur la plus grande longueur possible les profils en travers les moins bruyants pour le voisinage (voir les cartes d'isophones types données aux pages 34 à 37).

Là seule mise en tranchée talutée de 4 m de profondeur au moins, abaisse de 3 à 5 dBA, voire plus, le niveau sonore qui existerait si la route était à fleur de sol ou en élévation. Aussi cherche-t-on délibérément à créer de telles tranchées dans la limite des dépenses acceptables, en les combinant parfois, pour les sections à fleur de sol, avec des épaulements latéraux faisant masques, et dont les terres proviennent de l'excès des déblais des tranchées. Convenablement plantés et traités en gradins, ces remblais latéraux peuvent, entre autre, servir au stationnement ou aux jeux. Certaines villes nouvelles françaises en ont retenu le principe.

Le tracé peut également rechercher les masques préexistants ou naturels, par exemple les remblais ou soutènements déjà réalisés (voies ferrées), les contre-bas de berges (routes sur bas-ports), les murs d'établissements clos (usines, entrepôts, prisons), les pieds d'escarpements, les vastes espaces définitivement inhabités (cours d'eau, pièces d'eau, faisceaux ferroviaires, cimetières) sans omettre bien sûr, la proximité immédiate de sources de bruit fixes (zones industrielles lourdes, par exemple).

Enfin, on peut recourir à la mise en place d'écrans pare-bruit dans les zones où l'on craindrait un niveau sonore mal toléré par les riverains. Leur efficacité propre est de 9 à 12 dBA et elle est d'autant plus grande qu'on peut les installer plus près des chaussées. Leur hauteur est de 1,5 m (seuil d'efficacité) à 5 m (coût prohibitif) et semble optimale vers 2,5 m.

Les principaux problèmes qu'ils posent sont : leurs fondations (discontinues par plots et poteaux ou continues par semelle filante), leur conception, construction, résistance, longévité et entretien ainsi que leur coût et leur esthétique. Entre toutes ces exigences antagonistes le compromis est délicat, notamment lorsque la route est "bien en vue" (haut remblai ou viaduc). On a récemment vu en France des riverains d'un viaduc autoroutier se plaindre de son bruit mais le préférer, finalement, à l'oblitération de leur vue par l'écran opaque à hauteur de leurs fenêtres, qui les en eût délivrés.

QUELQUES ECRANS PARE-BRUIT ET LEUR COUT (*)

HAUTEUR (m)	LONGUEUR (m)	NATURE DE L'ECRAN (nature des fondations :., + et -)	COUT (F/ ml)	PAYS
15	760	. Béton préfab. parabolique 3 m x 8,8 m	6 000	R.F. All.
2,5	300	. Panneaux en plastique sur châssis acier	1 300	G.B.
4,5	300	. Béton préfab. alvéolé 2,25 m x 5 m	1 000	Fr.
4	300	. Remblai 2,5 m + planches en béton 1,5 m	?	U.R.S.S.
2,5	100	. Palissade de bois en planches jointives	500	G.B.
4	200	. Fibrociment 1 m + altuglas 3-m	2 000 *	Fr.
4	200	+ Béton coulé en place, épaisseur 0,10 m	800 *	Fr.
3	?	+ Béton coulé en place, épaisseur 0,15 m	800 *	G.B.
3	?	- Briques en mur droit ou à redans	400 *	G.B.
3	?	- Blocs de béton empilés	300 *	Canada

* Coût estimé (1971) sur projet non réalisé.

. Fondations discontinues (plots et pieux).

+ Fondations continues (semelles filantes).

- Aucune fondation (pose sur béton de propreté seulement).

Les fondations continues sur semelles resteront rares car elles supposent l'écran construit en même temps que la voie rapide (sinon la fouille pour les fondations désorganiserait drainage et corps de chaussée). Les fondations discontinues correspondent à l'installation d'un écran sur une voie rapide déjà en service. Les solutions sans fondations (briques ou parpaings), sont encore théoriques (main-d'oeuvre et aspect très spéciaux).

La réalisation française à 94 - L'HAY-LES-ROSES, sur la berge Ouest de l'autoroute A 6 - H 6 (4 x 3 voies) est un mur haut de 4,5 m et long de 300 m réalisé en enfilant l'une sur l'autre deux plaques de béton préfabriqué alvéolé (avec fond incliné pour renvoyer le bruit vers le haut) sur des poteaux d'acier (fers HEA 220) distants de 5 m. D'autres solutions, pour les mêmes poteaux, envisageaient des panneaux d'amiante-ciment extrudée, béton alvéolaire, fibre de bois enrobée de ciment, voire polyester armé, à des prix allant de 700 à 1 500 F/ml. La solution retenue a paru le meilleur compromis entre coût initial, entretien ultérieur et aspect durable. Les conclusions à tirer de cette réalisation ne sont pas encore connues.

5.4. - Action sur les bâtiments.

5.4.0. Quelques ordres de grandeur

Parmi les bruits familiaux qui se font entendre dans les logements, on peut noter les suivants :

QUELQUES BRUITS FAMILIERS

conversation calme (à 3 m).....	45 dBA
conversation animée (à 3 m).....	55 dBA
réception de moins de 100 personnes.....	60 dBA
machine à laver (lavage) (à 3 m).....	60 dBA
voix forte à 3 m.....	65 dBA
poste de radio (50 % du temps).....	65 à 70 dBA
chasse d'eau (WC).....	70 dBA
aspirateur (à 3 m).....	70 dBA
voix très forte à 3 m.....	75 dBA
machine à laver (essorage) (à 3 m).....	75 dBA
remplissage d'une baignoire (à 3 m).....	75 dBA
petits robots ménagers (à 3 m).....	75 à 80 dBA
réception de plus de 100 personnes.....	80 dBA
cris d'un bébé (à 1 m).....	jusqu'à 100 dBA

L'isolation acoustique d'une façade (dont les fenêtres sont ouvertes ou fermées, fixes ou non) est par définition la différence entre le niveau acoustique L_{50} qui peut être mesuré à 2 m en avant de la façade étudiée (niveau qui tient compte des 3 dBA dus à la réverbération sur cette façade) et le niveau acoustique L_{50} qui existe à l'intérieur du local correspondant (cf. 1.3.4., 3.1.2., 3.3.).

Cette isolation acoustique dépend tant de la masse des parties pleines, que de l'épaisseur et de l'étanchéité des vitrages des ouvertures, et il va de soi que l'isolation acoustique d'une façade est celle de son point le plus faible, par exemple des fenêtres entrebâillées dans un mur lourd.

Il faut aussi noter que la présence ou l'absence de balcons ou de loggias sur une façade n'en changent guère l'isolation acoustique : + 1 dBA s'il y a un balcon, + 2 dBA s'il y a une loggia, et encore uniquement en géométrie confinée c'est-à-dire pour des immeubles à l'alignement d'une rue en U ou L (voir C.S.T.B. 901). En géométrie dégagée, balcons et loggias n'ont pas d'influence.

Les isolations acoustiques de façade usuelles sont les suivantes : (pour un rapport surface fenêtres/surface plancher = 1/6).

QUELQUES ISOLATIONS ACOUSTIQUES DE FACADE (pour un spectre de bruit routier)

Fenêtres ordinaires ouvertes.....	7 dBA
Fenêtres ordinaires entrebâillées.....	12 dBA
Fenêtres ordinaires fermées.....	22 dBA
Fenêtres ordinaires fermées et calfeutrées.....	27 dBA
Vitrages scellés simples épais (au moins 8 mm).....	30 dBA
Vitrages scellés doubles, écartés de 5 cm.....	37 dBA
Cloison, mur-rideau ou mur léger (150 kg/m ²).....	40 dBA
Mur aveugle lourd (plus de 300kg/m ²).....	50 dBA

L'éloignement de l'immeuble à la route ne procure qu'une décroissance lente : 4 dBA à 25 m du bord de chaussée puis 3 à 4 dBA tous les doublings de distance, de sorte que l'exiguïté des parcelles, surtout en ville ancienne, limite le plus souvent cette atténuation. Quant aux écrans pare-bruit, leur efficacité propre est de l'ordre de 9 à 12 dBA mais les conditions de site ne permettent pas toujours de les installer.

L'isolation acoustique d'une façade qui comporte des baies, dépend, quand les fenêtres sont fermées, non seulement de l'épaisseur de leurs vitrages mais aussi de l'ajustement des huisseries (jeux entre parties fixes et mobiles) et du calfeutrement des interstices (bouillages appropriés pour remplir ces vides).

ATTENUATION A TRAVERS LES VITRAGES

Epaisseur de verre (mm)	vitre ordinaire			glace		
	3	4	5,5	6	10	15
Atténuation (dBA)	24	27	28	29	31	33

INCIDENCE DU JEU DES HUISSERIES

Jeu du châssis (mm)	0,5	1	5	10	20	30
Atténuation (dBA)	36	33	26	23	20	18

Ces valeurs montrent en particulier, qu'il n'y a aucun intérêt à doter de glaces épaisses des huisseries qui auraient plus de 5 mm de jeu.

5.4.1. Isolation acoustique intérieure des bâtiments.

La législation française ne portait jusqu'à présent que sur l'isolation acoustique intérieure des bâtiments, c'est-à-dire contre la transmission de bruits entre logements d'immeubles collectifs d'habitation, en vertu de l'article 92 du Code de l'Urbanisme.

En pratique, c'est le décret du 14 Juin 1969 et ses arrêtés d'application annexés (isolation acoustique, aération, conduits de fumée, etc...) qui définissent les niveaux acoustiques maximaux admissibles dans les logements, à savoir, selon la source du bruit :

- . 35 dBA si la source du bruit est liée au mode d'occupation normal de logements contigus et à l'emploi des appareils usuels dans les locaux ;
- . 30 dBA si cette source est le fonctionnement des équipements collectifs de l'immeuble ;
- . 70 dBA s'il s'agit d'un bruit impact (sur les planchers).

Un nouveau texte a été publié en vue d'améliorer l'isolation acoustique intérieure mais aussi extérieure des immeubles H.L.M. et, par extension, des autres, au moyen du "label confort acoustique" examiné ci-après (voir 5.4.2.). Il abaisse en règle générale de 3 dBA les trois niveaux indiqués ci-dessus et étend leur emploi d'un côté vers les bruits aériens intérieurs à un logement (et non plus seulement entre logements), et, d'un autre côté, vers les bruits extérieurs à l'immeuble, en provenance de la circulation automobile.

5.4.2. Isolation acoustique extérieure . Label de confort acoustique.

L'arrêté interministériel du 10 Février 1972 (J.O. du 17 Février 1972 et Bulletin officiel du Ministère de l'Équipement et du Logement (144 (72.14) a créé un "label confort acoustique" pour aider l'isolation acoustique des logements H.L.M. (et entraîner celle des autres logements), grâce à un supplément de prêt à la construction de 6,5 % au plus du prêt principal. Dans le cas-type d'un logement de 5 pièces dans une grande ville, cette aide correspond à un maximum de 55 F par m² habitable soit quelque 5100 F. par logement.

La circulaire d'application (n° 72.110) du 29 Juin 1972 (BULLETIN officiel du Ministère de l'Équipement et du Logement 72-54 bis), comporte les instructions complémentaires nécessaires pour la mise en place de ce label, et, notamment, en son annexe 1, les conditions de classement des bâtiments en zone de façades par rapport à 2 seuils de niveau de bruit, 63 et 73 dBA mesuré entre 6 h et 22 h à deux mètres en avant des façades.

Cette annexe à la circulaire donne une méthode de prévision des niveaux de bruit analogue à celle décrite dans le présent guide (chapitres 1,2 et 3).

Le système consiste à attribuer un maximum de 20 points dont chacun correspond ainsi à environ 2,75 F par m² ou 200 F (pour 1 logement de 5 P.). Ces points sont obtenus par tout ou rien, chaque fois qu'un critère d'isolation acoustique est satisfait (ou non) vis-à-vis des bruits internes à l'immeuble (15 points) ou vis-à-vis du seul bruit externe considéré : celui de la circulation (5 ou 0 points), selon l'exposition de la façade à ce bruit.

Les quinze points attribués pour l'isolation interne ont été répartis comme suit, en fonction de la difficulté d'obtenir l'isolation demandée et du surcoût que cela a entraîné :

. bruits aériens entre logements.....	3 points
. bruits aériens de pièce à pièce (cloisons et portes).....	2 points
. équipements individuels des logements.....	1 point
. équipements collectifs de l'immeuble (ascenseurs, machineries)....	3 points
. autres équipements.....	2 points
. bruits de logement à logement (impacts sur planchers).....	4 points

Les cinq points attribués pour l'isolation externe le sont si on constate, après achèvement des travaux, que l'isolation acoustique de façade atteint au moins 33 dBA pour les façades qui le doivent. Celles-ci sont encadrées par deux catégories de façade non primées : d'une part, celles qui ne sont pas placées dans un niveau sonore dû au trafic assez fort (façades sous-exposées au bruit) et d'autre part celles qui sont dans un niveau trop fort (façades surexposées) et dont on veut dissuader la réalisation (10 % de telles façades est le maximum toléré, avec une isolation d'au moins 42 dBA).

Ce classement acoustique de façades ne doit pas considérer le trafic routier immédiat mais le trafic futur pour prendre en compte indifféremment les routes à construire dans les 5 ans à venir, aussi bien que les routes existantes avec leur trafic à terme (5 à 10 ans) voire à saturation ($J = 10 C$ où C est la capacité physique horaire de la route.)

Cette prise en compte n'a d'ailleurs rien de difficile : la capacité est connue selon le type de route. Le trafic à terme peut s'extrapoler sur la base d'un taux annuel de croissance généralement compris entre 3 % (itinéraire ancien chargé) et 8 % (itinéraire peu chargé ou récent), de sorte qu'il en résulte une majoration du niveau sonore de 2 à 5 dBA selon les cas, par rapport à ce que donne le calcul (ou la mesure directe à l'achèvement de l'immeuble.)

.../...

Naturellement, en géométrie libre, et sur des parcelles assez grandes, parmi les mesures contre le bruit figurent en bonne place la distribution intérieure dans les bâtiments et le choix judicieux de l'orientation des logements par rapport à la route. C'est ainsi qu'on a constaté, par exemple, que, pour des immeubles semblablement exposés, la double exposition des logements (une façade protégée) rendait supportable par leurs occupants des niveaux sonores en façade supérieurs de 5 dBA aux niveaux que supportent les occupants de logements à simple exposition (entièrement en façade sur route).

On peut ainsi placer les pièces de repos et d'étude à l'opposé de la route, et, si possible, également, la salle de séjour. Mais cette défense statique est limitée par l'économie d'ensemble des logements, d'autant qu'en ce domaine, les recommandations sont déjà nombreuses et parfois difficiles à concilier, comme, par exemple : éloigner les cuisines des chambres, etc... (voir la publication du C.S.T.B. pour plus de détails).

Enfin, on notera que l'application en façade d'un niveau acoustique qui perturbe la vie dans l'immeuble conduit à fermer les fenêtres, ce qui pose le problème de la climatisation des locaux d'habitation ainsi clos, et notamment celui de leur ventilation forcée. Sous nos climats c'est tout autant un problème technico-économique qu'un changement de mode de vie.

Techniquement, il faut de manière aussi économique que possible renouveler totalement l'air 5 à 10 fois par heure, de sorte que l'isolation acoustique contre les bruits extérieurs a pour corollaire le problème du confort thermique d'été, fenêtres fermées : il serait judicieux que le confort acoustique ne soit pas acquis trop à ses dépens.

5.5. - Action sur l'occupation des sols.

5.5.0. L'urbanisme et le bruit

Le bruit de la circulation sur une route urbaine apparaît comme une nuisance non parce qu'il gêne les usagers de la route qui le produisent (mais ne le subissent guère) mais parce qu'il gêne les usagers des sols et immeubles voisins qui le subissent sans le produire.

Pour les économistes, notamment ceux de l'Organisation de Coopération et de Développement Economique (O.C.D.E.), il s'agit d'un "coût externe" ~~c'est-à-dire d'un effet secondaire d'une action personnellement profitable qui a~~ des répercussions indésirables sur des tiers sans que ceux-ci y participent ou en bénéficient directement.

En France, on parlera plutôt de "coût social", car il semble que c'est à la société tout entière qu'imcombe sa prise en compte, aux lieux et places des individus qui produisent le bruit ou le consomment (malgré eux) sans payer pour lui directement.

Sans attendre cette prise en compte, qu'on commence à peine à défricher, l'urbaniste ne peut éviter de prendre position, vis-à-vis notamment du bruit de la circulation. Il le fera à partir de critères incomplets et d'équivalences plus ou moins assurées, faute de connaître explicitement les coûts correspondants.

Les coûts urbains liés au bruit de la circulation vont, en effet, du coût des terrains à celui des logements, du coût d'accessibilité au coût de construction, sans même mentionner les coûts de santé des habitants ou des actifs, présents ou futurs.

Toutefois, on peut penser que certaines règles d'occupation des sols pourront prévenir des situations futures dans lesquelles la route en projet et la zone à bâtir cesseraient d'être compatibles. L'origine de ces règles se trouve dans l'application systématique du principe énoncé en 5.0 : le bruit émis par la route jusqu'à la façade ne doit pas excéder le niveau maximal admis en ce point pour l'activité abritée par le local.

La mise en oeuvre pratique consiste à comparer les niveaux sonores en façade, d'une part en fonction des exigences du local et de l'isolation de la façade, d'autre part en fonction du bruit émis par la route et de sa propagation jusqu'à la façade.

Les urbanistes auront plutôt pour domaine les actions qui prennent place "de la route à la façade" et les architectes, de plan de masse ou de conception des immeubles, celles qui visent les façades et, à travers elles, les locaux à protéger. Ici, on luttera contre le bruit par les matériaux et l'agencement interne, là, par la géométrie et l'agencement externe.

Une véritable coordination de toutes ces actions supposerait toutefois qu'on en connaisse bien l'applicabilité, le coût spécifique et l'efficacité propre, c'est-à-dire qu'on sache quand, comment, où et par qui on en décide, pour quelle dépense et pour quel avantage on les adopte, comment enfin on peut comparer diverses options et choisir entre elles.

5.5.1. Le zonage

Au moment de la première mise en place, on peut traduire la compatibilité entre une route de trafic journalier donné et une zone d'habitat adjacente, sous forme d'un tableau où les implications techniques du bruit routier s'expriment, pour la zone, en distance de reculement et nombre de niveaux des immeubles. On trouvera en annexe deux tableaux de ce type, donnés uniquement à titre d'exemple.

L'un assez global esquisse simplement les domaines probables de compatibilité entre voies rapides de certains trafics journaliers et zones urbaines nouvelles de diverses natures.

L'autre, plus détaillé, illustre le principe général de compatibilité (appliqué aux niveaux sonores en façade) en tabulant ses conséquences sous formes d'implications techniques pour les immeubles (reculement et hauteur) selon le trafic journalier de la voie rapide.

Dans les deux cas la méthode est la même : du côté de la route, on part de l'isophone zéro L_{50} du trafic J (cf. 2.3.) et des cartes d'isophones (cf. 3.1.2) pour obtenir le niveau sonore en champ libre là où est la façade et on ajoute les 3 dBA dus à la réverbération sur cette façade. Du côté du local, on part du seuil de gêne (cf. 4.2.1.) auquel on ajoute l'isolation acoustique à la traversée de la façade (cf. 5.4.0.). Et l'on égale ces deux valeurs, ce qui détermine les trafics journaliers J que la route ne doit pas dépasser.

Sur le tableau, on peut lire quels immeubles sont compatibles en éloignement et hauteur, selon les divers paramètres :

- . activité gênée dans le local ;
- . situation en façade (fenêtres ouvertes ou fermées) ;
- . niveau acoustique maximal en façade qui en résulte ;
- . route perturbatrice (vue directe ou vue défilée) ;
- . trafic journalier de la voie rapide.

Si la chaussée est rugueuse (pavés mosaïque : + 2dBA) on ne garde que les 2/3 du J lu dans le tableau et si la circulation est nettement pulsée par les feux des carrefours (+ 5 dBA), on n'en garde que la moitié. Si ces deux effets se cumulent, on ne garde que le tiers, sous réserve de vérifier que la formule des rues en U (ou en L) donne des résultats comparables.

D'ailleurs, pour ces rues en U ou en L (géométrie confinée, voir 1.3.3.) un tableau analogue peut être dressé, sans recours aux isophones puisque la formule de référence donne directement L50 (Q) y compris les 3 dBA de réverbération.

L'usage des tableaux établis ci-dessus est de guider le projeteur de route ou de quartier neuf vers les cas de compatibilité et de l'alerter sur les incompatibilités probables entre telle route ou tel usage des sols adjacents. Mais ce n'est qu'un dégrossissage rapide et la méthode précise, surtout en géométrie rapidement variable le long de la route, consiste à tracer les périmètres de nuisance sonore à différentes hauteurs et pour différentes activités gênées (voir 3.4.), au fur et à mesure que l'avancement du projet routier le permet, compte tenu des prévisions de trafic disponibles (voir 5.4.2.). La définition de ces périmètres se fera d'ailleurs le plus souvent à une échelle telle qu'on quitte déjà le zonage pour entrer dans le plan de masse (voir 5.5.3.). Mais donnons auparavant un aperçu des dispositions administratives sur lesquelles on peut s'appuyer en la matière.

5.5.2. Les moyens réglementaires

Pour l'instant, aucune disposition réglementaire d'urbanisme ne vise spécifiquement le bruit dans le domaine de l'occupation du sol : il faudra utiliser au mieux dans cette optique nouvelle la réglementation d'urbanisme telle qu'elle existe.

En l'absence d'un document d'urbanisme (plan d'urbanisme ou plan d'occupation du sol), c'est le Décret du 30-Novembre 1961 dit Règlement National d'Urbanisme (RNU) qui s'applique. Son article 5 prévoit le reculement des constructions et fixe la largeur des bandes de terrain qui, de part et d'autre des voies à grande circulation, sont interdites à la construction:

- 50 mètres de chaque côté de l'axe d'une autoroute ;
- 35 mètres seulement pour un grand itinéraire ou route assimilée.

Mais cette prescription, d'une part, n'est pas applicable à l'intérieur des parties agglomérées des villes (délimitées par les panneaux de localisation E 1 de l'instruction sur la signalisation routière), et d'autre part, elle concerne les seuls bâtiments à usage d'habitation (pour les autres usages, les distances sont ramenées à 40 et 25 m).

Dans les communes couvertes par un plan d'urbanisme ou par un plan d'occupation des sols, des textes récents ont ouvert d'intéressantes possibilités au moins d'un point de vue juridique strict, et notamment le décret du 28 Octobre 1970 sur les plans d'occupation des sols.

Il s'agit d'abord des règles d'urbanisme que peut comporter le plan d'occupation des sols, en ce qui concerne les modalités de cette occupation et la densité de construction admissible, mais aussi des règles de reculement à l'intérieur comme à l'extérieur des parties agglomérées, et enfin, le cas échéant, des prescriptions portant sur la nature même des bâtiments susceptibles d'être autorisés (habitat, activités...)

Dans les zones d'aménagement concerté (Z A C), les documents contractuels peuvent même avoir prévu les dispositions beaucoup plus précises qu'un plan d'urbanisme, voire autoriser des mesures spéciales. A ce niveau d'"urbanisme opérationnel", il ne s'agira plus, à vrai dire, de l'application contraignante des articles d'un texte, mais plutôt de dispositions arrêtées conjointement dans le cadre d'une étude d'aménagement qui aboutira au plan de masse définitif.

Il serait souhaitable d'utiliser autant que possible cet ensemble de moyens, mais il faut les apprécier moins en fonction de leur aspect juridique qu'en fonction des difficultés pratiques de leur mise en oeuvre, ainsi que de leurs conséquences au niveau de la collectivité et des particuliers. Au total leur bon usage sera de les combiner judicieusement, l'application brutale et "au maximum" de dispositions réglementaires sans nuances s'étant bien souvent révélée inefficace sinon impossible.

Ainsi, depuis 1968, en région parisienne, on a tenté de donner des règles moins précises de coexistence entre voie rapide et zone urbaine plus ou moins densément occupée. Le caractère commun de ces règles était d'embrasser de très larges bandes de terrain (plusieurs centaines de mètres axés sur l'autoroute) et de combiner des limites de distance et hauteur d'immeubles autorisés, mais même en site vierge de ville nouvelle, leur application a été difficile et, en banlieue pavillonnaire, elle a été à peu près impossible tant le seul énoncé des distances de reculement soulevait de réactions.

Les règles générales de ce type font d'ailleurs toutes l'hypothèse d'un champ sonore dégagé, avec une route quasi-indéfinie et de géométrie cylindrique, alors que la réalité sera nécessairement faite de segments de route et de nombreux immeubles entre lesquels le bruit se propage, se réfléchit et se diffracte de manière complexe.

5.5.3. Le plan de masse

Au niveau du plan de masse, il s'agit de disposer au mieux les bâtiments pour qu'ils se protègent les uns les autres. Les bâtiments inertes au bruit (ateliers, entrepôts, chaufferies) et notamment les garages peuvent s'adosser à la route urbaine et faire écran pour les immeubles habités, comme on l'a réalisé entre autres à THAMESMEAD (U.K.) et à BIJLMERMEER (N.L.) et comme on l'envisage pour certaines villes nouvelles françaises. Dans une certaine mesure, il en va de même pour certaines installations sportives, voire certains commerces, sinon aussi bruyants, du moins aisément clos et climatisés.

De plus, certaines dispositions en plan sont à rechercher: un immeuble perpendiculaire à la route reçoit une énergie acoustique inférieure de 3 dBA par rapport à un immeuble parallèle. Si c'est un immeuble à appartements à simple exposition, tous les appartements seront exposés mais moins.

Si ce sont des appartements à double exposition, c'est moins avantageux qu'une disposition parallèle (la tolérance de 5 dBA signalée en 5.4.2. disparaît puisqu'aucune des deux façades n'est moins exposée que l'autre).

Les rues étroites (moins de 25 m de large) ont un effet de réverbération (il atteint 6 dBA pour 12 m de largeur). Des immeubles à redans se protègent mutuellement et "brisent" le bruit, sous réserve qu'il n'y ait pas de réflexions multiples entre façades.

Tous ces procédés ont une efficacité limitée (3 à 12 dBA) et un certain coût, en ce sens qu'ils abaissent les coefficients d'occupation des sols, en allant parfois même jusqu'à l'inconstructibilité. Ils introduisent, dans tous les cas, des contraintes parfois sévères sur l'affectation, la disposition, la constitution, l'espacement, la hauteur, l'éloignement des immeubles, et un compromis satisfaisant pourra être parfois délicat à obtenir.

Enfin on n'oubliera pas que la conséquence majeure du bruit urbain est de condamner les hommes à vivre en locaux fermés, si l'on n'a pas réussi à éloigner de la façade les bruits supérieurs à 60 dBA. L'urbaniste peut parfois en tirer un parti paradoxal, notamment si le local est déjà clos et climatisé pour d'autres raisons : immeuble de grande hauteur, grand commerce, grand bureau d'étude, salle de soins même, peuvent alors de trouver à vue directe des chaussées les plus fréquentées, bien à l'abri derrière leurs doubles vitrages scellés. C'est ainsi qu'existent aux Etats-Unis quelques immeubles de bureau à cheval sur des autoroutes, dont le plus célèbre est la poste centrale de CHICAGO. Et l'on pourrait mentionner, pour la France, l'Aérogare d'ORLY-Sud, qui abrite un hôtel.

5.6. - Directives générales d'étude.

Les actions précédentes se combinent différemment selon que la route ou la zone, ou les deux, sont déjà ou non construites, d'où trois situations possibles, pour ce qui nous concerne.

5.6.1. Situation établie : route et zone déjà construites

A la suite de la croissance progressive de la circulation et du bruit qu'elle engendre, les plaintes des riverains augmentent d'année en année. En général, il est trop tard pour insonoriser les façades, sauf à se limiter au remplacement des vitres légères (2 mm) par des glaces lourdes (8 mm) si la qualité des huisseries l'autorise.

Entre les immeubles et la route, (rues étroites en U exclues), si c'est possible, on renforcera les plantations (c'est surtout un effet psychologique), et dans les cas extrêmes, on envisagera un écran pare-bruit, du moins si les immeubles sont assez bas pour rester dans sa zone d'ombre. Si ce n'est fait, on améliorera aussi la qualité de la chaussée.

Pour ce qui est de l'exploitation de la route, s'il s'agit d'une route à carrefours plans commandés par feux, l'augmentation des débits à écouler se conjugue avec la lutte contre le bruit pour chercher à les coordonner progressivement (onde verte de 40 à 60 km/h), interdire la circulation de certains véhicules particulièrement bruyants (poids lourds), déniveler, dans les cas extrêmes, certains courants dans certains carrefours.

Sauf dans quelques cas très favorables d'écrans pare-bruit, on ne peut guère attendre de ces diverses mesures un gain supérieur à 10 dBA, ce qui les limite en général aux trafics journaliers ne dépassant pas 60 000 v/j.

5.6.2. Situation modifiée : route neuve en zone déjà bâtie

Par rapport au cas précédent, les plaintes des riverains affluent d'un seul coup à l'ouverture de la route nouvelle. On doit donc s'en soucier au moment du projet, de façon à les prévenir au mieux. A l'arsenal limité des mesures précédentes (cf. 5.6.1.) s'ajoute la possibilité de modeler le projet routier en fonction du bruit.

Lors de la première mise en place, le dégrossissage sommaire des périmètres de nuisance sonore (isophones à 10 m au-dessus du sol) donne une idée des zones qui risquent d'être critiques. On cherchera à y défilier aux vues les chaussées par tous les procédés encore accessibles : tranchées ouvertes à talus ou soutènements, voire tranchées couvertes près d'un établissement sensible (école, hôpital,....) sans oublier les cordons latéraux de remblai qui font écran dans les passages au niveau du sol.

Avec les caractéristiques de profil en long imposées par les règlements techniques routiers, la mise en déblai assez profond intéresse au moins 500 m de route, mais elle peut être contrariée en ville par la nature des obstacles transversaux ou souterrains reconstruits. Cet enfoncement de la route est évidemment un bon parti d'urbanisme et de protection contre le bruit lorsqu'il n'est pas prohibitif à réaliser. Il fait gagner assez facilement de l'ordre de 6 à 10 dBA sur les niveaux sonores, aux distances usuelles (à 25 m du bord de chaussée, par exemple).

5.6.3. Situation vierge : route et zone à construire toutes deux

Sous les réserves faites en 5.5.1., c'est ici le domaine où l'on peut recourir à des techniques d'urbanisme et de zonage.

On peut même procéder à des études comparatives de variantes qui combinent une route plus ou moins défilée aux vues, plus ou moins enterrée, et une zone bâtie plus ou moins haut, plus ou moins dense, plus ou moins près de la route. Cette analyse pourrait permettre de déterminer le meilleur compromis entre le renchérissement du projet routier et le mode d'occupation des sols adjacents, dans la mesure où on saura évaluer les diverses options.

Dans les cas d'aménagement progressif, non seulement on se limite d'abord à une réalisation partielle de la route et des bâtiments, mais aussi on n'observe qu'une partie du trafic. Lorsque la réalisation se parachève et que la circulation prend toute son ampleur, on se retrouve dans la situation établie où route et zone sont déjà bâties, mais avec une nuance importante : on aura prévu la lutte contre le bruit et simplement différé la mise en place des dispositifs correspondants, notamment masques et écrans, dont le projet routier (voire le plan d'urbanisme) aura réservé la possibilité.

Pour l'utilisation des sols, de même, il peut y avoir une réalisation progressive des plans de masse qui tienne compte des isophones tant en début d'aménagement qu'en fin de réalisation (niveaux accrus de 2 à 5 dBA).

5.6.4. Indications générales pour l'étude

Les deux tableaux évoqués en 5.5.1. et qu'on trouvera ci-après en annexe ont l'usage suivant :

Pour le dégrossissage sommaire des contraintes de bruit pour l'urbaniste, le tableau simplifié de compatibilité route express- zone urbaine (annexe 2) est un outil de première mise en place tant des routes primaires que des zones principales de la ville nouvelle, lorsqu'on ne dispose pas encore de données assez fines sur l'occupation des sols tout comme sur les trafics prévisibles. Il n'a qu'une valeur indicative.

Pour le zonage précis, on tient compte plutôt du tableau détaillé des implications techniques que le bruit d'une route de trafic J représente pour les immeubles riverains (annexe 3). Ce tableau ne considère évidemment qu'un certain nombre de combinaisons des paramètres et, si nécessaire, on peut l'étendre à d'autres. L'essentiel est de l'appliquer pour des prévisions de trafic plausibles, à terme (1,3 à 2 fois le J actuel) ou à saturation ($J = 10 C$ où C est la capacité physique de la route).

Enfin, il s'agit dans tous les cas des résultats de la comparaison entre diverses valeurs moyennes, tant au niveau du bruit "produit" par la route et son trafic, qu'au niveau du "bruit consommé" par les immeubles et leurs occupants. Si cette méthode a sa logique, elle a aussi ses limites. Des cas particuliers qui correspondront à une combinaison de paramètres ayant des valeurs bien précises, pourront s'écarter de plusieurs décibels du résultat type, alors que, dans la plage des trafics les plus usuels, une variation de 3 dBA, par exemple, pour le niveau de bruit, correspond, en plus, au doublement du débit de la route, et en moins, à sa division par 2. Il est donc recommandé de faire appel aux valeurs propres du cas à traiter dès qu'on peut en disposer.

Il est également à souligner combien serait erroné un raisonnement qui dirait : pour un niveau sonore qui va être de l'ordre de 75 dBA, on n'en est pas à 2 ou 3 dBA près, puisque ce n'est qu'une imprécision arithmétique de 3 à 4 %. Rien n'est plus faux : il s'agit ici de logarithmes et on vient de voir ci-dessus qu'un écart logarithmique de 3 dBA masque en réalité une multiplication ou division par 2. Les "derniers décibels" sont donc les plus décisifs. Les réactions humaines au bruit le confirment.

En reliant d'une part L_{50} à J, d'autre part les seuils de gêne et isolements de façade aux niveaux sonores en façade, la méthode a pour principal intérêt, malgré sa précision limitée (de l'ordre de 2 dBA), de permettre de parler de décibels A dès les premiers stades de l'étude et avant toute mesure, et de prendre les décisions les plus aptes à minimiser sinon à supprimer ultérieurement les problèmes de bruit.

ANNEXES

- ANNEXE 1 -

LES INDICES DE BRUIT : SIGNIFICATION ET INTERET

Un bon indice de bruit (routes ou aéroports) doit :

- . être directement mesurable, c'est-à-dire tel qu'on puisse construire, sans coût excessif, un appareil sur un cadran duquel on le lise ;
- . être en bonne corrélation avec les réactions humaines, c'est-à-dire que l'on puisse prévoir les variations d'un indice de gêne psychosociologique relatif au bruit selon les variations de cet indice de bruit (lié à la mesure physique de celui-ci) et, par ellipse, repérer directement le degré de gêne sur l'échelle de l'indice de bruit ;
- . être utilisable par le projeteur (urbaniste, ingénieur routier ou aéronautique), c'est-à-dire qu'on puisse grâce à lui déterminer l'usage des sols au voisinage de l'infrastructure bruyante (route ou aéroport) pour adapter celle-ci à celui-là ou vice-versa.

La plupart des indices de bruit proposés ont cherché, par ailleurs, à se rattacher à une grandeur physique caractéristique du bruit, le plus souvent son énergie acoustique globale. Cette énergie varie comme le produit du nombre de sources par l'intensité de chaque source, et cette loi monôme se traduit en échelle logarithmique (indices exprimés en décibels) par une formule linéaire. Mais à l'échelle internationale, notamment pour les aéroports, cette approche simple et logique a été altérée par des ajustements empiriques de lois linéaires effectués parfois sans précaution.

A - Indices du bruit de la circulation.

L'unité de mesure utilisée à peu près universellement pour toutes sortes de bruit est le décibel A (dBA) (voir 1.2.) et c'est également le cas pour le bruit de la circulation, tant à l'étranger qu'en France. On élimine ainsi le problème du spectre de fréquences, la comparaison des mesures est possible, mais la question reste entière de savoir quel niveau sonore caractérisera le mieux un phénomène assez variable au cours du temps d'observation.

Passons en revue les divers niveaux qui ont été proposés :

- ~~. le niveau médian L_{50} , atteint ou dépassé 50 % de la durée d'observation, dispose d'une définition claire et des trois qualités désirées. C'est pourquoi il est utilisé en France et aux Etats-Unis, si l'on excepte quelques publications anciennes où l'on a considéré L_{10} , qui n'a pas toujours la seconde qualité.~~
- . le niveau de bruit équivalent Leq , employé en Suède, en Allemagne et en U.R.S.S., ne dispose que de la seconde qualité, ce qui exprime sa signification physique : il se rattache à l'énergie acoustique globale en la repérant par le niveau sonore constant qui aurait des effets équivalents (d'où son nom), mais ce dernier ne peut se mesurer et se calcule au moyen d'une intégrale numérique, par tranches de niveaux sonores larges de 5 dBA, selon la formule :

$$Leq = 10 \log \sum f_i L_i$$

f_i : fraction de la durée d'observation pendant laquelle le niveau sonore est L_i

à + 2,5 dBA. Faute de mémoires à retard convenables, les enregistreurs acoustiques à bande ne peuvent procéder à cette intégration. En pratique, on mesure le niveau médian L_{50} , on calcule la dispersion des niveaux et l'on applique la relation mathématique, rigoureuse quand la répartition est gaussienne :

$$Leq = L_{50} + 0,115 \sigma^2$$

le niveau de pollution sonore L_{NP} , perfectionnement britannique du niveau équivalent Leq , tient plus largement compte de la dispersion, puisque le Laboratoire National de Physique du Royaume-Uni a posé :

$$L_{NP} = Leq + 2,56 \sigma^2$$

Il ne se mesure pas davantage directement mais se déduit de la mesure de L_{50} et du calcul de la dispersion σ . Il serait en très bonne corrélation avec les réactions humaines pour toutes les sortes de bruit mécaniques : véhicules, avions, ateliers.

Pas plus que Leq il n'est utilisable sans précaution par le projecteur pour examiner la compatibilité entre l'infrastructure d'où provient le bruit et les zones urbaines voisines, pour la raison majeure que le niveau médian L_{50} et la dispersion σ ne décroissent pas de la même façon suivant la distance, de sorte que les cartes d'isophones en L_{50} (qu'on relève directement au sonomètre), sont difficilement transposables en cartes d'isophones en Leq ou L_{NP} , ce qui ôte tout intérêt pratique à ces indices.

le TNI (Traffic Noise Index), enfin, est une autre tentative anglaise purement empirique, de prendre en compte à la fois une valeur centrale de la distribution des niveaux sonores (en fait L_{90} au lieu de L_{50} qui aurait dû s'imposer) et une valeur qui caractérise l'amplitude de leur dispersion (la largeur de bande $L_{10} - L_{90}$). Le TNI s'écrit donc :

$$TNI = 4 (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30$$

L_{10} : niveau sonore atteint ou dépassé 10 % du temps ;

L_{90} : niveau sonore atteint ou dépassé 90 % du temps.

Bien que dénué de signification physique, cet indice pragmatique est directement mesurable (l'appareil est toutefois plus cher). Sa corrélation avec la gêne n'est pas meilleure que celle du niveau médian L_{50} , sauf peut-être aux faibles circulations (moins de 300 véh/h) où il exalte l'effet de la largeur de bande (et traduit donc mieux le désagrément des pointes sonores). Mais, pour les circulations plus denses, la distribution des niveaux sonores est sensiblement gaussienne d'où :

$$L_{10} = L_{50} + 1,28 \sigma$$

$$L_{90} = L_{50} - 1,28 \sigma$$

$$\text{et TNI} = L_{50} + 9 \sigma - 30$$

..../....

Comme la dispersion aux distances usuelles est de l'ordre de 3 dBA, TNI et L₅₀ ne diffèrent en réalité que d'environ 3 dBA (ils seraient quasiment confondus si la constante arbitraire n'avait pas été prise égale à 30 mais à 27), ou encore le TNI ne diffère guère en définitive du L₉₀ au prix d'un détour peu utile.

Tout ce qui précède n'a d'autre objet que de faire connaître au lecteur français, à côté de L₅₀, les trois principaux indicateurs étrangers de bruit de circulation : Leq, L_{NP} et TNI, mais, sauf peut-être Leq, il n'y a aucun intérêt, théorique ou pratique, à les préférer à l'indicateur L₅₀.

Un bon indice de bruit de la circulation doit certes donner une bonne mesure du phénomène de gêne, malgré sa composante humaine parfois difficile à cerner, mais aussi permettre de savoir comment se distribue cette gêne dans l'espace environnant.

Le premier point est essentiel à un degré tel que, lorsqu'il est atteint, c'est-à-dire lorsqu'une bonne corrélation a été établie entre un certain indice de gêne (psychologique, fondé sur questionnaire et enquêtes) et un certain indice de bruit (L₅₀ pour nous), l'habitude s'établit vite de repérer la gêne non plus par l'indice de ses effets (psychologiques) mais par l'indice de sa cause (le niveau de bruit) et, par exemple, on dira : le niveau médian de x dBA est un seuil de gêne... C'est passer sous silence dans quelles conditions humaines (diversité des tempéraments et des activités), il en est ainsi, un peu comme le recours au dBA escamote les particularités physiques du bruit (diversité des fréquences sonores).

Il en découle que les niveaux sonores à considérer pour dresser des cartes de gêne, ou périmètres de nuisance, dépendent notamment de leur durée (et parfois de leur époque) d'application autant que de la nature de l'activité humaine perturbée (sommeil, détente, travail manuel, concentration intellectuelle, etc...), voire de la catégorie de la population affectée.

B - Indice du bruit des aéroports

Le bruit des aéroports est caractérisé par des pointes sonores qui viennent rompre le "silence". L'intensité unitaire de ces bruits de crête est exprimée en décibels appelés PNdB (Perceived Noise decibels). Elle a une valeur L_c calculée en moyenne suivant les divers types d'avion et les trajectoires qu'ils suivent. Dans la plupart des pays à fort trafic aérien, on la combine linéairement avec le logarithme du nombre de mouvements d'avion n (en 24 h, en période diurne seule ou nocturne seule), pour obtenir un indice de bruit dont les diverses expressions sont :

. CNR (Composite Noise Rating : indice combiné de bruit) aux Etats-Unis :

$$\text{CNR} = L_c (\text{PNdB}) + 10 \log n - 12$$

. Indice isopsophonique N en France :

$$N = L_c (\text{PNdB}) + 10 \log n - 34$$

. NNI (Noise Number Index : indice chiffré du bruit) en Grande-Bretagne et en Suisse :

$$\text{NNI} = L_c (\text{PNdB}) + 15 \log n - 80$$

Pour les grands aéroports (200 à 800 avions/jour), ces trois indices n'en font qu'un, à une constante additive près : $CNR = N + 22$ PNdB et $NNI = N - 33$ PNdB. Les comparaisons sont donc immédiates, les corrélations avec la gêne aussi bonnes. Il semble donc facile d'unifier ces indices, d'autant qu'ils ont les trois qualités désirées.

Il n'en va pas de même pour l'indice de dérangement \bar{Q} (Q barre), qu'on emploie en Allemagne, en Scandinavie et au Japon. En théorie, il correspond à l'énergie acoustique globale, en intégrant pour chaque mouvement d'avion l'intensité unitaire L_c et la durée pendant laquelle le niveau sonore dépasse $L_c - 10$ PNdB. En pratique, c'est une intégrale numérique dont les coefficients ont été ajustés empiriquement pour donner de "bons chiffres" (même ordre de grandeur que les autres indices), mais en ne présentant que la seconde des trois qualités requises.

- ANNEXE 2 -

COMPATIBILITE ENTRE ROUTE EXPRESS ET ZONE TRAVERSEE

TABLEAU SIMPLIFIE
 POUR PREMIER DEGROSSISSAGE
 donné à titre d'exemple purement indicatif

NOTA BENE - Dès qu'on dispose d'une prévision de trafic et d'un avant-projet sommaire de la route express, il y a lieu de préférer au présent tableau le tracé d'un certain nombre d'isophones à différentes hauteurs au-dessus du sol (par exemple R +2, R +6, R +10) correspondant au trafic à terme J, qui délimiteront différentes zones pour lesquelles il conviendra d'indiquer les dispositions à prendre pour :

- l'occupation du sol au voisinage de la voie,
- les recommandations à insérer dans les permis de construire,
- les immeubles existant avant la réalisation de la voie,
- les protections éventuelles.

NATURE DE LA ZONE URBAINE	IMPLICATIONS TECHNIQUES POUR LES IMMEUBLES				TRAFFIC JOURNALIER J (véh/j) DE LA ROUTE EXPRESS (1)
	ZONE NON AEDIFICANDI largeur (m)	HAUTEUR ET USAGE DES IMMEUBLES			
		distance (m)	nombre d'étages	usage	
dense et active	12 - 25	25 - 50 50 - 100	R + 4 R + 8	inertes (2) tertiaire (3)	sans limite 30 à 120 000
semi- bâtie	12 - 25	25 - 50 50 - 100	R + 4 R + 8	habitat (4) habitat (4)	20 à 120 000 20 à 80 000
site vierge	25	25 - 50 50 - 100	R + 4 R +16	école, santé (5) habitat (4)	10 à 40 000 10 à 40 000

(1) Trafic journalier à terme (dans 10 ou 15 ans) de la route express à circulation continue et chaussée moderne :

- . en cas de chaussée rugueuse (+ 2 dBA) ne garder que les 2/3 du J lu
- . en cas de feux rouges (+ 5dBA) ne garder que 1/2 du J lu
- . en cas des deux, ne garder que J/3 mais vérifier par la formule relative aux rues en géométrie confinée (U ou L, voir 1.3.3.).

(2) Les immeubles inertes au bruit sont notamment : garages, entrepôts, ateliers, locaux techniques, bâtiments insonorisés ou à façade aveugle sur la voie, voire certains commerces bruyants par eux-mêmes.

.../...

- (3) Les immeubles d'activité tertiaire (bureaux, commerces non bruyants) peuvent, le cas échéant, être insonorisés, voire climatisés.
- (4) L'habitat dans les immeubles les plus proches de la route correspond à la vie fenêtres fermées plusieurs heures par jour. Certains immeubles peuvent faire écran à d'autres.
- (5) Il est exclu en principe d'établir un équipement public ayant besoin de calme (santé, enseignement, recherche) à moins de 100 m d'une route à forte circulation, à moins d'avoir la certitude de disposer d'un écran.

- ANNEXE 3 -

IMPLICATIONS TECHNIQUES DU BRUIT D'UNE ROUTE EXPRESS
DE TRAFIC JOURNALIER J, POUR LES IMMEUBLES RIVERAINS

TABLEAU DETAILLE

DONNE A TITRE D'EXEMPLE

et calculé à partir des isophones des figures 1 D et 1 G

TYPE DE ZONE URBAINE	FENETRES	NIVEAU SONORE à 2 m de la FACADE (dBA) (1)	DISTANCE ENTRE ROUTE ET FACADE d (m) (2)	IMMEUBLE AYANT LA ROUTE EN VUE			
				DIRECTE		DEFILEE (écran de 4 m)	
				NOMBRE D'ETAGES	TRAFIC JOURNALIER J (véh/j) (3)	NOMBRE D'ETAGES	TRAFIC JOURNALIER J (véh/j) (4)
				(3)	(4)	(3)	(4)
REPOS, ECOLES, HOPITAUX ...	fermées	63/65	12	R + 8	9/ 11 000	R + 2	10/ 13 000
	6 h/j	=	25	R + 8	10/ 13 000	R + 4	11/ 14 000
	vitres	40 +	50	R + 8	13/ 16 000	R + 8	13/ 17 000
	ordinaires	23/25	70	-	-	R + 4	17/ 23 000
			75	R + 8	15/ 19 000	-	-
		100	R + 8	18/ 25 000	R + 12	19/ 27 000	
HABITAT DE JOUR ET DE NUIT	fermées	68/70	12	R + 8	16/ 21 000	R + 2	18/ 25 000
	24 h/j	=	25	R + 8	18/ 25 000	R + 4	21/ 30 000
	vitres	45 +	50	R + 8	25/ 35 000	R + 12	25/ 35 000
	ordinaires	23/25	75	-	-	R + 8	27/ 37 000
			100	R + 8	32/ 42 000	-	-
			R + 8	40/ 60 000	R + 16	40/ 60 000	
CENTRE D'AFFAIRES VILLE MOYENNE (5)	ouvertes	69/71	12	R + 8	18/ 25 000	R + 2	21/ 30 000
	dans la	=	25	R + 8	21/ 30 000	R + 4	25/ 35 000
	journée	60 +	50	R + 8	30/ 40 000	R + 12	30/ 40 000
			50	-	-	-	32/ 42 000
			75	R + 8	37/ 50 000	R + 8	-
		9/11	100	R + 8	50/ 80 000	R + 16	45/ 75 000
GRAND CENTRE URBAIN, BUREAUX	fermées	73/78	12	R + 8	35/ 90 000	R + 6	32/ 85 000
	24 h/j	=	25	R + 8	40/120 000	R + 12	42/130 000
	vitres	50 +	50	R + 8	60/180 000	R + 16	60/180 000
	épaisses	23/28	50	-	-	R + 12	60/180 000
			75	-	-	R + 8	70/210 000
			R +12	85/270 000	-	-	

- (1) Seuil de gêne du local plus isolation acoustique de façade. Niveau extérieur tenant compte de la réverbération (dans le cas d'isophones en champ libre, ajouter 3 dBA)
- (2) Distance entre bord de plate-forme et façade.
- (3) Hauteur totale d'immeuble au-dessus du sol; correspond à R + n étages comme suit :
10 m : R + 2 20 m : R + 6 30 m : R + 10 35 m : R + 12 50 m : R + 16
- (4) Trafic journalier à terme (dans 10 ou 15 ans) de la route express à circulation continue et chaussée moderne :
 - . en cas de chaussée rugueuse (+ 2 dBA) ne garder que les 2/3 du J lu,
 - . en cas de feux rouges (+ 5 dBA) ne garder que 1/2 du J lu
 - . en cas des deux, ne garder que J/3 mais vérifier par la formule relative aux rues en géométrie confinée (U ou L voir 1.3.3.).
- (5) En agglomération n'excédant pas 300 à 400 000 habitants.

- ANNEXE 4 -

APERCU SUR LE GUIDE DU BRUIT "HUD 71"
 "NOISE ASSESSMENT GUIDELINES"
 DU MINISTRE DE L'EQUIPEMENT ET DU
 LOGEMENT
 (DEPARTEMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT)

Paru en Août 1971, ce document d'une vingtaine de pages, littéralement intitulé : "Guide pour asseoir les niveaux de bruit", est destiné aux Services qui attribuent l'aide publique aux programmes de logements. Sans jamais mentionner le "décibel", il donne des méthodes conventionnelles (formulaires) et pratiques (abaques) pour pronostiquer les conditions de bruit d'un futur immeuble, en fonction des aéroports, des routes ou des voies ferrées du voisinage.

A partir de cette évaluation quantitative normalisée qu'elle garde pour elle, l'Administration qualifie le site d'agréable, convenable, médiocre ou mauvais (vis-à-vis du bruit) et statue en conséquence.

En fait ces quatre qualificatifs combinent la considération de la vie soit dehors soit à l'intérieur, avec son degré de perturbation (ou non) sur le site :

- . agréable : vie non perturbée, ni dehors, ni dedans :
- . convenable : vie perturbée dehors mais non à l'intérieur des immeubles, même de construction ordinaire sans précaution ;
- . médiocre : la vie n'est possible à l'extérieur qu'à l'abri d'écrans pare-bruit et, à l'intérieur, moyennant insonorisation ;
- . mauvais : même les plus grandes et les plus coûteuses précautions ne peuvent éviter à la vie dehors et dedans d'être très perturbée.

Pour qualifier le site, on considère, pour les aéroports, l'indice isopsophonique N (en fait son homologue américain le C.N.R.), pour les routes, le niveau médian L_{50} (en dBA), pour les voies ferrées, en vue directe ou derrière écrans, la distance d (en m). En comparant HUD 71 et notre guide du bruit, on a pu récapituler les valeurs ci-après :

Site qualifié de	agréable	convenable	médiocre	mauvais
aéroports N. (PNdB)	73	78	93	
routes L_{50} (dBA)	48	64	71	
voies ferrées, vue directe, d (m)	900	180	30	
Voies ferrées, derr. écrans, d (m)	150	30	15	

Le bureau d'études privé, auteur du document, n'a ainsi guère hésité pour admettre, au moins au niveau des sujets exposés, une certaine équivalence entre

trois bruits de nature très différente. Mais lorsque 2 ou 3 de ces bruits se présentent simultanément (et déjà même pour la correction de poids lourds), on ne dit ni comment les prendre en compte ni comment qualifier alors le site (superposition de critères). Enfin, sur quelques cas simples, on a vérifié que des procédés aussi dissemblables que l'abaque américain d'effet d'écran (traduit en distance fictive de reculement) et les cartes d'isophones françaises (atténuation du bruit en dBA) étaient en bon accord numérique.

Imprimerie « La Familiale »
91150 Etampes
Numéro imprimeur 1009
1^{er} trimestre 1973
