



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider-Biskra Faculté des Sciences et de la technologie Département : Architecture

Année universitaire : 2019—2020

1^{ère} année master en Architecture

Matière : Equipement 2 Acoustique du bâtiment

Enseignant : Dr MEZERDI Toufik

Cour N°5: Propagation sonore en espace libre (1)



Plan de la présentation

1- Propagation sonore en espace libre

1.1 Source ponctuelle

1.2 Source ponctuelle directive

1.3 Ligne de sources ponctuelles indépendantes

1.4 Atténuation atmosphérique

1.5 Atténuation due aux écrans (diffraction)



Introduction

Les sources de bruit sont nombreuses, ce qui augmente les difficultés d'en atténuer les effets. Le bruit de la circulation routière et aérienne, de même que le bruit ferroviaire, d'installations portuaires et des chantiers de construction, en sont quelques exemples

Bruit

Lorsqu'un son résulte d'une combinaison de sons complexes non-harmoniques on parle de bruit. On parle de son d'un moteur et de bruits routiers. La notion de bruit est généralement associée à une notion de gêne.

Le bruit est défini par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) comme étant tout son considéré comme indésirable . Ces sons indésirables peuvent être non souhaités, dérangement, ou avoir une puissance suffisamment élevée susceptible de causer des effets néfastes sur la santé .



Propagation sonore en espace libre (1)



Le bruit environnemental

Le *bruit environnementale* fait référence à tout bruit, peu importe sa source, excluant les bruits en milieux de travail. Il inclut donc le bruit de la circulation routière, du transport ferroviaire et aérien, celui des industries, de la construction et des travaux publics ainsi que le bruit de voisinage [intérieur et extérieur] et d'activités culturelles ou de loisirs (terrains de jeux, discothèques, spectacles, chasse, etc.)

Sources de bruit

Les sources de bruit peuvent être caractérisées par leur directivité, la nature de leur évolution temporelle, et la nature du milieu de transmission.

Une source omnidirectionnelle se caractérise par une directivité (répartition spatiale de l'intensité acoustique) constante dans l'espace. L'explosion d'un

ballon de baudruche constitue une **source omnidirectionnelle**.



Propagation sonore en espace libre (1)



<https://www.inspq.qc.ca/publications/2450>

En acoustique physique on adopte les concepts de source **ponctuelle**, **linéaire**. Une voie de circulation pourra être assimilée à une source linéique.

https://www.paca.ars.sante.fr/sites/default/files/2016-12/plan_local_urbanisme_bruit_0.pdf



Exemples sources de bruit



Propagation sonore en espace libre (1)



L'aménagement et la gestion du territoire comptent parmi les mesures efficaces et primordiales de contrôle et d'atténuation du bruit

Les meilleures pratiques d'atténuation du bruit environnemental sont variées, allant du **design des rues, en passant par l'orientation des édifices et des pièces intérieures, sans oublier les écrans antibruit et l'ajout de végétaux disposés de manière optimisée**. Bien que l'efficacité de plusieurs de ces mesures soit quantifiée, elles restent mal connues.

Comme le bruit environnemental a des effets nuisibles sur la santé physique, psychosociale et sur la qualité de vie de la population, l'application de ces solutions permettra de protéger adéquatement du bruit les espaces sensibles (résidences, garderies, écoles, hôpitaux, parcs, etc.), mais aussi les activités industrielles, commerciales, de loisir et les espaces dédiés aux infrastructures de transport.



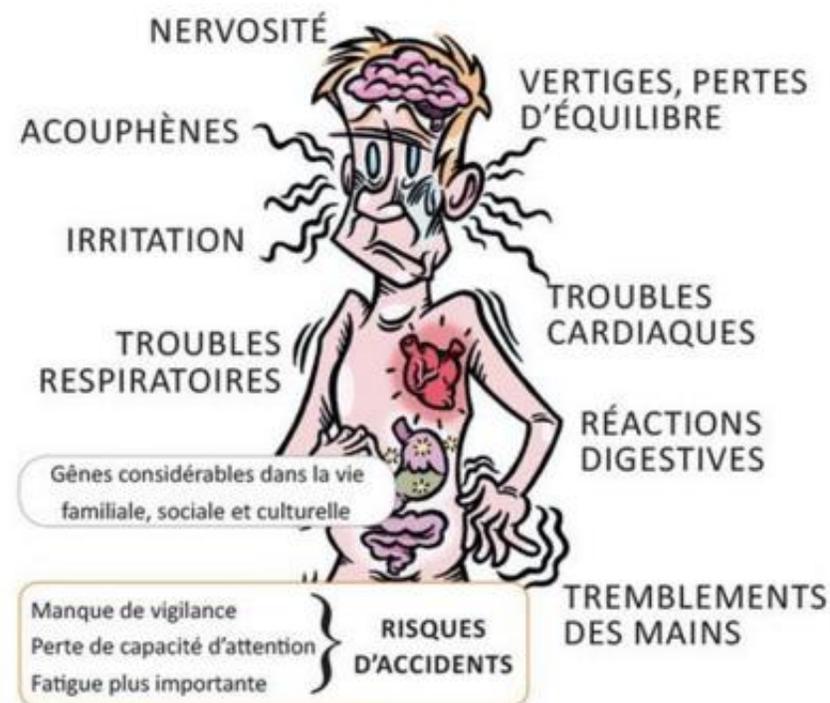
Propagation sonore en espace libre (1)



1-2 Effets sur la santé et le bien-être

Les recherches montrent qu'il existe des preuves suffisantes pour établir un **lien entre l'exposition à certaines sources de bruit environnemental et des effets physiques et psychosociaux**. Le bruit environnemental n'est pas qu'une simple nuisance, mais bien un polluant environnemental qui constitue **un risque pour la santé et pour la qualité de vie de la population**. Les conséquences du bruit environnemental sur la santé et la qualité de vie peuvent se prolonger même après que l'exposition ait cessé. Le bruit a aussi des effets économiques bien documentés.

Le bruit, une nuisance dès 80 dB(A)
Les effets du bruit sur l'organisme



Le bruit entraîne des troubles sur l'ensemble de nos sens !



Remarque : Non-habitude au bruit – Il est important de savoir qu'il n'y a pas d'adaptation physiologique au bruit, même si on croit s'y habituer. « L'audition est en fonction 24 h sur 24. En effet, l'oreille n'a pas de « paupières ». Cette absence de protection fait en sorte qu'elle ne se repose jamais (Martin R, Deshaies P, Poulin M. 2015.)»

1-3 Effets économiques

En plus des effets sur la santé, la littérature scientifique montre aussi des effets économiques attribuables au bruit. En effet, des études soulignent des **valeurs foncières moindres dans les secteurs affectés par le bruit** des transports , ce qui se traduit par des revenus plus faibles pour les municipalités, mais aussi pour les propriétaires, lors de la revente de leur immeuble. (Conseil national du bruit et Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie. 2016)



Le bruit, un enjeu fort de l'aménagement

Le bruit peut devenir un enjeu prioritaire lorsque l'exposition de la population aux nuisances sonores risque d'entraîner une dégradation importante de ses conditions de vie et de sa santé. Il sera alors essentiel d'identifier les points de conflits ou d'incompatibilité entre les sources de bruit existantes ou futures et les zones calmes à préserver. Les solutions en vue de limiter l'exposition des populations à des niveaux de bruit excessifs pourront alors être **intégrées en amont**, au moment de l'élaboration du plan d'urbanisme.

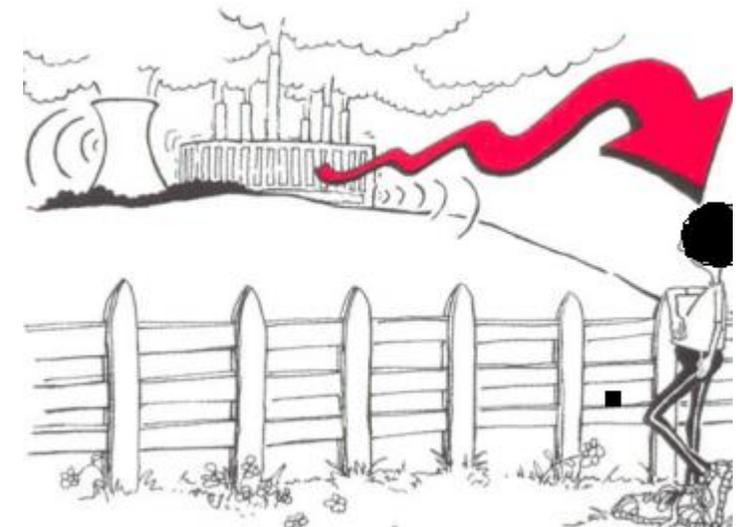


Propagation sonore en espace libre (1)



Facteurs essentiels affectant la propagation du bruit

- Type de source (ponctuelle ou linéaire),
- L'éloignement par rapport à la source,
- L'absorption atmosphérique,
- La vitesse et la direction du vent,
- La température,
- La présence d'écrans acoustiques ou de bâtiments,
- La nature et l'état du sol,
- Les réflexions acoustiques,
- L'humidité relative,
- La présence de précipitations.





Propagation sonore en espace libre (1)



Réglementation

Bâtiments d'habitation: pour les habitations admises dans les zones exposées au bruit l'isolement acoustique des pièces principales et des cuisines exposées au bruit de l'espace extérieur doit être au minimum ,suivant les cas , de 30 a 45 dB par rapport a un bruit de **trafic** a l'émission ,et de 35d B Par rapport a un bruit **rose** a l'émission dans la zone définie par le plan d'exposition au bruit des aérodomes

Etablissement d'enseignement et de santé :isolement acoustique exigé variara de 30 à 45 dB ; en aucun cas il ne sera inferieur a 30 dB

Hôtels : isolement acoustique exigé variara de 30 à 45 dB ; en aucun cas il ne sera inferieur a 30 dB



Propagation sonore en espace libre (1)



Réglementation algérienne pour la lutte contre le bruit

Décret exécutif n° 91-175 du 28 mai 1991

définissant les règles générales d'aménagement d'urbanisme et de construction. L'article 4 de ce décret stipule que lorsque les constructions sont susceptibles en raison de leur localisation d'être exposées à des nuisances graves dues notamment au bruit, le permis de construire peut être refusé ou n'être accordé, que sous réserve des prescriptions spéciales édictées par les lois et règlements en vigueur.

Décret exécutif n° 93- 184 du 27 juillet 1993

réglementant l'émission des bruits en application de l'article 121 de la loi n°83-03 du 5 février 1983, susvisée.

- Art. 2: Les niveaux sonores maximums admis dans les zones d'habitation et dans les voies et lieux publics ou privés sont de 70 décibels (70 dB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 45 décibels (45 dB) en période nocturne (22 heures à 6 heures).



Propagation sonore en espace libre (1)



- Art. 3: Les niveaux sonores maximums admis au voisinage immédiat des établissements hospitaliers ou d'enseignement et dans les aires de repos et de détente ainsi que dans leur enceinte sont de 45 décibels (dB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 40 décibels (dB) en période nocturne (22 h à 6 h).
- Art. 4: Sont considérés comme une atteinte à la quiétude du voisinage, une gêne excessive, une nuisance à la santé et une compromission de la tranquillité de la population, toutes les émissions sonores supérieures aux valeurs limites indiquées aux articles 2 et 3 ci -dessus.
- Art. 7: Les infrastructures sont construites, réalisées et exploitées en tenant compte des bruits aériens émis par leurs activités.
- Art. 8: Les constructions à usage d'habitation ou à usage professionnel sont conçues et réalisées en tenant compte de la qualité acoustique des murs et planchers.



Propagation sonore en espace libre (1)



Choix du terrain et utilisation du site

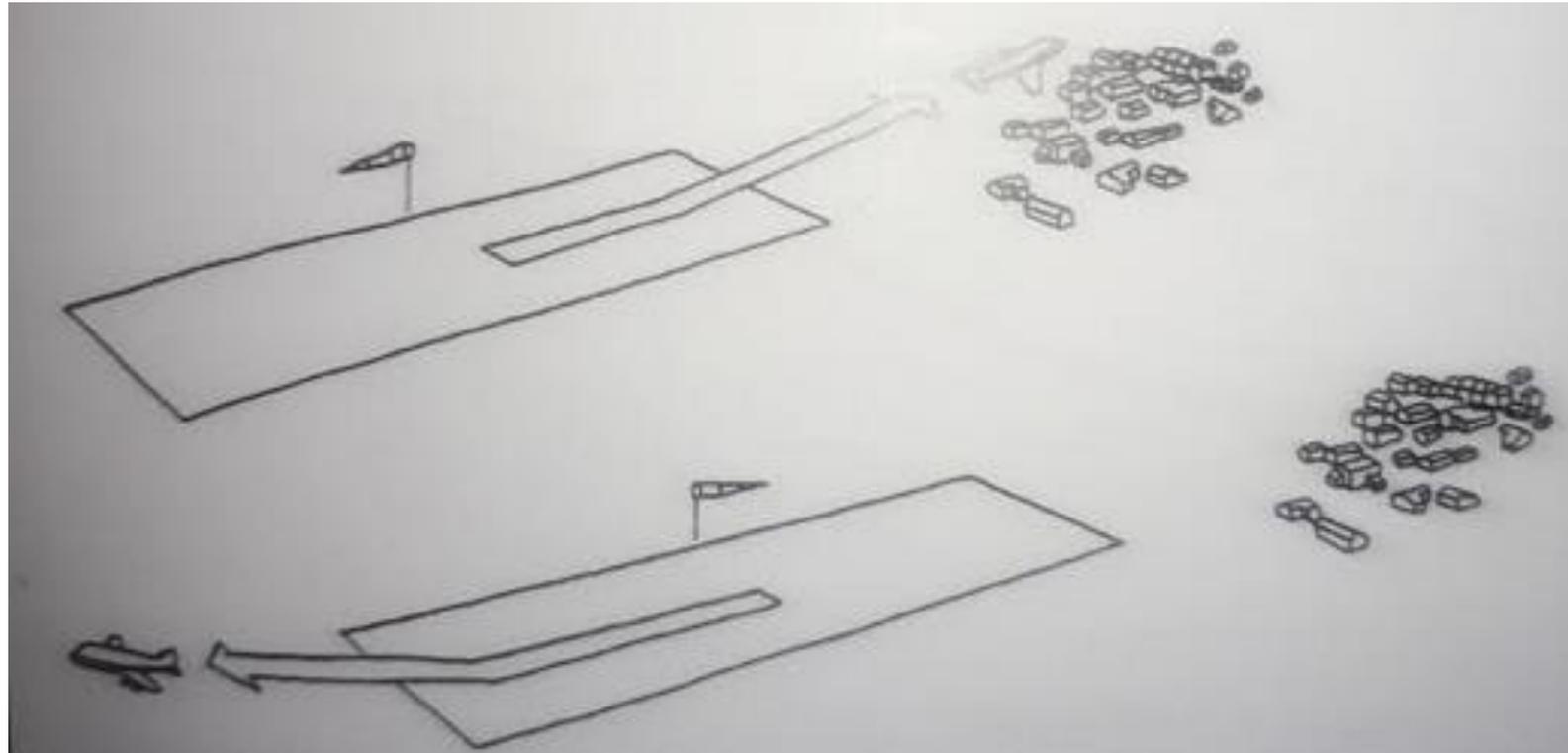
Quant il est possible de choisir le terrain ou la construction est envisagée il faut pour chaque emplacement ,étudier toutes les sources sonores dans l'espace et Dans le temps

Dans l'espace elle dépend du type de sources sonores : une source sonore fixe ,comme celle d'une usine ou d'une éolienne ,et facilement localisable ce qui n'est pas le cas d'une source sonore qui se déplace ,comme les avions aux Bords des aéroports.

Dans le tems il s'agit d'une prise en compte de la durée du bruit , de sa répétitivité et de l'heure a laquelle se produit ce bruit . Il est important de savoir si l'usine la plus proche est en activité la nuit et le samedi , si le décollage des avions varie au fil du temps



Propagation sonore en espace libre (1)



Variation du sens de décollage des avions en fonction du vent

Il faut également prendre en considération l'évolution du niveau sonore dans le Future (augmentation du trafic prévues)



Propagation et atténuation du bruit

Propagation géométrique Dans la mesure du possible il faut éloigner les bâtiment de la source émettrice du bruit mais l'éloignement est plus au moins efficace suivant que la source du bruit est **ponctuelle ou linéaire**

1 Atténuation géométrique du son direct Dans le cas d'une source ponctuelle, l'énergie sonore est répartie sur des fronts **d'onde sphériques** dont le diamètre va en s'amplifiant. Un redoublement de la distance entraîne une baisse du niveau de pression acoustique de 6 dB.

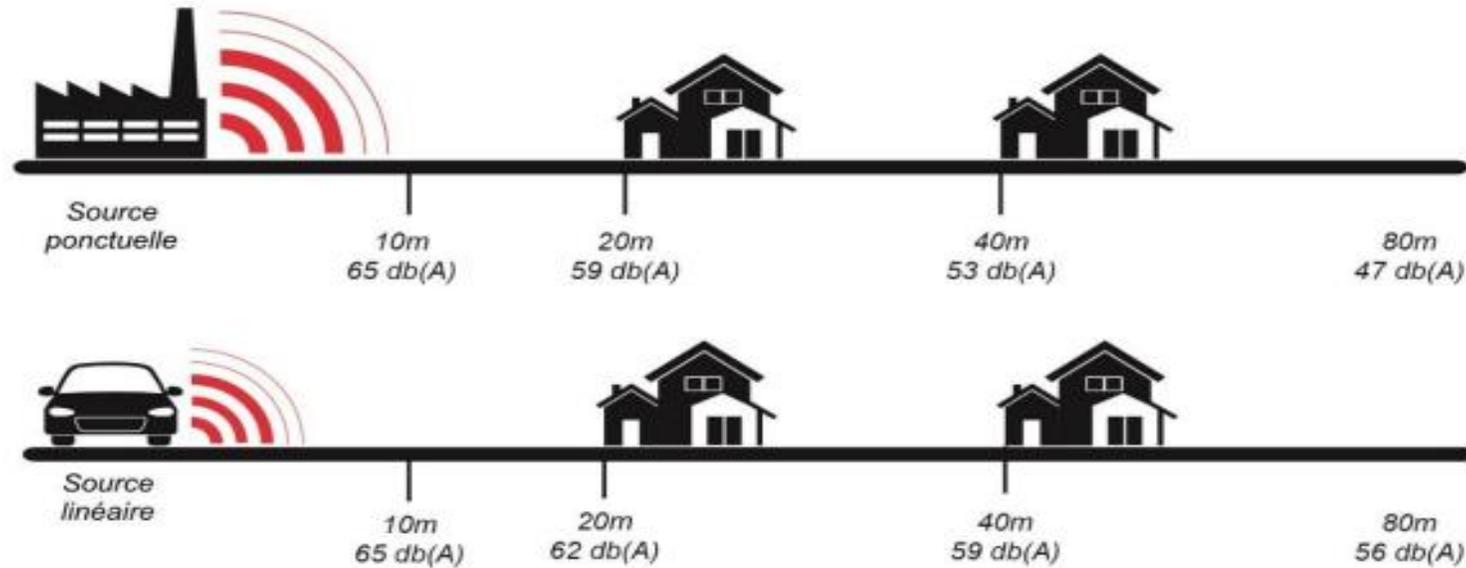
Dans un espace libre, pour une source ponctuelle immobile (ayant un front d'onde sphérique), la pression acoustique décroît proportionnellement avec le carré de la distance. Ceci se traduit en niveau de bruit par :

$$L_p = L_w - 10 \log (4\pi R^2) + 10 \log (Q)$$

Où R est la distance L_w est le niveau de pression acoustique de la source sonore et Q un facteur de directivité proportionnel qui vaut 1 pour une propagation sphérique (champ libre) et 2 pour un champ de propagation hémisphérique.



Propagation sonore en espace libre (1)

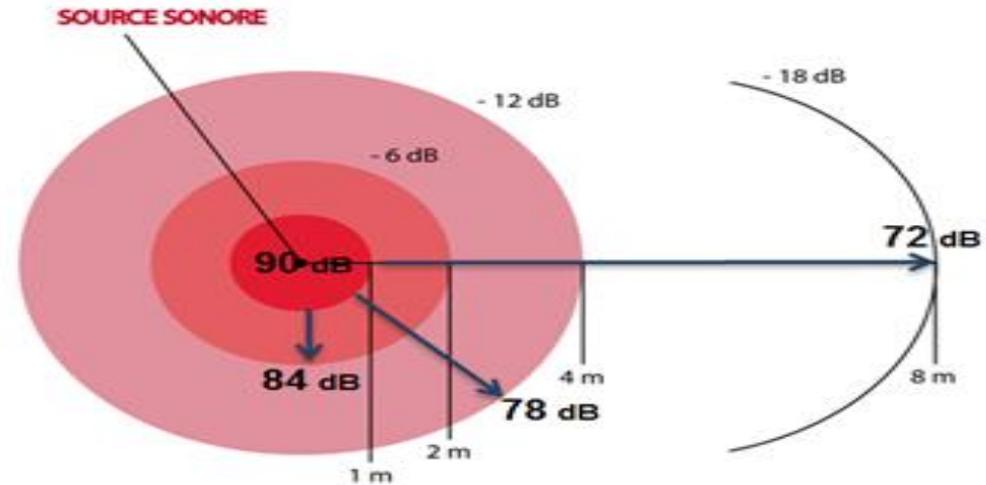


Propagation et atténuation du son avec la distance

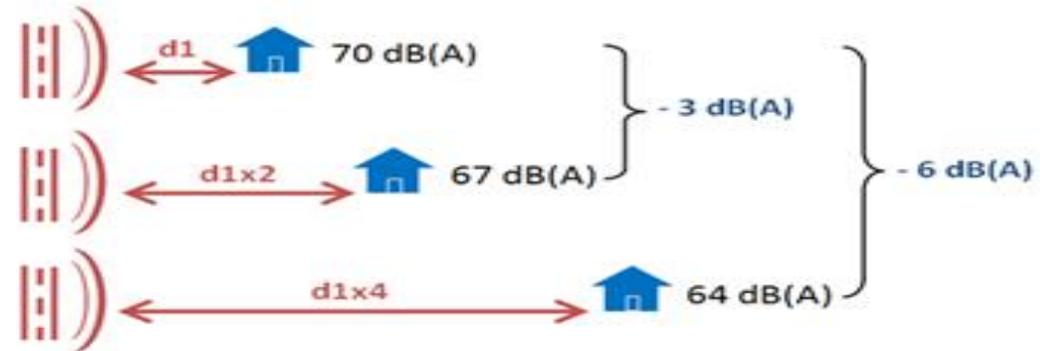
Une autoroute droite et à forte affluence est un exemple de **source linéaire**. Dans ce dernier cas, les fronts d'onde adoptent une **forme cylindrique** dont la source constitue l'axe commun. Un redoublement de la distance entraîne une baisse du niveau de pression acoustique **de 3 dB**. Dans le cas d'un front d'onde plan, comme pour le piston se déplaçant dans un tube, il n'y a aucune baisse du niveau de pression acoustique par propagation géométrique.



Propagation sonore en espace libre (1)



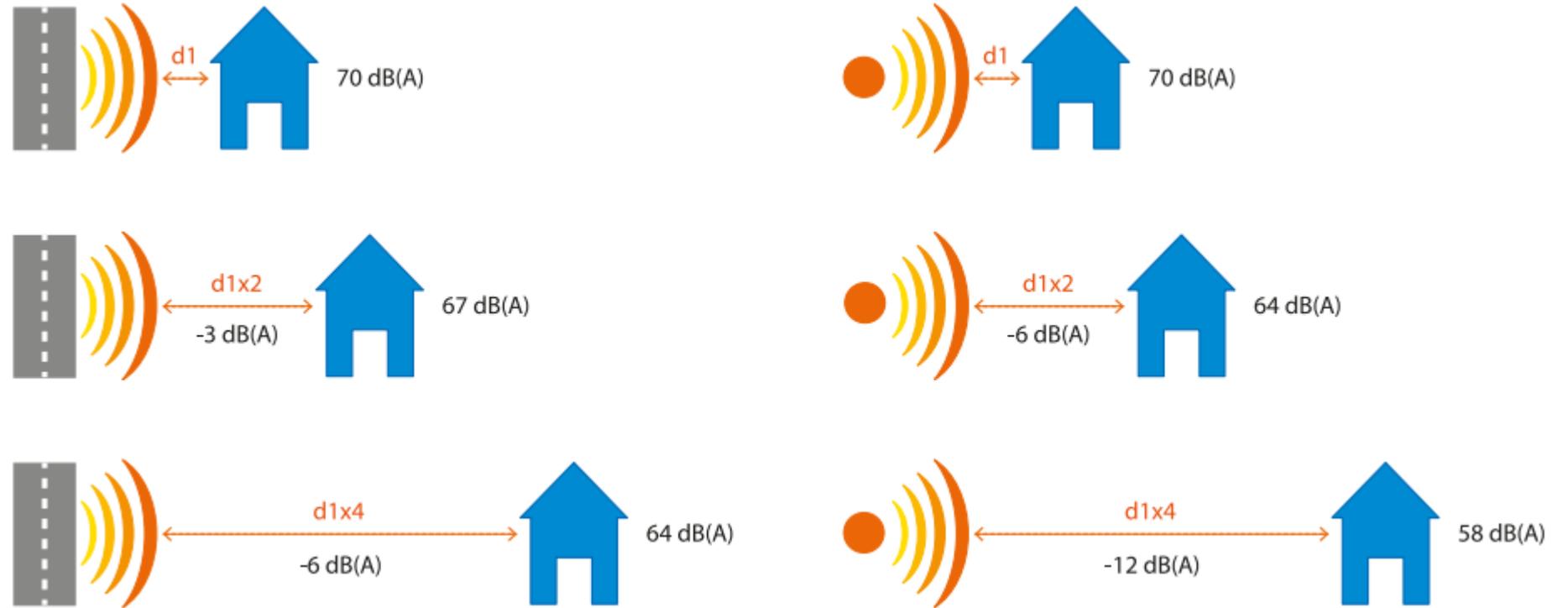
Source ponctuelle :
décroissance de 6 dB
par doublement de
distance



Source linéaire :
décroissance de 3 dB
par doublement de
distance



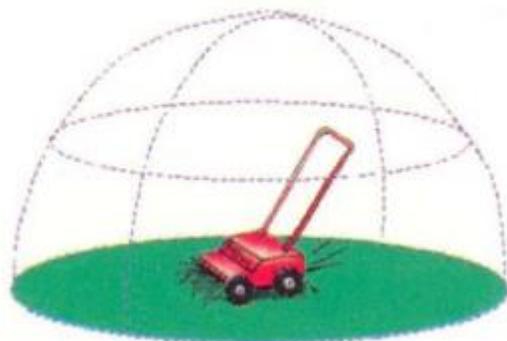
Propagation sonore en espace libre (1)





Propagation sonore en espace libre (1)

source ponctuelle

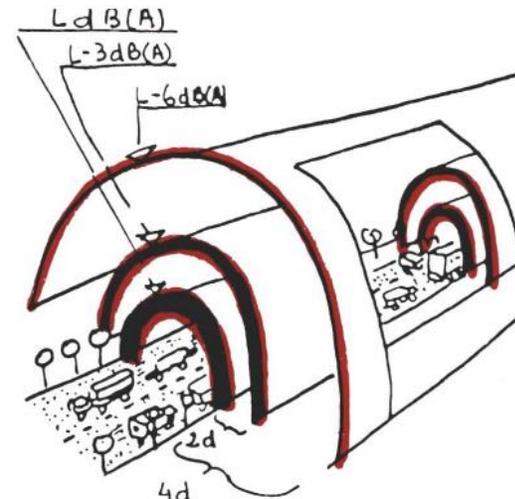


Les ondes sphériques

S sphere $S = 4 \pi r^2$

La surface de la sphere varie comme le Carré du rayon cela signifie que le doublement du rayon Permet a l'energie acoustique de se répandre sur une surface Quatre fois plus grande et donc que l'énergie passant par unité de surface est quatre fois plus petite qu'initialement

source linéaire



Les ondes cylindrique

S sphere $S = 2 \pi r h$

La surface de cylindre varie comme le Le rayon cela signifie que le doublement du rayon Permet a l'energie acoustique de se disperser sur une surface deux fois plus grande et donc que l'énergie passant par unité de surface est deux fois plus petite qu'initialement

L'affaiblissement acoustique du à l'éloignement est moins efficace pour les sources Linéaires que pour les source ponctuelles



2 Atténuation du son direct par dissipation atmosphérique en vibrant sous l'action de l'onde sonore, les molécules composant l'air subissent des frottement les unes contre les autres. Elles produisent ainsi de la chaleur. Il s'ensuit une déperdition d'énergie car l'énergie transformée en chaleur est à déduire de l'énergie acoustique émise par la source. L'atténuation du niveau sonore qui en résulte est appelée

Atténuation du son direct par dissipation atmosphérique

2.1 Variation du phénomène de dissipation selon la fréquence

L'atténuation par dissipation augmente avec la fréquence à grande distance d'une source, les sons GRAVES sont davantage audibles que les sons AIGUS plus vite dissipés.

✓ Les vibrations de très basse fréquence produites lors des séismes voyagent sur de grandes distances dans la croûte terrestre et peuvent être détectées à des milliers de kilomètres de leur épicentre ;

✓ C'est également en raison de la faible dissipation des sons graves que certains animaux (comme les éléphants et les baleines) utilisent des infrasons (très basses fréquences) pour communiquer sur de longues distances.



Propagation sonore en espace libre (1)



2.2 Variation du phénomène de dissipation selon le taux d'humidité et la température L'atténuation par dissipation dépend aussi de l'humidité de l'atmosphère . Excepté pour des atmosphères très sèches et des basses températures , l'atténuation diminue si l'humidité augmente . C'est pourquoi les sons se propagent plus loin par temps humide que par temps sec. Lorsque les bruits lointains sont bien perçus on peut en déduire que l'air est chargé d'humidité.





Propagation sonore en espace libre (1)



Barrières acoustiques – écrans antibruits (voir cours °6)

Absorption atmosphérique :

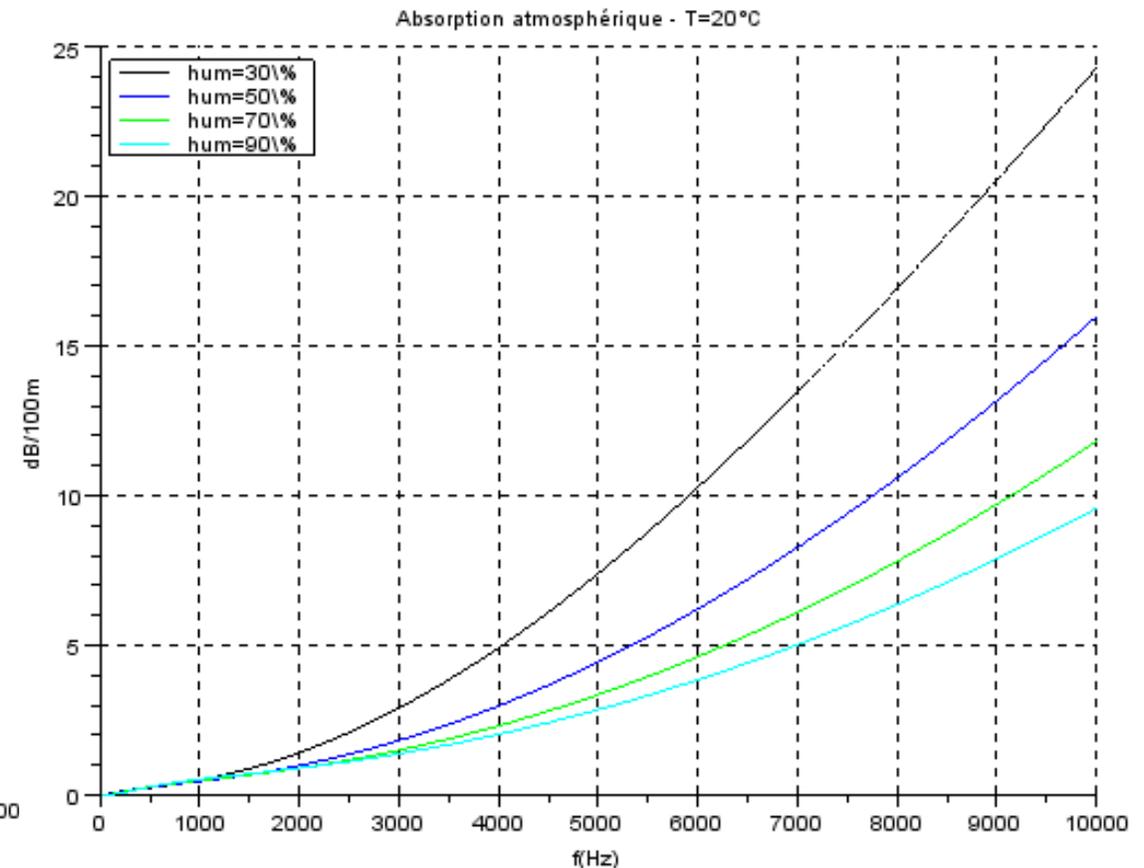
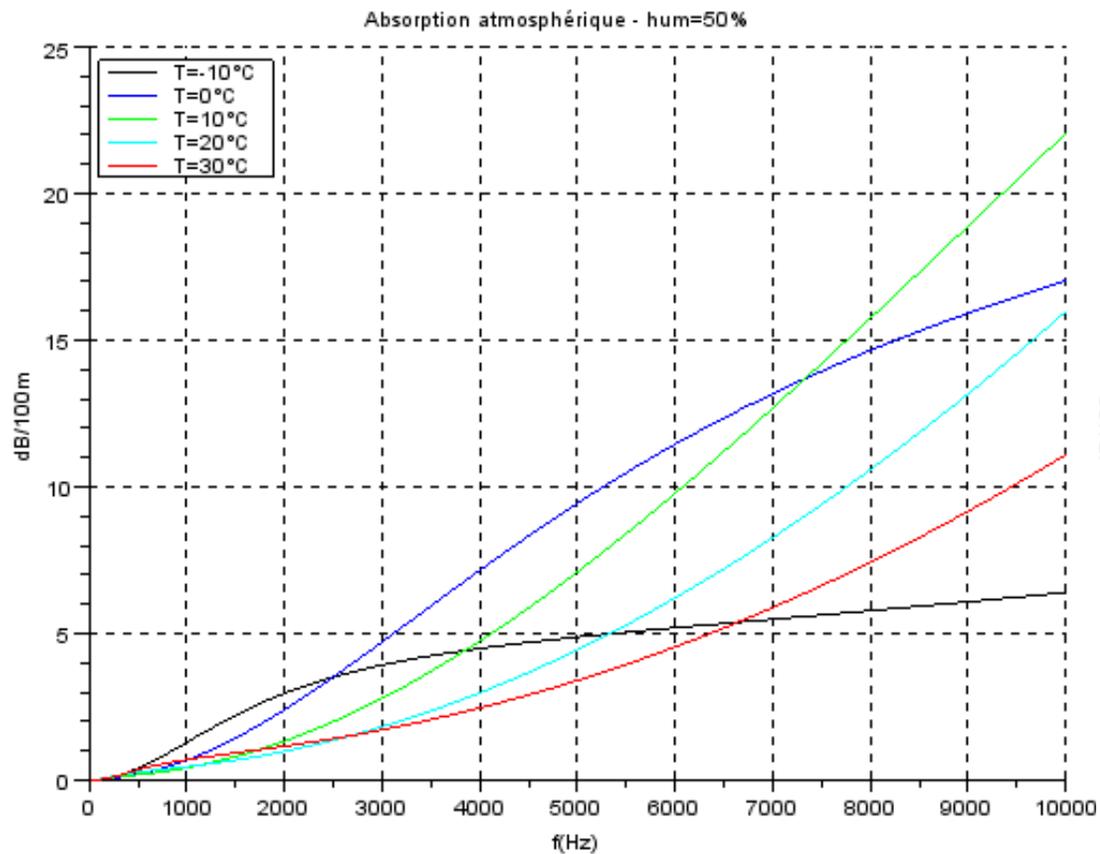
L'absorption atmosphérique est un phénomène qui dépend de la température (plus il fait chaud et plus l'absorption diminue) et du taux d'humidité de l'air (plus l'humidité augmente et plus l'absorption diminue). Elle affecte davantage les hautes fréquences que les basses fréquences acoustiques, et n'a en général un effet significatif que sur des distances de propagation importantes (ex : 1 dB/km à 200 Hz et plus de 40 dB/km à 5 kHz, pour $T=20^{\circ}\text{C}$ et une humidité relative de 50 %).



Propagation sonore en espace libre (1)

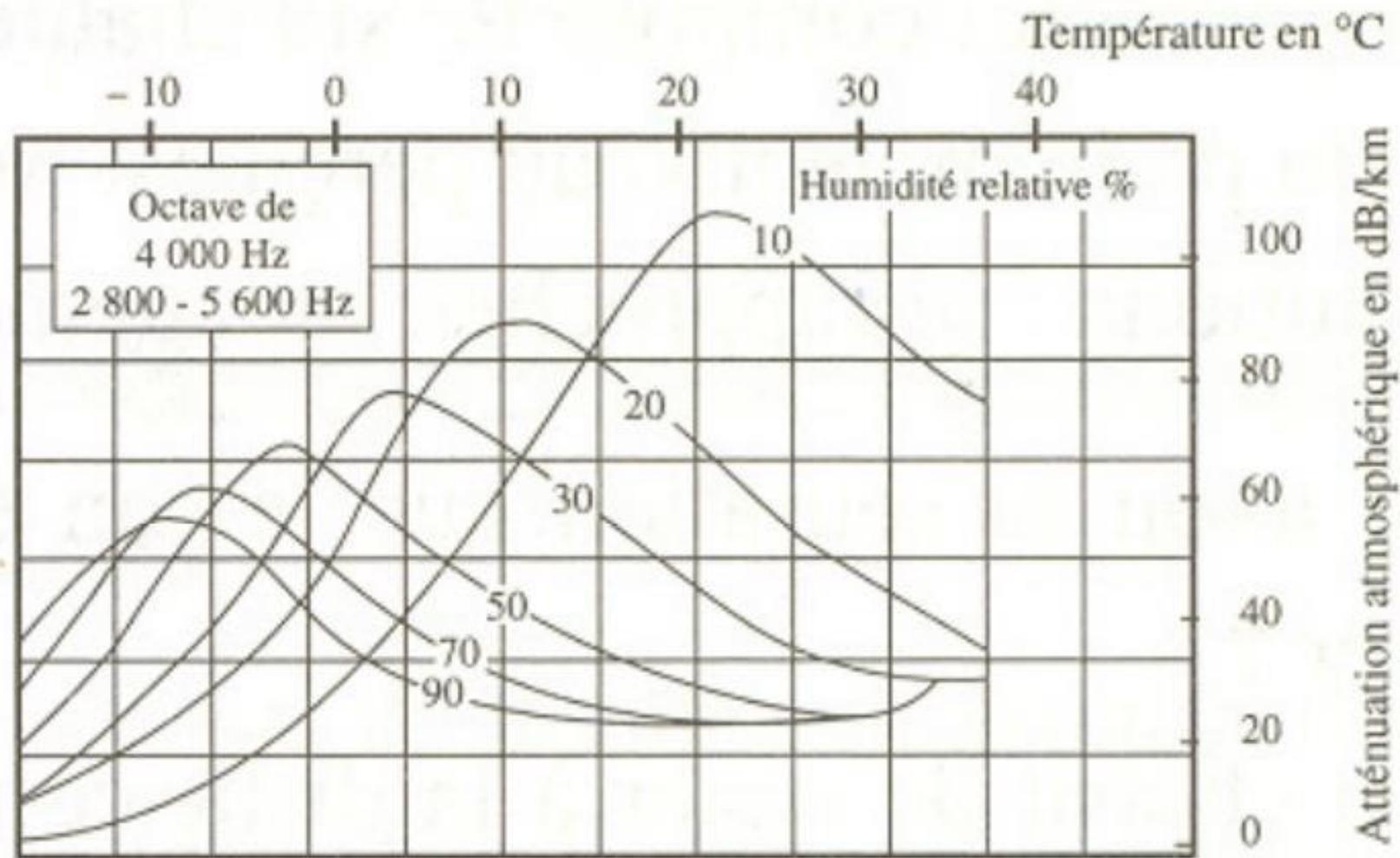


L'effet de la température sur la dissipation est plus complexe les courbes donnent L'atténuation en fonction de la température et du degré d'humidité de l'air Par exemple à 4000 Hz pour une température de 20c° et une humidité relative de 30 % l'atténuation par dissipation est de ± 50 dB par Km.





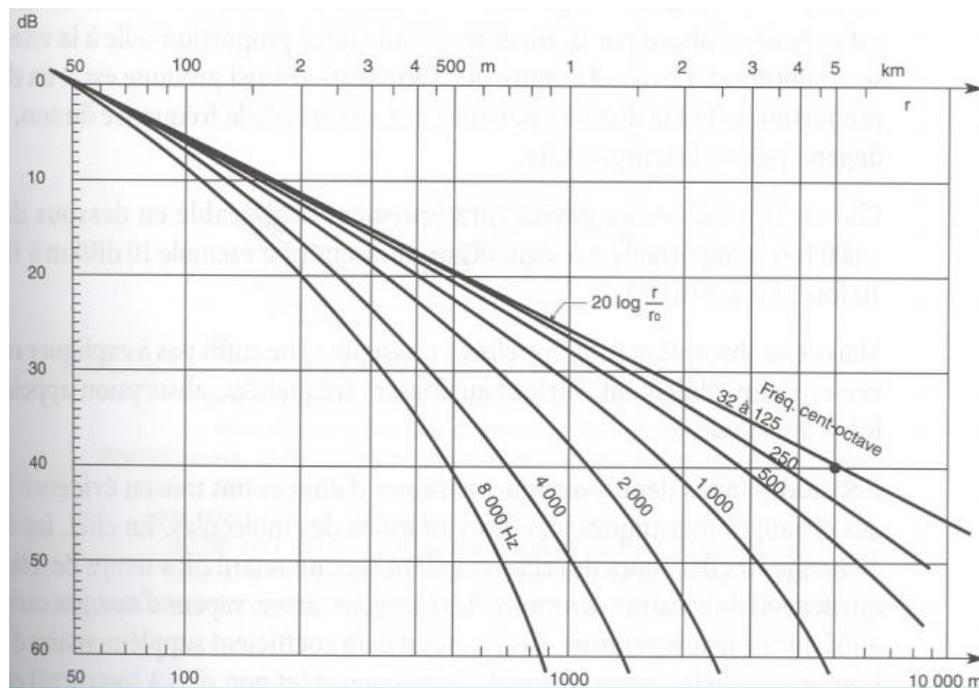
Propagation sonore en espace libre (1)





Propagation sonore en espace libre (1)

Atténuation totale (géométrique + absorption atmosphérique)
Par octave du son dans l'air en fonction de



Atténuation totale (géométrique + absorption atmosphérique) par octave du son dans l'air en fonction de la distance parcourue et pour diverses bandes de fréquence. La droite supérieure (de pente 6 dB par doublement de distance) donne l'atténuation géométrique due à la diffusion sphérique des ondes. La distance entre cette droite et l'une des courbes indique, pour cette distance, l'absorption moyenne dans l'octave, due à la viscosité et aux échanges moléculaires dans l'air. Celle-ci varie avec la température et l'humidité : elle est donnée ici pour 15°C et 50% d'humidité relative.



Propagation sonore en espace libre (1)



Lorsqu'une source sonore émet un son, elle s'entoure d'un *champ acoustique*. La perception du son est fonction des conditions d'écoute.

On parle de *champ libre* si les ondes acoustiques se propagent librement (*pas ou peu de réflexion*, on ne perçoit que le *son direct*).

Le niveau sonore en intensité décroît à mesure que l'on s'éloigne de la source.

Deux phénomènes sont responsables de cette atténuation :

✓ une *atténuation géométrique*, due au fait que l'énergie sonore est répartie sur une surface d'onde de plus en plus grande, à mesure qu'on s'éloigne de la source.

Cette atténuation ne dépend pas de la fréquence.



Propagation sonore en espace libre (1)



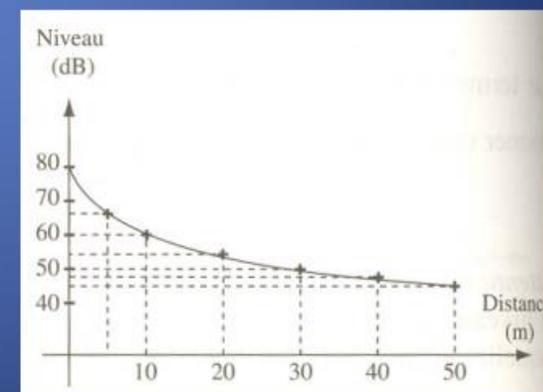
✓ une *atténuation par dissipation atmosphérique*, due au *frottement* des molécules composant l'air les unes sur les autres.

Cette atténuation dépend de la fréquence.

Par exemple, calculons les niveaux d'intensité d'une source de puissance L_w à différentes distances r de la source en fonction du niveau de la source à 1m.

Distance r (m)	$L(r) - L(1 \text{ m})$ (dB)
2	- 6
5	- 14
10	- 20
20	- 26
30	- 29,5
40	- 32
50	- 34

En prenant par exemple comme référence un niveau de 80 dB à 1m, on peut tracer l'allure de la décroissance du niveau en fonction de la distance ; cette courbe montre que le *niveau d'intensité décroît rapidement, puis de plus en plus lentement* à mesure que l'on s'éloigne de la source. C'est le caractère logarithmique du niveau qui explique cette tendance.





Propagation sonore en espace libre (1)



Brillouin, J. (1939). Forme et propagation des ondes sonores dans un espace limité par des surfaces absorbantes. *Journal de Physique et le Radium*, 10(12), 497-503.

Junker, F., Gauvreau, B., Blanc-Benon, P., Cremezi-Charlet, C., Ecotiere, D., Baume, O., & Cotté, B. (2006). Classification de l'influence relative des paramètres physiques affectant les conditions de propagation à grande distance. *Rapport final du projet MEDD*.

ANDRREV, V., KARABUTOV, A., & RUDENKO, O. (1985). Etude expérimentale de la propagation des faisceaux sonores non linéaires dans l'espace libre. *Akustičeskij žurnal*, 31(4), 423-428.

Recommandation, U. I. T. R. P. (2009). Propagation par diffraction. *International Telecommunication Union*, 526-511.

Gauvreau, B., ARU, L. N. D. E. S., Ecotière, D., Lefèvre, H., Bonhomme, B., & Blois, L. R. P. C. (2009). Propagation acoustique en milieu extérieur complexe. *Éléments méthodologiques et métrologiques*.

Gauvreau, B., Ecotiere, D., Lefevre, H., & Bonhomme, B. (2009). Propagation acoustique en milieu extérieur complexe. Caractérisation expérimentale in-situ des conditions micrométéorologiques. Eléments méthodologiques et métrologiques. *Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées*.

Picaut, J., Guillaume, G., & Dutilleux, G. (2012). Ambiances sonores urbaines et interaction ville-bâtiment.