

# Devoir à la maison

à rendre pour le lundi 12 juin 2023  
en cours ou par email à denis.duhamel@enpc.fr

Ce devoir vise à étudier le bruit engendré par une circulation automobile sur une voie routière et son impact sur le niveau sonore dans une salle.

## I) Bruit d'une file de voitures

- 1) Soit une source ponctuelle harmonique de pulsation  $\omega$  engendrant le champ de pression

$$p(r) = A \frac{e^{ikr}}{4\pi r} \quad (1)$$

avec  $k = \omega/c$  et  $c = 340m/s$ . Déterminer la puissance acoustique moyenne sur une période de cette source en fonction de l'amplitude  $A$  de la source.

- 2) Exprimer le module carré du champ de pression en fonction de cette puissance.
- 3) On considère une file de voitures engendrant le champ de pression

$$p(\mathbf{x}) = \sum_{-\infty}^{+\infty} A_j \frac{e^{ikr_j}}{4\pi r_j} \quad (2)$$

au point  $\mathbf{x}$  avec  $r_j = |\mathbf{x} - \mathbf{x}_j|$  et  $\mathbf{x}_j$  est la position de la voiture  $j$ . On suppose que toutes les voitures rayonnent de façon incohérente et avec la même puissance acoustique. Déterminer la valeur de  $|p|^2$  en un point  $\mathbf{x}$  de l'espace.

- 4) On suppose que les voitures sont assez proches pour remplacer la somme précédente par une intégrale. On notera  $l$  la distance entre deux voitures et  $d$  la distance du point de calcul de la pression à la file de voitures, voir figure 1. Calculer la valeur de cette intégrale.

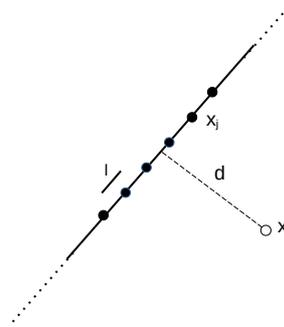


FIGURE 1 – File de voitures.

- 5) On suppose que la puissance acoustique d'une voiture est de  $80dB$  et que les voitures sont distantes de  $10m$ . Calculer le niveau sonore de la file de voitures à  $10m$  et à  $100m$ . Comparer avec les niveaux d'une source ponctuelle aux mêmes distances.

## II) Efficacité d'une fenêtre

On suppose qu'une fenêtre est située à une distance horizontale  $d$  et à la même hauteur que la file de voitures. On suppose également que le son produit par la voiture en position  $r_j$  arrive sur la fenêtre sous forme d'une onde plane avec un angle  $\theta_j$  (voir figure 2). On suppose que la fenêtre est une paroi mince de masse surfacique  $m$ .

- 1) En s'inspirant des calculs effectués dans les sections 8.2.1 et 9.2.1 du polycopié, déterminer le facteur de transmission de la puissance acoustique de la fenêtre qui sépare deux milieux remplis d'air.
- 2) Quelle est la norme du vecteur intensité acoustique sur la face extérieure de la fenêtre due à une voiture en position  $\mathbf{x}_j$  ?
- 3) Quelle est la norme du vecteur intensité acoustique sur la face intérieure de la fenêtre due à une voiture en position  $\mathbf{x}_j$  ?

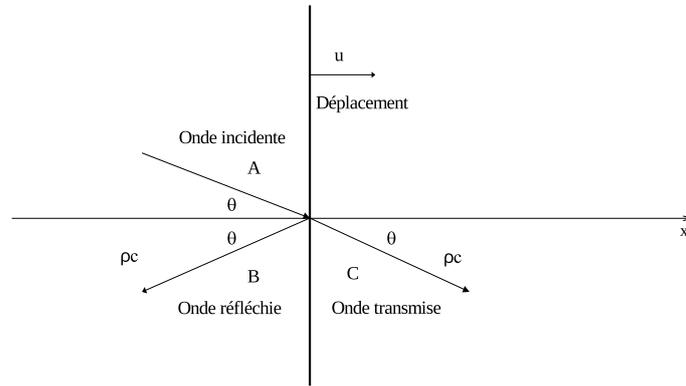


FIGURE 2 – Paroi mince séparant deux domaines fluides avec une onde plane d’incidence  $\theta$ .

Fréquence en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau en dB	60	70	73	78	70	60

TABLE 1 – Niveau sonore en fonction de la bande d’octave.

- 4) En suivant le même raisonnement que pour la question I.4, en supposant les sources incohérentes entre elles, quelle est la somme des intensités acoustiques sur la face intérieure de la fenêtre due à toute la file de voitures ?
- 5) Application numérique dans le cas où la fenêtre est à la distance  $d = 10m$ , d’épaisseur  $3mm$ , la masse volumique du verre étant  $\rho = 2500kg/m^3$ . Tracer le niveau sonore à l’intérieur de la fenêtre en fonction de la fréquence dans la bande  $[20Hz, 5000Hz]$ .

### III) Acoustique de la salle

- 1) La fenêtre est située sur la paroi d’une salle dont le plafond et le plancher ont un coefficient d’absorption de 0.2 alors que les murs ont un coefficient d’absorption de 0.04. La salle est de longueur 10m, de largeur 5m et de hauteur 3m. Quel est le temps de réverbération de la salle ?
- 2) Que faudrait-il faire pour augmenter (respectivement diminuer) ce temps de réverbération ?
- 3) On suppose que la fenêtre est de largeur  $L$  et de hauteur  $H$  et qu’elle se comporte, vis à vis du son dans la pièce, comme une source sonore avec une puissance uniforme sur sa surface. Déterminer le niveau sonore dans la pièce en fonction du vecteur intensité (supposé uniforme et normal à la fenêtre) sur la face intérieure de la fenêtre produit par la file de voiture.
- 4) Application numérique avec  $L = 1m$  et  $H = 2m$  et les valeurs utilisées pour la question II.4. Tracer ce niveau sonore en fonction de la fréquence

### IV) Etude paramétrique

Le son produit par une voiture n’est en fait pas uniforme selon la fréquence. Le tableau 1 donne un exemple de répartition du niveau sonore en fonction des octaves principales où se concentre le son.

- 1) A partir des données du tableau 1, calculer le niveau sonore global produit par une voiture.
- 2) Calculer le niveau sonore global dans la pièce du au bruit de circulation.
- 3) On envisage de faire des travaux sur la route pour poser un enrobé drainant qui va modifier le niveau d’émission des véhicules pour engendrer un niveau sonore au niveau des véhicules donné par le tableau 2. Quel est le gain en terme de niveau sonore dans la pièce ?
- 4) On reprend les données du tableau 1, mais on veut maintenant modifier le revêtement de la pièce pour que les murs aient un coefficient d’absorption de 0.1. Quel est le gain en terme de niveau sonore dans la pièce ?
- 5) On remplace la fenêtre par une autre de masse surfacique double. Quel est le gain en terme de niveau sonore dans la pièce ?

Fréquence en Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau en dB	58	67	69	70	60	50

TABLE 2 – Niveau sonore avec enrobé drainant en fonction de la bande d’octave.