

TP4 : Mesure de la vitesse du son

Objectifs Durant ce TP, nous allons travailler sur les ajustements de modèles linéaires (chapitre 3 du polycopié) sur des graphes. Nous allons notamment utiliser les relations analytiques pour les ajustements classiques et comparer avec les résultats donnés par différents modules Python.

Compte-rendu de TP : check-list

Afin d'améliorer la qualité de votre compte-rendu, voici une liste à vérifier vers la fin du TP, avant de soumettre le compte-rendu.

- Présentation des résultats et rigueur scientifique
 - ☐ Explications de la démarche (quelles mesures et pourquoi, quel modèle théorique attendu...) et présence de conclusions intermédiaires (e.g. vérification que le graphe correspond bien à ce que l'on attend)
 - ☐ Choix du nombre de chiffres significatifs affichés
 - ☐ Unités données à la suite de chaque valeur avec dimension
 - ☐ Discussion sur l'accord entre le résultat obtenu et le résultat attendu (la valeur attendue est-elle dans les barres d'erreurs de la mesure ?)
- Graphiques
 - ☐ Présence d'un titre sur chaque graphique
 - ☐ Présence d'une légende sur chaque graphique avec plusieurs jeux de données
 - ☐ Présence de titre sur les axes de chaque graphique avec unités
 - ☐ Présence des barres d'erreur si existantes
- Lisibilité du code
 - ☐ Nom des variables en adéquation avec les quantités représentées
 - ☐ Présence de texte lors de l'utilisation de la fonction `print : print("Vitesse obtenue:", v, "m/s")` au lieu de `print(v)`
 - ☐ Commentaires dans le code (explication en cas d'implémentation complexe)

1 Mesure de la vitesse du son

Nous allons mesurer la vitesse du son dans l'air. Pour cela, nous allons mesurer le temps de propagation du son entre deux points en utilisant l'application Phyphox et sa fonctionnalité "Chronomètre sonore". Le principe de la mesure consiste à réaliser deux bruits secs successifs, l'un à proximité du téléphone 1, puis l'autre à proximité du deuxième téléphone, comme représenté sur la figure 1.

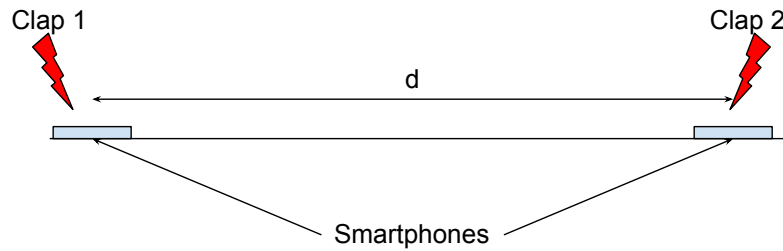


FIGURE 1 – Schéma du dispositif expérimental.

1.1 Questions préparatoires

Essayons de déterminer une relation permettant de déduire la vitesse du son à partir des mesures faites avec les téléphones.

On notera v la vitesse du son et d la distance entre chaque téléphone. Comme les claps ne sont pas parfaitement produits au niveau des téléphones, on pourra considérer une distance a entre le point d'origine du son 1 et un téléphone et b celle entre le point d'origine du son 2 et un téléphone.

Calculer les temps d'arrivée $t_{1 \rightarrow 1}$ et $t_{1 \rightarrow 2}$ du "clap 1" sur le téléphone 1 et sur le téléphone 2. Calculer les temps d'arrivée $t_{2 \rightarrow 1}$ et $t_{2 \rightarrow 2}$ du "clap 2" sur le téléphone 1 et sur le téléphone 2. En déduire l'intervalle de temps entre le temps mesuré par chaque téléphone $\Delta t_1 = t_{2 \rightarrow 1} - t_{1 \rightarrow 1}$ et $\Delta t_2 = t_{2 \rightarrow 2} - t_{1 \rightarrow 2}$. Comment extraire la vitesse du son de ces mesures Δt_1 et Δt_2 ?

Vaut-il mieux faire le bruit au dessus de chaque téléphone ou dans l'alignement des deux téléphones ? Justifier.

1.2 Estimation des erreurs systématiques

Estimer l'erreur sur la position du capteur de son sur chacun des téléphones. Que vaut l'erreur sur la mesure de la distance entre les deux capteurs de son ?

Comment estimer l'erreur sur le temps de vol du son entre les deux téléphones ?

1.3 Prise de données

Nous allons essayer de prendre plusieurs distances entre les deux téléphones, par exemple 0.5 m, 1 m, 2 m, 3 m, 4 m et 5 m.

Placer les téléphones à une distance d . Lancer l'acquisition sur chaque téléphone et faire deux claps successifs. Reléver les valeurs d'intervalle de temps Δt_1 et Δt_2 mesurés par chaque téléphone. Répéter la mesure une dizaine de fois. On pourra ranger les valeurs de distances dans une liste. Les 10 mesures de temps pour les 6 distances pourront être rangées dans un tableau 2D (i.e. une liste de listes) de dimension 6×10 .

A partir de ces mesures, estimer une valeur de $\Delta t_2 - \Delta t_1$ ainsi qu'une erreur. Justifier.

Répéter cette procédure pour les autres distances.

Pour chaque distance, extraire la vitesse du son v . Faire une propagation des erreurs de distance d et de $\Delta t_2 - \Delta t_1$ sur le calcul de v . Quelle erreur est dominante ? Celle sur la distance d ou celle sur $\Delta t_2 - \Delta t_1$?

Tracer la vitesse du son en fonction de la distance ainsi que les erreurs associées. Qu'observez vous ? A partir de toutes ces mesures, en déduire une vitesse moyenne du son ainsi que l'erreur associée. Comparer avec la valeur tabulée $v_{th} = 340$ m/s.

1.4 Ajustement de modèle

Au lieu d'extraire la vitesse du son pour chaque distance, nous allons ajuster le modèle reliant la distance d et la quantité $\Delta t_2 - \Delta t_1$ et déterminer le paramètre v qui convient le mieux. Pour cela, nous allons utiliser les différentes méthodes d'ajustement de modèles décrites dans le chapitre 3 :

- l'estimation analytique par minimisation du χ^2 ,
- la détermination numérique du minimum du χ^2 ,
- l'ajustement par QExPy.

Minimisation numérique de χ^2 . Le χ^2 correspond à la somme des carrés des écarts entre les valeurs trouvées par la mesure et le modèle divisés par l'incertitude sur la mesure.

Créer une fonction qui calcule le χ^2 avec comme paramètre la vitesse v . On prendra soin de choisir les données telles que l'incertitude dominante est prise en compte.

Tracer χ^2 en fonction de v . Quelle forme a cette courbe ? Estimer visuellement la valeur de v qui minimise la valeur du χ^2 .

Construire un algorithme qui détermine la valeur minimale approchée du χ^2 .

Méthode analytique par minimisation du χ^2 Puisqu'il existe une relation linéaire entre d et $\Delta t_2 - \Delta t_1$, nous pouvons déterminer analytiquement la valeur de v qui optimise la valeur de χ^2 .

En utilisant l'équation (75) du cours, calculer le paramètre reliant $\Delta t_2 - \Delta t_1$ et d . On prendra garde à utiliser une relation de telle sorte que les erreurs considérés soient les erreurs dominantes des mesures. En considérant que le χ^2 a une forme parabolique, estimer l'erreur sur le paramètre trouvé. On pourra s'aider des relations données dans le cours. En déduire un intervalle de confiance sur la valeur de la vitesse du son.

Ajustement par QExPy En utilisant les sections du cours détaillant l'utilisation de QExPy, ajuster le modèle aux données : que vaut v et l'erreur associée trouvée par QExPy ? Ajouter les deux barres d'erreur horizontales ; de combien changent la valeur de v et son erreur ?

Comparaison des résultats Est ce que les trois ajustements vous semblent consistent avec la valeur théorique ? Comparer avec vos camarades de classe ; les résultats vous semblent-ils consistant ? Justifier.