

# TP6 : Calibration d'un odomètre

**Objectifs** Dans ce TP, nous allons travailler sur les ajustements de données représentées par des histogrammes. A partir de données d'une certaine grandeur générées avec un détecteur ou avec Python, nous allons extraire la moyenne du pic selon cette grandeur et l'erreur sur cette moyenne. En connaissant la position attendue de ces pics, il est possible de construire une calibration entre les positions et la grandeur des données collectées et d'en déduire la position d'un pic de données.

## 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 Ajustement d'histogrammes

En physique expérimentale, les données sont souvent collectées grâce à des systèmes numériques. Ces systèmes donnent des séries de mesures qu'il est possible de ranger dans des histogrammes ; les grandeurs produites sont souvent arbitraires (souvent des nombres sans unités) et ne correspondent pas à une quantité

physique (comme une vitesse ou une luminosité). Pour pouvoir interpréter ces données, il est alors nécessaire de "calibrer" le détecteur, c'est-à-dire en trouvant une relation entre les grandeurs arbitraires données par le détecteur et les grandeurs physiques associées.

Nous allons donc utiliser des données (sous la forme de trois gaussiennes) dont la valeur moyenne "physique" est connue. Ces données correspondent à des tests de calibration d'un dispositif de mesures de vitesses comme un télémètre ; cet instrument donne des valeurs numériques sans unité. Si on mesure de façon répétée la vitesse d'une voiture lancée à des vitesses très bien connues, on va pouvoir mesurer la moyenne des valeurs données par l'instrument pour ces vitesses et en déduire une relation entre les valeurs données et les vitesses physiques.

Ici, nous avons collecté des données pour des voitures avec plusieurs vitesses et stocké les données dans des fichiers :

- "pic1.csv" : vitesse des voitures 13.9 m/s,
- "pic2.csv" : vitesse des voitures 19.4 m/s,
- "pic3.csv" : vitesse des voitures 36.1 m/s.

## 1.1 Lecture des données

Lire les données contenues dans les fichiers *csv* disponibles sur Moodle. Tracer sur le même graphique les trois pics correspondant à chacun des fichiers. Quelle est la forme des distributions ? Quels sont les paramètres de cette distribution ?

## 1.2 Estimation de la moyenne

Nous allons estimer la moyenne de chaque pic et l'erreur associée à ces moyennes afin d'en déduire une relation entre les mesures de l'instrument et les vitesses des voitures.

**Mesure de la moyenne statistique** Vu que l'on connaît la valeur moyenne de vitesse attendue pour chaque pic, il est possible de calculer la moyenne statistique et de l'utiliser pour la calibration.

Calculer la moyenne et l'écart-type statistique de tous les pics (pics 1, 2, 3 et pic inconnu). En déduire l'erreur sur les moyennes de chaque pic. Quel pic possède une moyenne dont l'erreur relative<sup>1</sup> est la plus faible ? Justifier.

**Ajustement des données avec QExPy** QExPy possède des méthodes pour ajuster des modèles gaussiens sur des données, comme présenté dans la [documentation](#).

Créer une fonction qui permet d'ajuster un histogramme avec le modèle approprié de QExPy et d'extraire les valeurs et les erreurs des paramètres de ce modèle. Appliquer cette fonction sur les trois pics de données et le pic inconnu et sauvegarder les résultats dans des listes. Que valent les corrélations entre les paramètres ? Commentez sur leur impacts.

**(Bonus :) Ajustement des données avec une minimisation numérique** Il est possible de faire l'ajustement de données par minimisation de la vraisemblance.

En vous aidant du polycopié, créer une fonction qui calcule la vraisemblance des données rangées sous forme d'un histogramme en fonction des paramètres de ce modèle. En utilisant le module `scipy.optimize.minimize`, trouver les paramètres qui minimisent cette quantité.

**Comparaison des résultats** Comparer les résultats des différentes méthodes que vous avez utilisées.

---

1. On définit l'erreur relative comme le rapport entre l'erreur  $\sigma_X$  sur une quantité  $X$  et la valeur de la quantité  $X$  ; ainsi l'erreur relative est une grandeur sans unité, souvent exprimée en pourcent.

### 1.3 Détermination des paramètres de la calibration

Nous allons utiliser les résultats des questions précédentes pour calibrer le détecteur.

Tracer les valeurs des moyennes obtenues précédemment en fonction des valeurs de vitesses attendues. Qu'observez-vous ?

Proposer un modèle pour l'ajustement de ces points de données. Extraire les paramètres de ce modèle ainsi que les erreurs associées.

### 1.4 Calibration en énergie d'un pic

Nous allons maintenant utiliser les résultats de l'ajustement pour en déduire la valeur de vitesse correspondant au pic inconnu.

Appliquer la calibration trouvée précédemment. Faire une propagation des erreurs pour déterminer l'erreur sur la vitesse des voitures. Convertir la vitesse et son erreur en km/h ; en connaissant les limitations de vitesse en vigueur, cela vous semble-t'il logique ?