



INCERTITUDE ET MESURE DE DURÉE

Cette activité réalisée en groupe au cours d'une séance expérimentale puis en classe entière ou bien lors d'une séance expérimentale suivante.

Il s'agit d'évaluer la vitesse moyenne d'une balle de tennis posée puis lâchée sur un rail incliné. Le chronométrage de la durée de parcours se fait manuellement.

Ainsi, ce protocole crée des discussions autour du type d'erreur (grossière, systématique, aléatoire), des valeurs obtenues (aberrantes, étendue, moyenne par binôme...).

Après une mise en commun des résultats avec la classe entière (voire sur plusieurs classes), pour une exploitation statistique, une vitesse moyenne peut être calculée et comparée à une valeur de référence.

Prérequis / repères de progressivité

Découvrir la présence des incertitudes par l'intermédiaire des erreurs grossières (mauvais déclenchement du chronomètre), systématiques (mauvaise compréhension de la distance de parcours à chronométrer, temps de réaction) et aléatoires (répétabilité des mesures).

Utiliser un tableur en fonction des compétences des élèves

Référentiel, mesures d'une distance, d'une durée, relation de la vitesse moyenne.

Références à la partie « Mesure et incertitudes » du programme

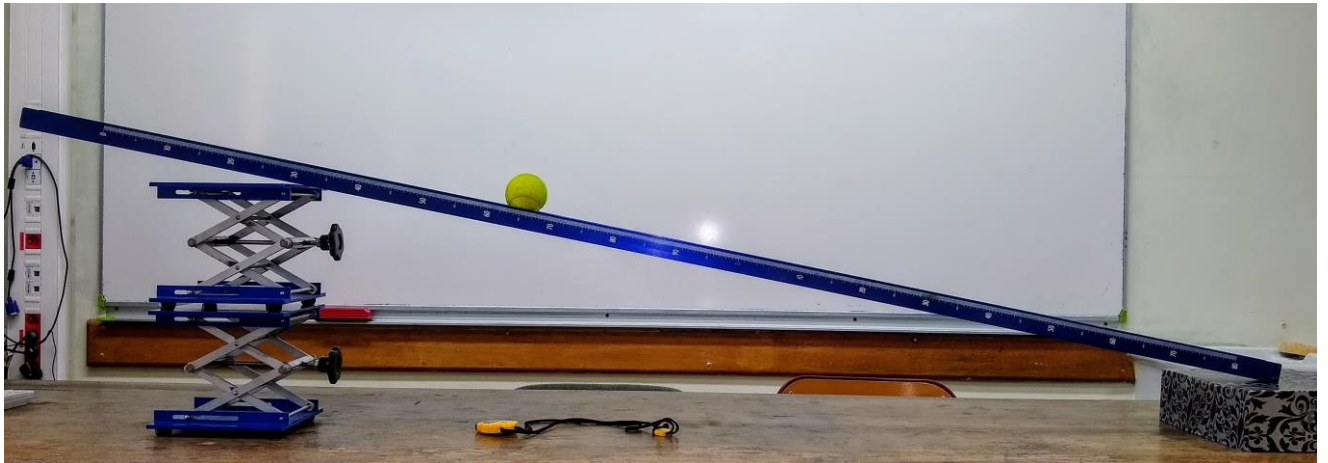
Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type.
Incertitude-type.	Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes.
Écriture du résultat.	Capacité numérique : Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur.
	Expliquer qualitativement la signification d'une incertitude-type et l'évaluer par une approche statistique.
	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
	Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.

Éléments pour construire l'activité des élèves

Le dispositif expérimental proposé avec le rail incliné et la balle de tennis simule le mouvement d'un objet ou d'une personne sans vitesse initiale.

Notre objectif est d'évaluer la vitesse moyenne du mouvement sur un trajet bien délimité au cours du déplacement dans un référentiel à préciser.

Pour cela, nous disposons d'un rail gradué ainsi que d'un chronomètre.



Travail demandé

1. Préciser un référentiel adapté à l'étude du mouvement.
2. Décrire ce mouvement.
3. Proposer un protocole permettant de mesurer la vitesse moyenne.
4. Effectuer avec tous les autres binômes 8 à 10 mesures de durée avec une même condition expérimentale sans communiquer sur les valeurs. Puis calculer votre durée moyenne de parcours.
5. Ensemble, discuter sur les mesures réalisées, proposer des sources d'incertitudes puis mettre en commun les durées moyennes calculées.
6. Calculer la vitesse moyenne de la balle.
7. Discuter de la compatibilité de la valeur mesurée avec la valeur de référence obtenue par une autre méthode.
8. Proposer des améliorations de la mesure dans cette situation.

Éléments pour le professeur

Pour la séance de manipulation

Le matériel à prévoir est :

- 1 rail d'optique en « U » gradué, ou rail non gradué avec un mètre.
- Un support permettant d'incliner suffisamment le rail
- Une balle de tennis ou autre sphère adaptée au rail disponible.
- 9 (voire 18) chronomètres (ou application d'un smartphone).

La durée de la séance est de 1 h à 1 h 20 min suivant les notions à devoir rappeler.

Durant la séance de manipulation

Il faut ajuster l'inclinaison du rail afin que le mouvement accéléré soit bien observable.

Pour la collecte des mesures, les élèves peuvent compléter un même tableur collaboratif (utilisation de framacalc par exemple...).

Remarques

Dans notre exemple, la distance choisie était de 165,0 cm.

Lorsque l'on choisit des intervalles toutes les 0,05 s, cela correspond aux intervalles de classes suivants :

$$1,30 \leftrightarrow [1,26 ; 1,30]$$

$$1,35 \leftrightarrow [1,31 ; 1,35]$$

Etc.

Le choix de ces intervalles de classes est relativement empirique pour obtenir un histogramme cohérent (nombre de barres suffisant et permettant d'observer la variabilité des mesures) ; Le professeur choisira des valeurs permettant d'obtenir une dizaine de barres sur l'histogramme.

Les élèves parviennent facilement à calculer l'effectif total et l'étendue. Pour le calcul de la moyenne et de l'incertitude, une aide peut leur être fournie.

Il faut être vigilant au vocabulaire utilisé, surtout pour le terme de « fréquence » dans le langage du tableur, utilisé pour comptabiliser les effectifs de classe. En effet, en mathématiques, « la fréquence » est le rapport de l'effectif d'un évènement sur l'effectif total et correspond à la probabilité de réalisation d'un évènement.

Réactions d'élèves

Des élèves se déplacent le long du rail durant le déplacement de la balle sur le rail.

On observe une motivation et un fort engouement d'élèves qui veulent améliorer leur position d'observation, leur repérage de déclenchement, leurs mesures...

Il y a également des élèves qui veulent toujours un réaliser lancer de plus pour ne pas finir sur une "mauvaise" mesure, pour avoir une meilleure moyenne ou pour avoir une troisième fois 1,66 s de suite...

Validation de la mesure

Cette validation se fait avec une valeur de référence qui est obtenue par pointage vidéo ou à l'aide d'un dispositif électronique (deux cellules optoélectroniques...).

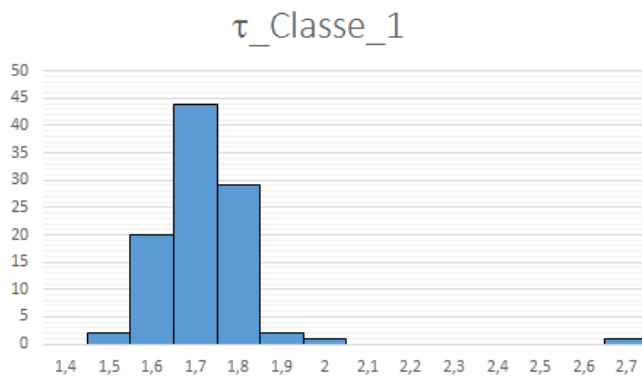
Pour valider la valeur moyenne mesurée, on vérifie qu'elle s'écarte de la valeur de référence (obtenue avec une meilleure précision) de l'ordre de quelques incertitudes-types.

Exemple de résultats obtenus

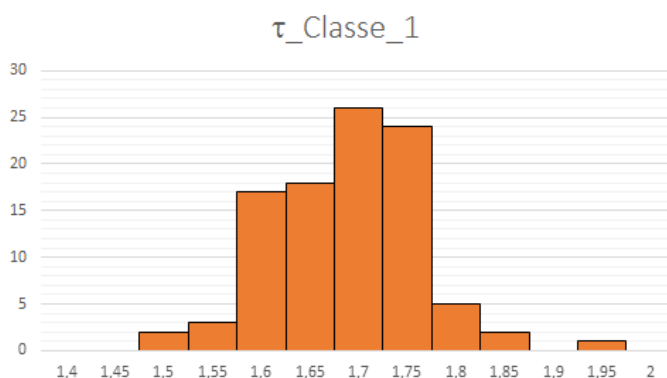
Un exemple de résultats expérimentaux est disponible dans l'annexe disponible sur la page [éduscol du GRIESP](#).

Voici le relevé des mesures réalisées par deux classes de seconde :

Histogramme réalisé avec un intervalle de 0,1 s :



Histogramme réalisé avec un intervalle de 0,05 s :



RÉSULTATS DE CALCUL pour deux classes :

effectif total	Moyenne	Écart-Type Exp	Incertitude type
228	1,68	0,09	0,006

L'**effectif total** peut être déterminé :

- soit en utilisant la fonction SOMME sur les effectifs des intervalles ;
- soit en utilisant la fonction NBVAL sur l'ensemble des mesures.

La **moyenne** peut être calculée :

- soit grâce à la fonction MOYENNE ;
- soit en utilisant les fonctions SOMME et la valeur de l'effectif.

L'**écart-type expérimental** peut être calculé soit en utilisant :

- la fonction ECARTYPE-STANDARD ;
- les fonctions RACINE, SOMME et la valeur de l'effectif.

L'**incertitude-type expérimentale** est calculée avec le résultat de l'écart-type expérimental et de la valeur de l'effectif.

Le **nombre de chiffres significatifs** de la valeur moyenne est déterminé grâce à l'incertitude-type. Dans cet exemple sur les deux classes (voir feuille histo_2classes) :

$$\bar{\tau} = 1,680 \text{ s avec une incertitude-type } u(\bar{\tau}) = 0,006 \text{ s}$$

L'incertitude-type est ici associée à la valeur moyenne, meilleur estimateur de la mesure de durée de déplacement **pour cette expérience collective**.

Le grand nombre de mesures permet de diminuer l'incertitude-type (Écart-Type expérimental/ racine carrée du nombre de mesures) qui devient même inférieure à la résolution de l'instrument de mesure.

Dans le cas où un élève réaliserait une mesure unique ultérieure, l'incertitude associée à sa mesure unique serait l'écart-type expérimental (**l'expérience n'est plus collective et le meilleur estimateur n'est plus la moyenne**) et serait plus grande (nombre de chiffres significatifs inférieurs) ?

Exemple : si la valeur de l'élève obtient une durée $\tau_1 = 1,55 \text{ s}$:

$$\tau_1 = 1,55 \text{ s avec une incertitude type } u(\tau_1) = 0,09 \text{ s}$$

Exemples de productions d'élèves

Sur le protocole réalisé avec la mise en commun des idées de plusieurs binômes d'élèves

« On choisit le trajet de la balle.
On repère bien la ligne de départ et la ligne d'arrivée.
On mesure la distance du trajet.
Il faut que la balle démarre toujours au même endroit.
On lâche la balle.
On mesure la durée du trajet.
On calcule la vitesse moyenne de la balle. »

Sur l'explication justifiant la réalisation de plusieurs mesures

« Confirmer les mesures au fur et à mesure »
« Etre de plus en plus précis »
« Pouvoir calculer une moyenne »
« Laisser de côté les mesures les moins bonnes (il peut y en avoir plusieurs aussi) »

Sur les sources d'incertitude

« On ne peut pas être en face de la ligne de départ et d'arrivée ou alors il faut se déplacer. »

« Le temps que le doigt appuie on n'est pas synchronisé ou alors il faut commencer à appuyer juste avant que la balle passe les lignes mais c'est plus difficile. »

« Peut-être qu'on fatigue et qu'on fait moins attention au fur et à mesure ou peut-être que l'on s'améliore peu à peu. »

« Ce n'est pas à cause du chronomètre car lui il va jusqu'à 0,01 seconde, c'est nous qui sommes la pire incertitude. »

« On peut utiliser des détecteurs électroniques reliés à un chronomètre. »

Annexe : références au programme

Décrire un mouvement

Notions et contenus	Capacités exigibles
Système. Référentiel et relativité du mouvement. Description du mouvement d'un système par celui d'un point. Position. Trajectoire.	Identifier les échelles temporelles et spatiales pertinentes de la description d'un mouvement. Choisir un référentiel pour décrire le mouvement d'un système. Décrire le mouvement d'un système par celui d'un point.

Compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique

Compétences	Capacités associées
Analyser / raisonner	Élaborer un protocole.
Réaliser	Mettre en œuvre les étapes d'une démarche. Effectuer des procédures courantes (calculs, collectes de données, etc.). Mettre en œuvre un protocole expérimental.
Valider	Faire preuve d'esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. Identifier des sources d'erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. Proposer d'éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle.
Communiquer	À l'écrit comme à l'oral : Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente. Utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés. Échanger entre pairs.