

PRÉLABORATOIRE – RAIL INCLINÉ

Noms : _____

Groupe : _____

Ce laboratoire a pour but de vous faire expérimenter une situation de physique mécanique simple (mouvement à une dimension sous l'effet de la gravité), mais également de continuer de vous introduire à la démarche de prise de mesures et de vérification expérimentale d'une loi en physique en utilisant un critère de concordance basé sur l'incertitude d'une mesure.

Pour vous préparer à déterminer l'incertitude dans l'expérience que vous réaliserez au laboratoire (un chariot lâché sur un rail incliné), vous allez préalablement répondre à ces quelques questions au sujet d'une expérience de laboratoire fictive effectuée par Albert et Béatrice.

LABORATOIRE FICTIF : Temps de parcours d'un chariot le long d'un rail incliné

Dans ce laboratoire fictif, un chariot roule le long d'un rail incliné. On cherche à déterminer le temps de parcours ainsi que son incertitude pour une certaine longueur de rail.

Albert et Béatrice commencent par déterminer la distance D de parcours et l'angle d'inclinaison θ du rail par rapport à l'horizontale. Ils font ensuite plusieurs essais *avec le même montage* : pour chaque essai, ils mesurent avec un chronomètre le temps t requis pour que le chariot atteigne le bas du rail. Ils notent leurs résultats dans le **Tableau 0**.

Tableau 0

Temps t pour qu'un chariot parcoure le rail incliné
 $D = (2,00 \pm 0,01)\text{m}$ et $\theta = (2,2 \pm 0,1)^\circ$

t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)	$\bar{t}$ (s)	δt (s)
3,22	3,27	3,25	3,18	3,14		

Complétez le **tableau 0** :

- * Dans l'avant-dernière colonne, inscrivez la valeur moyenne des temps mesurés : cela correspond à la **meilleure estimation** du temps requis.
- * Dans la dernière colonne, inscrivez la moitié de la différence entre la valeur maximale et la

valeur minimale : il est raisonnable de considérer que cette différence représente l'incertitude absolue δt de la mesure t :

$$\delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2}$$

- * Exprimez la valeur de t avec sa meilleure estimation et son incertitude :

$$t = \bar{t} \pm \delta t = (\quad \pm \quad) \text{ s}$$

Attention : comme toujours, il faut arrondir le résultat (au besoin) pour que **le nombre de décimales de la meilleure estimation concorde avec celui de son incertitude**.

- * Calculez l'incertitude **relative** sur t et exprimez-la en pourcentage :

$$\text{Incertitude relative} = \frac{\delta t}{\bar{t}}$$

incertitude relative sur t : _____ %

Ici, on peut supposer que l'incertitude δt correspond au temps de réaction de la personne qui chronomètre le mouvement. Ce temps de réaction ne dépend habituellement pas de la valeur de temps mesurée.

À la lumière de ce qui précède, expliquez pourquoi, dans ce laboratoire, il est judicieux de la part d'Albert et de Béatrice de toujours laisser le chariot parcourir une grande distance avec une petite inclinaison. Justifiez en vous appuyant sur les concepts d'incertitudes absolues et relatives.

Se basant sur la théorie, Béatrice émet comme hypothèse que l'équation ci-dessous permet de calculer le temps de parcours d'un chariot en fonction de la distance et de l'inclinaison du rail :

$$t = \sqrt{\frac{2}{a}} D^{1/2} \text{ où } a = g \sin \theta$$

La distance étant $D = (2,00 \pm 0,01)\text{m}$ et l'angle d'inclinaison étant $\theta = (2,2 \pm 0,1)^\circ$, calculez la meilleure estimation du temps de parcours ainsi que les temps minimal et maximal obtenus avec l'équation théorique de Béatrice. Considérez que $g = (9,8 \pm 0,1) \text{ m/s}^2$. Montrez vos calculs dans les encadrés ci-dessous. (N'arrondissez pas tout de suite vos résultats. Attendez de calculer l'incertitude.)

$$\tilde{t}_{theo} = \text{_____ s}$$

$$t_{theo-max} = \text{_____ s}$$

$$t_{theo-min} = \text{_____ s}$$

Utilisez la méthode des extrêmes pour évaluer l'incertitude sur la valeur de t_{theo} . Ne gardez qu'un ou deux chiffres significatifs.

$$\delta t_{theo} = \text{_____ s}$$

Exprimez la valeur de t_{theo} avec sa meilleure estimation et son incertitude (c'est ici qu'il faut arrondir la meilleure estimation):

$$t_{theo} = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ s}$$

Est-ce que les mesures de temps prises par Albert et Béatrice concordent avec l'équation de Béatrice? Justifiez à l'aide d'un schéma de concordance.

Schéma de concordance et conclusion :

Vidéo survol de l'expérience : Vous pouvez vous familiariser avec la prise de mesure que vous allez faire au laboratoire en visionnant la vidéo sur le site interne Sharepoint :

<https://cmaisonneuveqcca.sharepoint.com/sites/PhysiqueMaisonneuve> dans la section Expériences

SN1

LABORATOIRE – RAIL INCLINÉ

Dans ce laboratoire, vous allez étudier le mouvement d'un chariot roulant sur un rail incliné. Le rail est muni d'un ruban à mesurer pour déterminer la position et le déplacement du chariot. Vous disposez d'un chronomètre numérique pour mesurer la durée du mouvement.

Le rail de votre montage est déjà incliné. Vérifiez que le rail est solidement fixé car l'inclinaison devra demeurer constante pendant tout le laboratoire. Vous aurez plus tard à déterminer l'angle d'inclinaison θ et vous vous en servirez dans l'analyse de l'expérience.

À chaque ligne commençant par une étoile (*), vous devez écrire votre réponse dans le rapport de laboratoire commençant à la [page 7](#).

1 Mesure du temps requis par le chariot pour parcourir une certaine distance à partir du repos

La prise de mesures consiste à lâcher le chariot (vitesse initiale nulle) au même instant que vous déclenchez le chronomètre, et vous allez déterminer le temps t requis pour que le chariot parcoure une certaine distance D (toujours à angle constant). Vous allez vous intéresser à 10 valeurs de D : **20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm, 120 cm, 140 cm et 160 cm**. Pour déterminer la distance D , vous devrez identifier la position initiale x_0 et la position x finale du chariot afin d'effectuer le calcul suivant :

$$D = x - x_0$$

* Prenez en note la valeur x lue quand le chariot est en bas du plan. Évaluez l'incertitude sur x .

* Prenez en note la masse du chariot.

* Complétez le TABLEAU 1 en mesurant le temps pour parcourir chacune des distances citées plus haut. Évaluez l'incertitude sur la position initiale x_0 et sur la distance parcourue D . Dans l'encadré prévu à cette fin, montrez votre calcul pour l'incertitude sur D (un exemple pour la première mesure — première ligne du tableau — suffit).

* Afin d'évaluer l'incertitude sur le temps de parcours, placez votre chariot à une distance de votre choix. Mesurez 5 fois le temps de parcours pour cette même distance. Consignez vos mesures dans le TABLEAU 2.

* Évaluez l'incertitude sur le temps en utilisant la méthode des extrêmes comme vous l'avez fait dans le prélaboratoire : $\delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{2}$.

On peut supposer que l'incertitude δt correspond au temps de réaction et ne dépend pas de la valeur de temps mesurée.

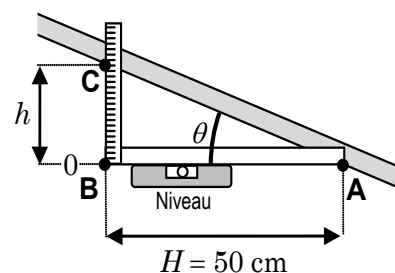
2 Détermination de l'angle d'inclinaison du rail

Il y a deux manières de déterminer l'angle d'inclinaison du rail : la méthode (ii) permettra de valider la mesure faite avec la méthode (i).

Méthode (i) : Méthode de l'équerre

On peut déterminer l'angle d'inclinaison du rail en mesurant de combien le rail « descend » verticalement pour une certaine distance horizontale, et en appliquant les principes de la trigonométrie.

Vous allez utiliser une équerre fabriquée spécialement pour cette expérience (voir schéma ci-dessous). La longueur du côté le plus long de l'équerre (segment **AB** sur le schéma) est $H = 50$ cm. Vous allez placer l'équerre sous le rail en vous assurant, à l'aide d'un niveau placé sous l'équerre, que le côté **AB** est bien horizontal. Vous pourrez alors mesurer la dénivellation verticale h en vous servant des graduations sur le côté vertical de l'équerre. Attention : l'hypoténuse du triangle rectangle ainsi formé correspond au dessous du rail, il est donc important que votre point **C** corresponde bien au-dessous (et non au-dessus) du rail.



Remarquez que le « 0 » des graduations du côté vertical correspond au bas de l'équerre (point **B**). Ainsi, pour que la valeur lue au point **C** soit correcte, il faut absolument que le coin de l'équerre (point **A**) soit correctement placé. Le côté **AB** est en forme de « **L** » (selon la troisième dimension invisible sur le schéma) : il faut que le **coin intérieur** au point **A** soit en contact avec le dessous du rail. Remarquez que le « devant » du côté **AB** de l'équerre « embarque » par-dessus le côté du rail, comme on peut le voir sur le schéma.

* Mesurez la valeur de h et inscrivez-la à l'endroit prévu dans le rapport. Expliquez pourquoi l'incertitude sur la distance parcourue δD et l'incertitude sur la hauteur δh ne sont pas nécessairement identiques malgré le fait qu'un ruban à mesurer gradué au millimètre près a été utilisé pour prendre ces mesures de longueur.

* À l'aide des valeurs de h et de H , déterminez l'angle d'inclinaison θ du rail par rapport à l'horizontale. Utilisez la méthode des extrêmes pour déterminer l'incertitude sur l'angle d'inclinaison $\delta\theta$. Ne considérez pas d'incertitude sur H .

Appelez votre professeur pour qu'il valide votre angle avec un niveau électronique, ou utilisez vous-même les niveaux électroniques disponibles. Appuyez sur le bouton pour allumer le niveau électronique (s'il ne l'est pas déjà), placez-le sur le rail et vérifiez la validité de votre mesure avec la technique de l'équerre. Pour économiser la pile, éteignez le niveau en appuyant quelques secondes sur le bouton.

3 Analyse des résultats

Nous aurions pu traiter nos données telles que nous les avons prises, en considérant le temps mesuré en fonction des distances fixées. Cette façon de faire respecte l'approche usuelle qui consiste à étudier le comportement de la variable dépendante (ici, le temps t) en fonction de la variable indépendante (ici, la distance D). Par contre, dans le contexte précis de cette expérience, cette approche est moins élégante quand il s'agit de faire le lien avec la théorie de la cinématique. Nous ferons donc une analyse plus en lien avec la théorie, en considérant la distance D en fonction du temps t .

3a Représentation graphique des données brutes

À partir du **TABLEAU 1**, faites un tableau avec le logiciel Excel comportant 2 colonnes, temps t et distance D . Sélectionnez toutes les **données brutes** afin de tracer en **Nuage de points** un graphique de D en fonction de t (que vous allez nommer **graphique 1**). Excel considère que la première colonne correspond aux valeurs de l'axe horizontal. Sur le graphique, n'affichez pas de courbe de tendance ni d'équation.

Pour l'instant, votre **graphique 1** présente uniquement les meilleures estimations des distances $\tilde{D}$ en fonction des meilleures estimations

des temps $\tilde{t}$. Vos mesures expérimentales correspondent en fait à des intervalles, dont les limites sont précisées par les incertitudes δD et δt . Dans un graphique, on représente généralement ces incertitudes absolues sous formes de **barres d'incertitude** (ou « barres d'erreur »), comme celles que vous avez représentées dans les diagrammes de concordance de **Introduction à l'incertitude**.

Référez-vous à l'**Annexe L5 : Barres d'incertitude** pour faire afficher vos barres d'incertitude sur les distances et sur les temps dans votre **graphique 1**.

Finalisez la mise en forme de votre graphique en utilisant l'exemple fourni à l'**Annexe L4 : Modèle de graphique**. *Montrez l'aperçu avant impression de ce graphique à votre professeur pour approbation avant d'imprimer.*

3b Détermination de la relation théorique et graphique de la variable transformée

Comme c'est le cas dans de nombreuses expériences, on désire maintenant comparer nos résultats avec ce que prédit la théorie. D'après les équations de la cinématique du mouvement uniformément accéléré, le déplacement D en fonction du temps écoulé t pour un objet **initialement immobile** ($v_{x0} = 0$) qui se déplace en ligne droite selon un axe x avec une accélération constante a est donné par l'équation

$$D = \frac{1}{2}at^2 \quad (1)$$

L'équation (1) est de la forme $D(t)$: elle exprime le déplacement D en fonction du temps t .

Si ce modèle théorique est correct (si l'accélération est bien constante) et que notre méthodologie expérimentale est bonne, notre premier graphique $D(t)$ devrait correspondre à une fonction parabolique. (Vérifiez l'allure de votre **graphique 1**) Pour nous en assurer, nous allons utiliser la méthode du graphique de la variable transformée, ce qui nous permettra de déterminer visuellement si les points sur ce graphique sont distribués (ou non) selon une droite.

En « transformant » judicieusement la variable t (tel que nous l'avons vu dans le laboratoire Introduction à l'analyse expérimentale, et tel qu'expliqué également dans l'**Annexe L1**), l'équation (1) peut être exprimée sous la forme

$$Y = MX + B$$

ce qui correspond à une droite sur un graphique de Y en fonction de X .

* Si on veut que la variable Y corresponde à la variable D de l'équation (1), complétez dans le rapport la transformation de variable nécessaire et les correspondances entre l'équation (1) et la forme linéaire :

Variables :

$Y \rightarrow D$ $X \rightarrow \underline{\hspace{2cm}}$

Paramètres constants :

$M \rightarrow \underline{\hspace{2cm}}$ $B \rightarrow \underline{\hspace{2cm}}$

Pour « linéariser » les résultats, il faut donc tracer le graphique de D en fonction de la **variable transformée**. Dans Excel, utilisez une nouvelle colonne dans laquelle vous ferez calculer par le logiciel les valeurs de la variable transformée (souvenez-vous qu'il faut commencer une formule par le symbole « = », et que le symbole pour l'exposant est « ^ »). Pour étendre la formule à toute la colonne, glissez vers le bas le petit carré noir (qui devient une croix) qui se trouve dans le coin de la cellule qui contient la formule. Tracez en **nuage de points** un graphique de D en fonction de la variable transformée, que vous allez nommer **graphique 2**.

Les données brutes expérimentales possèdent une incertitude, alors les données transformées ont également une incertitude. Nous allons utiliser la méthode des extrêmes afin d'évaluer cette incertitude.

* Montrez votre calcul pour l'incertitude sur la variable transformée X .

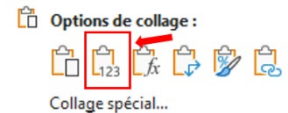
Dans Excel, ajoutez une colonne dans laquelle vous calculerez la valeur maximale de la variable transformée et une autre dans laquelle vous calculerez sa valeur minimale. Ensuite, ajoutez une autre colonne où vous calculez l'incertitude sur la variable transformée. Sur le **graphique 2**, faites afficher les barres d'incertitude sur les données transformées X et Y en suivant la même procédure que celle suivie pour le **graphique 1**. Sur le **graphique 2**, faites afficher la courbe de tendance linéaire.

Les données possèdent une incertitude alors la pente de la droite passant par ces points aura nécessairement une incertitude elle aussi. Le calcul de l'incertitude sur la pente repose sur des notions de statistiques qui dépassent le niveau du cours. Vous devrez simplement insérer vos données linéarisées dans un fichier Excel spécialement préparé qui vous donnera la pente et l'ordonnée à

l'origine de la droite de tendance, ainsi que leur incertitude respective.

Ouvrez le fichier Excel « Analyse graphique – régression linéaire » dans le répertoire Rail incliné des Laboratoires de physique SN1. Entrez sous la colonne X votre variable transformée et sous la colonne δX l'incertitude sur la variable transformée. Entrez sous la colonne Y la variable D et sous la colonne δY l'incertitude δD .

Vous pouvez copier-coller vos données de votre fichier Excel au fichier d'Analyse graphique en utilisant un collage spécial de valeurs. En effet, vous voulez recopier vos valeurs et non pas les formules que vous avez entrées dans Excel. Copiez vos données de votre fichier Excel. À l'endroit où vous voulez coller vos données, enfoncez le bouton droit de votre souris puis sélectionnez la deuxième option de collage (Valeurs (V)).



En haut du fichier de régression linéaire, Excel vous donne la meilleure estimation de la pente et de l'ordonnée à l'origine ainsi que leur incertitude.

* Prenez en note la valeur de la pente ($\tilde{M}$) et de son incertitude (δM). (Ce n'est pas nécessaire de noter l'ordonnée à l'origine. Vérifiez cependant qu'elle est compatible avec 0.)

Finalisez la mise en forme de votre graphique et **imprimez-le lorsque vous être prêts. Assurez-vous d'inclure le tableau de données complet, incluant les incertitudes.**

3c Analyse du graphique de la variable transformée

Nous pouvons maintenant vérifier que les résultats expérimentaux sont conformes à l'équation (1), ce qui revient à vérifier que l'accélération du chariot est bien constante (puisque l'équation théorique suppose que l'accélération est constante). On pourra aussi déterminer la valeur de l'accélération expérimentale à partir de la valeur de la pente, puisqu'on a établi plus tôt une correspondance entre ces deux quantités.

* Dans le **cadre prévu**, expliquez pourquoi le **graphique 2** permet de conclure que l'accélération du chariot est bien constante dans cette expérience, ou si ça ne permet pas de conclure cela, expliquez pourquoi.

Remarque importante : peu importe les données expérimentales, si on demande à Excel de tracer

une courbe de tendance linéaire (comme vous l'avez fait), Excel va le faire, même si les points ne sont clairement pas distribués le long d'une droite. Donc, ce n'est pas seulement parce que l'équation donnée par Excel est celle d'une droite que vous pouvez conclure que le chariot possédait une accélération constante ! Donnez une explication complète, et rappelez-vous que vous ne vous adressez pas au professeur.e, mais bien à un lecteur hypothétique qui n'a pas fait l'expérience.

- * À partir de la valeur de la pente du **graphique 2**, déterminez l'accélération expérimentale a_{exp} du chariot. Déterminez également l'incertitude sur l'accélération avec la méthode des extrêmes.

Afin de compléter l'analyse, il ne nous reste plus qu'à comparer cette valeur avec la valeur de l'accélération prédite par la théorie.

3d L'accélération théorique

Théoriquement, un chariot de masse m se déplaçant sur un plan incliné sans frottement subit une force résultante constante correspondant à la composante de son poids le long du plan incliné, $mg \sin \theta$, où

$$g = (9,8 \pm 0,1) \text{ m/s}^2$$

est l'accélération de chute libre à la surface de la Terre et θ est l'angle d'inclinaison du plan incliné par rapport à l'horizontale. Comme l'accélération est égale à la force résultante divisée par la masse (d'après la deuxième loi de Newton), l'accélération théorique pour un tel chariot est

$$a_{\text{théo}} = g \sin \theta \quad (2)$$

- * À partir de la mesure de θ , déterminez l'accélération théorique. Calculez aussi son incertitude avec la méthode des extrêmes. Montrez vos calculs dans le rapport.

3e Comparaison des accélérations

- * Compte tenu des incertitudes, les deux valeurs d'accélération concordent-elles ? Justifiez à l'aide d'un schéma de concordance.

4 Conclusion

- * Finalement, concluez en discutant succinctement du succès de l'expérience, ainsi que des sources d'incertitude principales. Si vos résultats ne concordent pas, vous devrez évidemment chercher des explications.

Attention, soyez spécifiques ! L'expression « erreurs humaines » à elle seule n'est pas recevable ! Vous devez parler de points précis de l'expérience ou de l'analyse. Par exemple, vous pouvez vous demander quelle mesure en particulier était plus difficile à prendre et pourquoi ; quel est l'impact que ça a pu avoir sur votre résultat ; quelle méthode de prise de mesures est la plus imprécise ou inexacte ; pourquoi et comment on pourrait la corriger ; quelles simplifications ou hypothèses théoriques qui ont été faites sont incorrectes et ce qu'il faudrait plutôt faire...

- * **QUESTION** : Au laboratoire, nous avons pris en note la masse du chariot. Si cette masse avait été deux fois plus grande, que serait-il arrivé à l'accélération ? Encerclez votre réponse à la fin du rapport.

Remettez à votre professeur au moment indiqué :

- le prélaboratoire (si vous l'avez encore en main);
- le rapport de laboratoire (pages 7 et 8);
- les 2 graphiques imprimés avec leur tableaux respectifs incluant les incertitudes;
- une copie du fichier Excel d'analyse graphique.

Nous avons vu lors du labo **Introduction aux incertitudes** qu'il est souvent impossible de limiter l'incertitude d'une mesure à celle de l'instrument en raison du contexte expérimental : il faut faire certains choix lorsqu'on estime l'incertitude.

Dans ce labo, on détermine le temps que prend un chariot pour parcourir une distance. On vous suggère de mettre une incertitude sur la distance et une incertitude sur le temps. En fait, ces deux incertitudes sont étroitement liées. L'incertitude expérimentale s'applique à une distance parcourue dans un temps donné. Le départ et l'arrêt du chronomètre ne coïncident pas parfaitement avec le départ et l'arrêt du chariot. Il se peut aussi que le chariot bouge un peu au moment du départ ou qu'il ne parte pas exactement à la bonne position.

On peut considérer que la mesure de la distance est relativement précise alors que c'est le temps qui ne l'est pas, mais on peut aussi considérer que c'est le temps qui est relativement certain et que ce sont plutôt les positions qui sont incertaines. Qu'on suppose que l'incertitude vienne du temps ou de la distance parcourue, ou un peu des deux, cette incertitude se propagera à l'accélération et devrait être du même ordre de grandeur. Il existe plusieurs façons d'estimer l'incertitude expérimentale. Vous deviendrez plus habiles à déterminer celle qui convient le mieux aux conditions particulières de vos expériences avec la pratique.

Rapport de laboratoire – Rail incliné

Noms : _____

Groupe : _____

1 Mesure du temps requis par le chariot pour parcourir une certaine distance à partir du repos

Valeur x lue quand le chariot est en bas du rail:

$$x = (\text{_____} \pm \text{_____}) \text{ cm}$$

Masse du chariot : _____ g

TABLEAU 1 : Temps de parcours t pour différentes distance D le long du plan incliné :

$x_0 \pm \text{_____}$ (cm)	$D = x - x_0$ $\pm \text{_____}$ (cm)	t (s)

Montrez votre calcul pour l'incertitude sur D (un exemple suffit)

TABLEAU 2 : Temps de parcours t pour une même distance D le long du plan incliné :

D (cm)	t_1 (s)	t_2 (s)	t_3 (s)	t_4 (s)	t_5 (s)

Incetitude sur t : (montrez votre calcul)

$$\delta t = \text{_____ s}$$

2 Détermination de l'angle d'inclinaison du rail

Mesure de h : (N'oubliez pas les unités !)

$$h = (\text{_____} \pm \text{_____})$$

Expliquez pourquoi l'incertitude sur la distance parcourue δD et l'incertitude sur la hauteur δh ne sont pas nécessairement identiques malgré le fait qu'un ruban à mesurer gradué au millimètre près a été utilisé pour prendre ces mesures de longueur.

Angle d'inclinaison θ du rail par rapport à l'horizontale. Faites un schéma et montrez vos calculs dans le cadre ci-dessous.

$$\theta = (\text{_____} \pm \text{_____})^\circ$$

3b Détermination de la relation théorique et graphique de la variable transformée

Variables et paramètres constants :

$$Y \rightarrow D \quad X \rightarrow \text{_____}$$

$$M \rightarrow \text{_____} \quad B \rightarrow \text{_____}$$

Montrez votre calcul pour l'incertitude sur la variable transformée X (un exemple suffit)

Pente du graphique linéarisé (N'oubliez pas les unités !)

$$M = (\quad \pm \quad)$$

3c Analyse du graphique de la variable transformée

L'accélération du chariot est-elle constante? _____

Justifiez

Accélération expérimentale a_{exp}

Montrez vos calculs

$$a_{\text{exp}} = (\quad \pm \quad) \quad \text{_____}$$

3d L'accélération théorique

Accélération théorique $a_{\text{théo}}$

Montrez vos calculs

$$a_{\text{théo}} = (\quad \pm \quad)$$

3e Comparaison des accélérations

Vos valeurs d'accélération concordent-elles? Justifiez à l'aide d'un schéma de concordance.

4 Conclusion

Discussion sur le succès de l'expérience, ainsi que sur les sources d'incertitude principales.

QUESTION : Au laboratoire, nous avons pris en note la masse du chariot. Si cette masse avait été deux fois plus grande, que serait-il arrivé à l'accélération ? Aurait-elle ... (encerclez votre réponse)

- A. quadruplé
- B. doublé
- C. diminué de moitié
- D. été la même