

QUAND GALILÉE LÂCHE SON SMARTPHONE

UNE ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE SUR L'ACCÉLÉRATION
LORS D'UNE CHUTE VERTICALE AVEC UN SMARTPHONE.

DANS CETTE ACTIVITÉ, ON FAIT QUOI ?



On utilise l'accéléromètre du smartphone pour estimer la valeur du champ de pesanteur lors d'une chute du smartphone. La mesure permettra :

- de tester la validité du modèle de la chute libre pour décrire la chute du smartphone ;
- d'en déduire la hauteur de chute mais aussi l'équation-horaire du mouvement vertical ;
- d'étudier la nature de la force exercée par l'air.

Attention, dans cette activité, on fait tomber un smartphone ! Quelques consignes sont donc à respecter pour ne pas l'endommager... (voir plus loin)

L'ÉCHAUFFEMENT « PHYPHOX »

Télécharger l'application Phyphox pour découvrir comment l'utiliser sur ce tutoriel : <https://tinyurl.com/PhyphoxTuto>

Pour apprendre à utiliser l'accéléromètre, voici un petit échauffement ludique : <https://tinyurl.com/tutoaccelerometre>



DU CÔTÉ DES MODÈLES



On modélise dans un premier temps la chute par une chute libre : on néglige donc les frottements de l'air. On note \vec{g} le champ de pesanteur terrestre et on prend pour sa norme : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

- 1) Établir l'expression du vecteur accélération dans le cadre de ce modèle.
- 2) Rappeler l'équation horaire dans le cas d'une chute sans vitesse initiale.
- 3) Toujours dans le cas d'une chute sans vitesse initiale, établir la loi empirique de Galilée sur "la chute des corps", qui relie la hauteur de chute h et la durée de chute Δt . Cette loi est considérée comme la première loi de la physique moderne.

CONSIGNES DE SÉCURITÉ : ATTENTION À VOTRE SMARTPHONE !

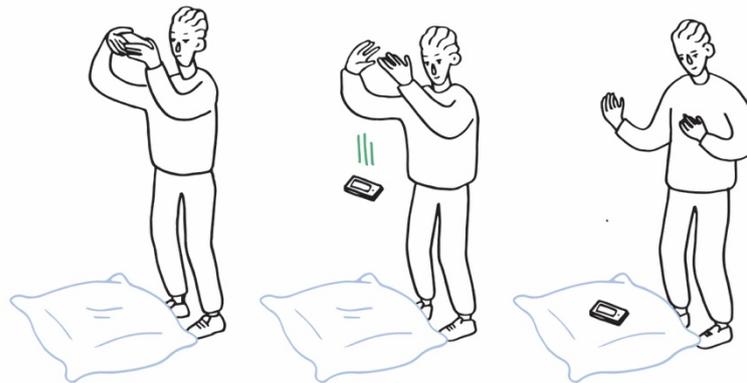
Quand vous lâchez votre smartphone, prévoir un gros coussin bien mou et si possible épais
Éviter les matelas car le smartphone risque de rebondir !
Ne pas lâcher de plus de 2 m de haut.
Ne pas ôter la coque ou toute protection si le smartphone en possède une.
Lâcher à plat écran vers le haut pour éviter le rebond.

L'EXPÉRIENCE N°1 : LA DURÉE DE CHUTE



Choisir sur l'application "Phyphox" l'expérience "Accélération sans g" ou, si elle n'est pas disponible sur votre smartphone, "Accélération avec g".

Après avoir lancé l'enregistrement, lâcher le smartphone en le maintenant initialement horizontal à peu près à hauteur de vos yeux (bien respecter les **consignes de sécurité**).



Utiliser les fonctionnalités de Phyphox pour déterminer la valeur de la durée de chute Δt . En observant la courbe obtenue, évaluer la durée de la chute en repérant la grande variation de la valeur de l'accélération lorsqu'on lâche le smartphone et celle observée lorsque le smartphone touche le sol.

Reproduire l'expérience une ou deux fois pour vérifier qu'on trouve toujours approximativement la même durée de chute.

- 1) Indiquer la valeur de la durée de chute notée Δt (en faisant éventuellement une moyenne des deux ou trois valeurs obtenues).
- 2) Mesurer la hauteur de chute, notée h , à 5 cm près (se faire éventuellement aider).
- 3) En déduire la valeur du champ de pesanteur g et commenter.
- 4) Transformer son smartphone en règle à mesurer : en refaisant une expérience, et en utilisant la valeur $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$, mesurer sa propre taille avec son smartphone.

POUR ALLER PLUS LOIN : ET LA MASSE DANS TOUT ÇA ?

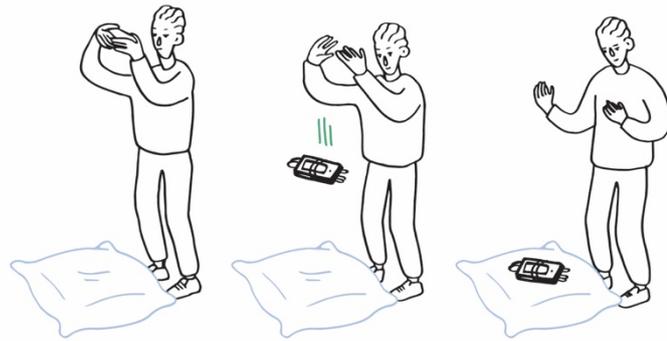
5) Le modèle prévoit-il que la masse influence la durée de chute ?



Alourdir le téléphone en y accrochant quelques cuillères à café avec un élastique comme montré ci-contre, puis laisser tomber le tout avec les cuillères en dessous.



6) Indiquer les résultats obtenus et conclure quant à l'effet du changement de masse sur la durée de la chute.



L'EXPÉRIENCE N°2 : VITESSE ET POSITION

Cette expérience peut être traitée après ou indépendamment de l'expérience 1

On s'intéresse ici à la valeur de l'accélération pendant la chute selon l'axe vertical.

En refaisant une mesure selon le même protocole que dans l'activité 1, exporter les données dans le format qui convient le mieux au tableur utilisé pour traiter ces données.

- 1) Dans le tableur, sélectionner seulement les données comprises entre la date de lâcher et la date à laquelle le smartphone touche le coussin.
- 2) Créer une nouvelle variable temporelle telle que l'origine des temps ($t = 0$ s) corresponde au début de la chute.
- 3) Faire afficher dans le tableur l'évolution de l'accélération selon la direction verticale Oz en fonction de la variable temps ainsi définie. Discuter l'accord de l'enregistrement avec le modèle de la chute libre.

On cherche maintenant à calculer la vitesse du smartphone selon la direction verticale aux différents dates de mesure de l'accélération effectuées par le smartphone. Pour cela, on utilise une méthode dite discrète, en considérant que l'accélération à une date t_i est la valeur moyenne entre les dates t_i et t_{i+1} .

4) En adoptant cette approximation, exprimer l'accélération a_i à la date t_i en fonction des vitesses v_{i+1} , v_i , de t_i et t_{i+1} .

5) Exprimer la vitesse v_{i+1} et utiliser les fonctions du tableur pour calculer les différentes valeurs de la vitesse (on n'oubliera pas de déclarer que v est nulle pour $t = 0$)

6) Faire afficher l'évolution de la coordonnée de la vitesse selon la direction verticale en fonction de la variable temps.

7) En établissant l'expression de la vitesse dans le cas du modèle de la chute libre, comparer cette expression et l'évolution obtenue par cette méthode discrète.

Pour aller plus loin :

Recommencer les opérations ci-dessus pour calculer puis représenter les positions successives au cours du temps. Comparer à l'équation horaire selon la direction verticale.

L'EXPÉRIENCE N°3 : L'INFLUENCE DES FROTTEMENTS

Cette expérience ne peut être traitée qu'après avoir réalisé l'expérience 2

Lorsque le smartphone chute, sa vitesse augmente et donc les frottements avec l'air également.

1) En utilisant la 2^{ème} loi de Newton, indiquer comment évolue la norme du vecteur accélération au cours de la chute si on tient compte des frottements.

2) Vérifier votre réponse précédente à l'aide de l'acquisition de l'expérience 2 ou à l'aide d'une nouvelle mesure.

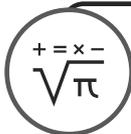
3) En physique, on utilise couramment deux modèles pour décrire la force de frottement fluide : un modèle qui indique une force de norme est proportionnelle à la vitesse ($F = kv$), un autre qui indique une norme proportionnelle à la vitesse au carré ($F = k'v^2$). Exploiter les données permettant de choisir le modèle de force de frottement le plus adapté. On exposera la démarche et les résultats.

FICHE PROF : QUAND GALILÉE LÂCHE SON SMARTPHONE

Ces activités expérimentales ont été conçues à l'initiative de l'Inspection Générale en collaboration avec l'équipe "[La Physique Autrement](#)" (Univ. Paris-Saclay/CNRS). Textes et vidéos : Julien Bobroff, Frédéric Bouquet, Jean Lamerenx, Patricia Marchand, Jacques Vince. Schémas : Anna Khazina.



NIVEAU : Terminale, enseignement de spécialité



DIFFICULTÉ CONCEPTUELLE - EXPLOITATION :

immédiat facile demande temps et savoir-faire



RÉALISATION PRATIQUE :

débutant familiarisé confirmé



DURÉE :

Expérience 1 : 1h tâtonnements et compte-rendu compris

Expérience 2 : 45 min compte-rendu compris

Expérience 3 : 15 min



LE TUTO VIDÉO : <https://youtu.be/gzM583Y23JA>

A vous de décider si vous donnez ce lien à vos élèves.

Partie de programme :

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
1. Décrire un mouvement	
Vecteurs position, vitesse et accélération d'un point.	Définir le vecteur vitesse comme la dérivée du vecteur position par rapport au temps et le vecteur accélération comme la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps. Établir les coordonnées cartésiennes des vecteurs vitesse et accélération à partir des coordonnées du vecteur position et/ou du vecteur vitesse.

Mouvement rectiligne uniformément accéléré. Mouvement circulaire uniforme.	Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré, circulaire, circulaire uniforme.
Mouvement dans un champ uniforme Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme.	Montrer que le mouvement dans un champ uniforme est plan. Établir et exploiter les équations horaires du mouvement.

Objectifs pédagogiques de la séance :

	exp 1	exp 2	exp 3
Exploiter une série de mesures donnant l'accélération en fonction du temps	X	X	X
Exploiter une expérience de chute pour en déduire une valeur du champ de pesanteur à partir de la mesure de la hauteur et de la durée de chute	X		
Etablir l'évolution de la vitesse et discuter de la pertinence du modèle de la chute libre pour décrire un mouvement		X	
Interpréter l'évolution mesurée de l'accélération et discuter le modèle adapté pour caractériser une force de frottement fluide			X

Les prérequis : définition de l'accélération, 2^{ème} loi de Newton ; savoir établir les équations horaires d'un mouvement.

Le type d'activité : expérience quantitative pouvant être réalisée chez soi en autonomie, de façon individuelle ou par groupe de 2 ou 3 élèves.

Le matériel nécessaire :

Appli nécessaire : Phyphox (tuto : <https://tinyurl.com/PhyphoxTuto>)

Capteurs du smartphone utilisés : accéléromètre

Oreiller ou gros coussins

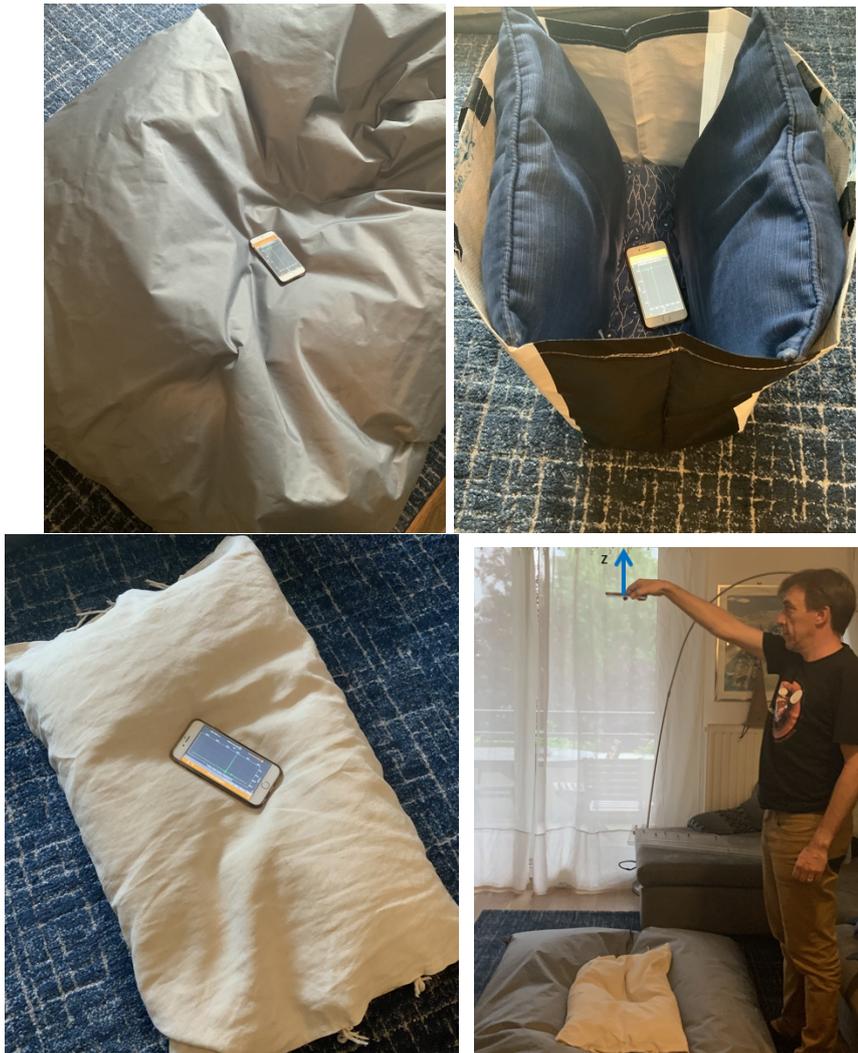
Mises en garde quant à la sécurité du smartphone :

Il n'est pas anodin de laisser tomber son smartphone d'un peu plus d'un mètre de haut. Quelques précautions s'imposent impérativement :

- ne pas dépasser environ la hauteur de l'élève (1,5 m à 2 m), cela suffit largement pour faire une bonne mesure
- ne pas ôter la coque ou toute protection si le smartphone en possède une ;

- prévoir ce qu'il faut pour amortir l'impact au sol : coussins "mous" et larges, poufs larges. Un matelas peut faire l'affaire aussi mais il faut s'assurer que le téléphone ne rebondit pas trop ! On peut aussi lâcher dans un grand sac au fond duquel on a disposé un ou plusieurs coussins pour éviter des rebonds qui peuvent endommager le smartphone. Pour limiter le rebond, il est préférable de lâcher le smartphone "à plat" (voir photos ci-dessous).

Quelques exemples de dispositifs qui permettent de réaliser l'expérience sans risque :



Différence entre "accélération avec g" et "accélération sans g"

L'expérience "accélération avec g" permet d'avoir accès aux données brutes du capteur accéléromètre installé dans (quasiment) tous les smartphones. Ce capteur, du fait de son principe de fonctionnement, mesure l'accélération du smartphone et le champ de pesanteur. Quand le smartphone est immobile, le capteur mesure une accélération verticale de $9,8 \text{ m/s}^2$, quand le smartphone est en chute libre, le capteur mesure une accélération nulle.

L'expérience "accélération sans g" est un capteur virtuel : en utilisant les données de l'accéléromètre réel (accélération avec g) et du gyroscope, un algorithme calcule la contribution du champ de pesanteur

terrestre et la soustrait aux données. Il faut donc qu'un gyroscope soit présent dans le smartphone pour que ce capteur puisse être utilisé.

Modalité de travail entre élèves : élève seul ou groupe de 2 ou 3 élèves (avec répartition des rôles) en cas de problème de disponibilité de matériel.

Modalité d'intervention pédagogique : Les mises en garde au sujet de la mise en sécurité doivent être clairement exposées avant la mise au travail des élèves.

La feuille de consignes est communiquée aux élèves, éventuellement tronquée de l'expérience 3 en fonction du niveau des élèves et des objectifs pédagogiques.

La feuille de consigne est à adapter en fonction du tableur que les élèves ont l'habitude d'utiliser. Il est possible que l'expérience 2 constitue la première utilisation d'une méthode itérative d'intégration. Il peut alors être opportun de détailler les consignes.

Pistes pour approfondir le sujet au-delà de cette activité :

- Chute sur la lune (pointage vidéo possible) : [Mission Apollo 15, lâcher d'une plume et d'un marteau](#)
- Expérience de chute dans le vide : par exemple [émission "On n'est pas des cobayes"](#)
- Toutes les façons de mesurer la hauteur d'un bâtiment avec son smartphone : Le [Smartphone Physics Challenge](#)

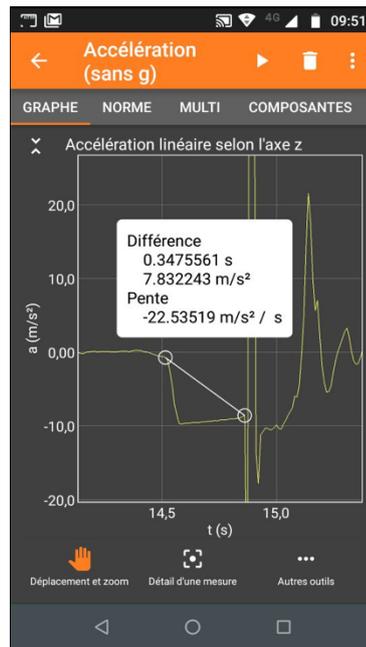
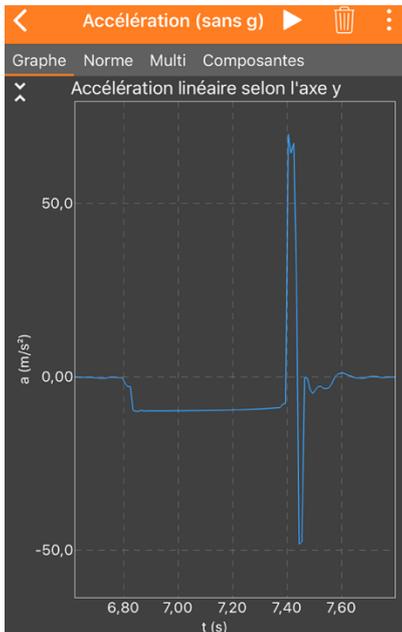
Corrigé détaillé :

Du côté des modèles

1. La 2e loi de Newton appliquée au smartphone dans le référentiel terrestre conduit à : $ma = mg$ et donc à $a=g$, relation caractéristique de la chute libre.
2. Pour une chute de vitesse initiale nulle, l'expression de la norme de la vitesse est $v = gt$. Si l'on choisit l'origine du repère comme la position initiale, alors $z = \frac{1}{2} gt^2$.
3. La durée de chute Δt est la durée nécessaire pour que $z=h$ on a donc $h = \frac{1}{2} g\Delta t^2$.

L'expérience 1

1. Après avoir vérifié par deux ou trois mesures la reproductibilité, on peut déterminer une hauteur de chute voisine de 0,58 s.
2. La hauteur de chute peut être mesurée avec un mètre déroulant, ou avec un objet de longueur connue comme une feuille A4. Dans tous les cas, il est conseillé de se faire aider.
3. Avec une hauteur de chute de 1,60 m, on trouve $g = 2h/(\Delta t^2) = 9,5 \text{ m.s}^{-2}$. On retrouve une valeur voisine de la valeur connue.
4. Il s'agit cette fois d'utiliser la valeur de g et de recommencer l'expérience en prenant soin de lâcher d'une hauteur qui correspond à sa propre taille. Si l'on veut tenir compte de l'épaisseur du coussin posé au sol, il convient de lâcher d'une hauteur augmentée de l'épaisseur correspondante.
5. Le modèle ne prévoit aucune influence de la masse sur l'accélération et donc sur l'équation horaire. On doit donc obtenir des résultats similaires avec un smartphone lesté.



L'expérience 2

Phyphox crée une variable Time.

Time (s)	Linear Acceleration y (m/s ²)
0	-0,382750039
0,009961	-0,628612666
0,019953	-0,628644753
0,029979	-0,647981641
0,039949	-0,676025253
0,049941	-0,678899598
0,059957	-0,521746029

Après avoir repéré la valeur de "Time" pour laquelle la valeur d'accélération devient très grande en valeur absolue (ou presque nulle si on utilise "accélération avec g"), par exemple 6,83 s, on fait calculer au tableur une variable $t = \text{Time} - 6,83$.

La vitesse est calculée par une méthode itérative. Pour ceci il faut fixer la valeur de la vitesse à $t = 0$ s puis faire calculer les différentes valeurs. Par exemple avec Regressi, on écrira :

$$t = \text{Time} - 6,83$$

$$v[i] = v[i-1] + a[i-1] * (t[i] - t[i-1])$$

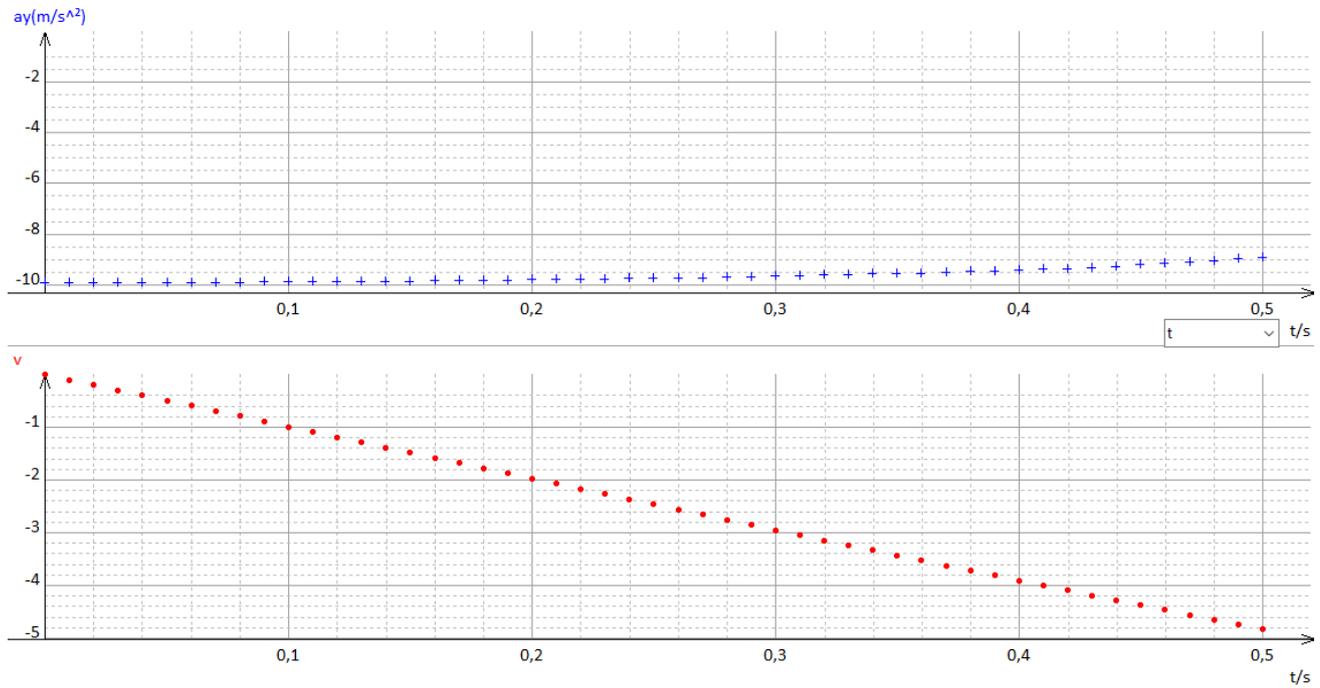
$$v[0] = 0 \text{ m/s}$$

Dans la mesure où l'accélération est quasiment constante le choix d'une méthode centrée ou d'une méthode "à droite" a peu d'importance sur les valeurs de la vitesse.

On obtient par exemple les deux courbes ci-dessous.

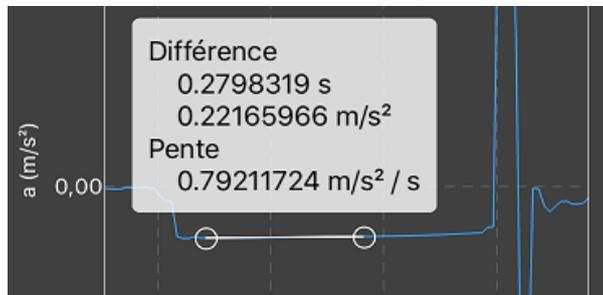
On vérifie que l'expérience réalisée peut être assez bien décrite par le modèle de la chute libre : l'accélération est quasiment constante (avec une valeur proche de celle de la valeur connue pour g) et la vitesse varie de façon linéaire avec le temps.

On constate cependant que l'écart à la chute libre se manifeste à la fin de la chute, lorsque la vitesse devient importante : les frottements sont alors suffisants par rapport au poids pour qu'on doive les prendre en compte.



L'expérience 3

1. La force de frottement étant verticale vers le haut, la coordonnée verticale de l'accélération diminue en valeur absolue au fur et à mesure que cette force augmente, et donc au fur et à mesure de la chute car la vitesse augmente.
2. C'est bien ce qu'on observe sur l'enregistrement de l'expérience 2. Si l'on souhaite augmenter l'effet, on peut fixer le smartphone sur un large carton ou sur une bande dessinée (avec des élastiques de la même façon qu'avec les cuillères). La valeur de la pente de l'accélération en fonction du temps peut être déterminée directement sur Phyphox pour une comparaison de différentes chutes avec frottement.



3. Le tableur permet de tracer l'accélération en fonction de la vitesse. L'expression fournie par la 2e loi de Newton est : $a = g - (k/m) \times v$ ou $a = g - (k'/m) \times v^2$ selon le modèle de la force de frottement. La modélisation numérique ci-dessous plaide sans ambiguïté pour le modèle quadratique.

