

TOURNEZ MANÈGE !

UNE ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE SUR L'ACCÉLÉRATION CENTRIPÈTE
À FAIRE AVEC SON SMARTPHONE !

DANS CETTE ACTIVITÉ, ON FAIT QUOI ?



On cherche à étudier un mouvement de rotation à l'aide d'un smartphone. On pourra ainsi tester et exploiter la relation entre la coordonnée normale du vecteur accélération (accélération dite *centripète*) et la vitesse d'un point. Grâce à son gyroscope et son accéléromètre, le smartphone permet de mesurer à la fois les trois coordonnées, dans le référentiel du "laboratoire", de son accélération et sa vitesse angulaire autour de chacun des trois axes.

L'ÉCHAUFFEMENT « PHYPHOX »

Télécharger l'application Phyphox, et découvrez comment l'utiliser sur ce tuto : <https://tinyurl.com/PhyphoxTuto>

Pour apprendre à utiliser le gyroscope, voici un petit échauffement ludique : <https://tinyurl.com/tutogyro>



DU CÔTÉ DES MODÈLES



On rappelle que, pour un point animé d'un mouvement circulaire de rayon R , la vitesse v de ce point est liée à la vitesse angulaire ω par la relation $v = R \omega$.

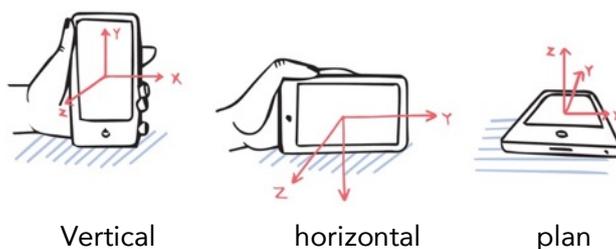
- 1) En faisant un schéma indiquant le repère de Frenet, rappeler l'expression vectorielle de l'accélération centripète dans le cas d'un mouvement circulaire.
- 2) Exprimer cette accélération centripète en fonction de R , de la vitesse de rotation ω et d'un vecteur unitaire à définir sur le schéma précédent.

L'EXPÉRIENCE N°1 : UNE ROTATION TOUTE SIMPLE

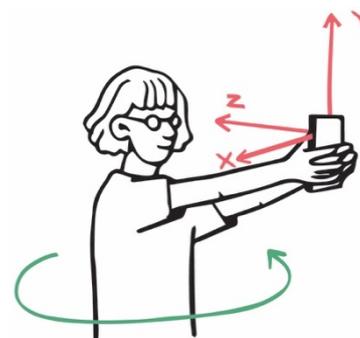


Démarrer Phyphox et cliquer sur le bouton "+" puis choisir "ajouter expérience à partir d'un QR code". Viser avec votre smartphone le QR Code ci-contre ou cliquer sur ce lien *depuis le smartphone* : <https://tinyurl.com/lyceecentripete>
Une nouvelle ligne "Lycée - accélération centripète" doit apparaître dans le menu "Mécanique". La sélectionner.

Les trois onglets proposés « Vertical », « Horizontal », « Plan » correspondent à ces configurations :



En tournant sur soi-même et en tenant le smartphone comme sur le schéma ci-contre, faire un enregistrement en choisissant l'onglet qui convient.



- 1) Relever la valeur de l'accélération et celle de la vitesse angulaire, puis, en exploitant la relation écrite précédemment, estimer la taille de vos bras.
- 2) Vérifier à l'aide de deux autres enregistrements que l'on détermine des valeurs voisines de la longueur de bras avec des vitesses angulaires différentes. Présenter clairement les résultats.

L'EXPÉRIENCE N°2 : L'EFFET DU RAYON

- 1) Proposer un protocole, inspiré de l'expérience n°1, qui permette d'étudier la relation entre l'accélération centripète et le rayon, la vitesse angulaire étant constante.



Réaliser les expériences correspondantes avec au moins trois mesures.

- 2) Analyser les résultats et conclure.
- 3) Indiquer dans quel cas la valeur de la vitesse est la plus grande.

L'EXPÉRIENCE N°3 : OÙ EST L'ACCÉLÉROMÈTRE ???

On cherche dans cette partie à utiliser la relation entre l'accélération centripète et la vitesse angulaire pour déterminer la position approximative de l'accéléromètre dans le smartphone. Pour ceci on utilise **soit** une essoreuse à salade **soit** un tourne-disque.

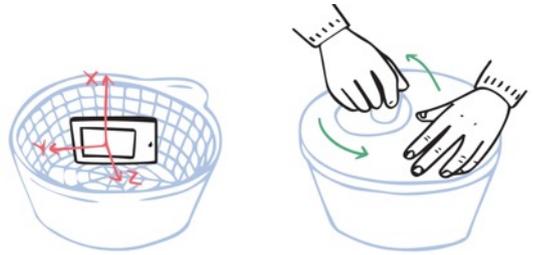
Option 1 : avec une essoreuse à salade

On pose le téléphone comme indiqué sur le dessin ci-contre.



Faire tourner en enregistrant (ne pas tourner trop vite et maintenir une vitesse la plus constante possible).

1) Exploiter les mesures pour, à l'aide d'un schéma, indiquer la position possible de l'accéléromètre du téléphone. On portera un regard critique sur le résultat.



POUR ALLER PLUS LOIN

Une fois le rayon fixé, *Phyphox* permet d'afficher en temps réel deux courbes : la valeur de l'accélération centripète en fonction de la vitesse angulaire et en fonction du carré de la vitesse angulaire pour différentes valeurs de vitesse angulaire.

2) Prévoir l'allure des deux courbes qu'on devrait obtenir selon l'expression établie dans la partie "Du côté des modèles".



En utilisant l'expérience de *Phyphox* "accélération centripète" en haut du menu « mécanique », faire un enregistrement en faisant varier le plus possible la vitesse angulaire de l'essoreuse.

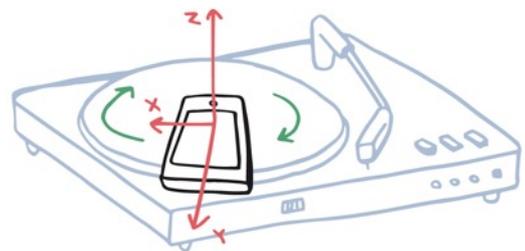
3) Comparer le résultat obtenu et la prévision faite à la question précédente.

4) En déduire la valeur du rayon de la trajectoire circulaire de l'accéléromètre (on choisira la représentation graphique la plus adaptée).

5) Indiquer si cette méthode paraît plus ou moins précise que la détermination précédente.

Option 2 : avec un tourne-disque

On utilise cette fois un tourne-disque pour faire tourner le téléphone. On pose le téléphone comme indiqué sur le schéma ci-contre (attention à ce que le téléphone ne touche pas le bras du tourne-disque quand celui-ci va tourner).



Faire tourner à 33 tours/min. Effectuer l'enregistrement.

6) Vérifier si la valeur de la vitesse angulaire de rotation du tourne-disque est celle attendue.

7) Exploiter les mesures pour, à l'aide d'un schéma, indiquer où peut se trouver l'accéléromètre du téléphone. On portera un regard critique sur le résultat.

8) Vérifier que la position de l'accéléromètre est indépendante de la vitesse angulaire de la platine.

FICHE PROF : LA ROTATION PARFAITE

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 physique-



DIFFICULTÉ CONCEPTUELLE - EXPLOITATION :

immédiat facile demande temps et savoir-faire



RÉALISATION PRATIQUE :

débutant familiarisé confirmé



DURÉE :

Expérience 1 : 1h (compte-rendu compris)

Expérience 2 : 15 min

Expérience 3 (entière) : 45 min compte-rendu compris



LE TUTO VIDÉO : <https://tinyurl.com/centripete>

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

Partie de programme :

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.
Coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet pour un mouvement circulaire.	Citer et exploiter les expressions des coordonnées des vecteurs vitesse et accélération dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire.
Mouvement rectiligne uniformément accéléré. Mouvement circulaire uniforme.	Caractériser le vecteur accélération pour les mouvements suivants : rectiligne, rectiligne uniforme, rectiligne uniformément accéléré, circulaire, circulaire uniforme. <i>Réaliser et/ou exploiter une vidéo ou une chronophotographie pour déterminer les coordonnées du vecteur position en fonction du temps et en déduire les coordonnées approchées ou les représentations des vecteurs vitesse et accélération.</i>

Objectifs pédagogiques de la séance :

	Exp 1	Exp 2	Exp 3
Exploiter l'expression de l'accélération centripète pour estimer la valeur du rayon d'une trajectoire circulaire.	X		X
À l'aide des valeurs mesurées par le smartphone pour l'accélération centripète et la vitesse angulaire,, étudier l'expression de l'accélération centripète.		X	X
Tester la relation entre l'accélération centripète et le rayon, la valeur de la vitesse angulaire étant fixée.		X	X
Tester la relation entre l'accélération centripète et la vitesse angulaire, la valeur du rayon étant fixée.			X

Les prérequis : Connaître l'expression du vecteur accélération dans le repère de Frenet. La relation nécessaire entre vitesse, rayon et vitesse angulaire est donnée.

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

Le matériel nécessaire

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

Capteurs du smartphone utilisés : gyroscope et accéléromètre

“Objets” tournants :

- soi-même avec le smartphone tenu à bout de bras ou soi-même sur chaise tournante ;
- essoreuse à salade (en option) ;
- platine disque (en option).

Mises en garde quant à la sécurité du smartphone : il faut s'assurer, avant de faire toute mesure que le smartphone en rotation ne risque pas de glisser, de tomber, d'être éjecté... Quand on tourne sur soi-même, s'écarter des murs et ne pas aller trop vite.

Si le smartphone ne possède pas de gyroscope, la mesure de la vitesse de rotation n'est pas possible et il faut trouver une autre méthode : soit on filme la rotation, soit on compte un grand nombre de tours et la durée correspondante, soit on utilise une platine disque (la vitesse de rotation est alors connue en faisant confiance à l'indication de la platine).

Sur certains smartphones, les valeurs d'accélération ou de vitesse de rotation saturent. Il ne sert donc à rien de vouloir tourner trop vite.

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

Modalité d'intervention pédagogique : feuille de consignes communiquée aux élèves. Il est préférable que ce ne soit pas la première expérience réalisée avec Phyphox. Un échange intermédiaire peut avoir lieu avec le professeur une fois les données collectées.

Juste avant l'activité expérimentale : il est possible de proposer des fiches contenant des petits exercices ludiques aux élèves, qui leur permettent, en douceur, de s'initier à l'utilisation des capteurs Accéléromètre et Gyroscope utilisés ensuite dans l'activité (ces fiches sont à retrouver en bonne définition en format image ou pdf sur ce lien : http://hebergement.u-psud.fr/supraconductivite/projet/smartphone_a_lepreuve/)

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

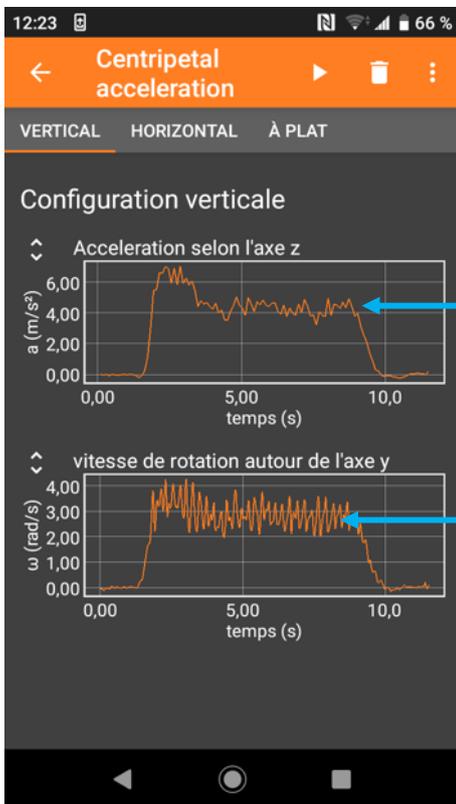
Accélération centripète liée à la rotation de la Terre sur elle-même (comparaison avec le champ de gravitation...)

Accélération dans un manège ou une centrifugeuse (entraînement des astronautes...)

Corrigé détaillé :

Expérience n°1 :

1) On tient son smartphone vertical face à soi à bout de bras, et on tourne sur soi-même le plus régulièrement possible en utilisant simultanément le gyroscope et l'accélération. Voici un exemple de mesure :



accélération

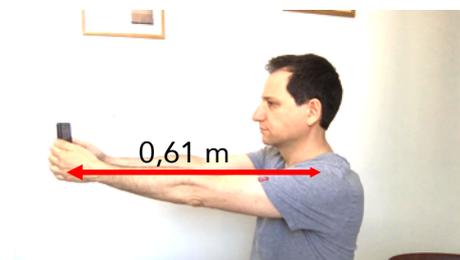
$$a_z = 4,5 \text{ m/s}^2$$

gyroscope (rotation)
 $\omega = 2,7 \text{ rad/s}$

c'est-à-dire à peu près
1/2 tour par seconde

On en déduit le rayon :

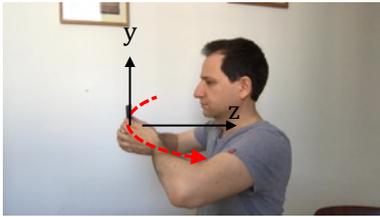
$$R = a_z / \omega^2 = 4,5 / 2,7^2 = 0,61 \text{ m}$$



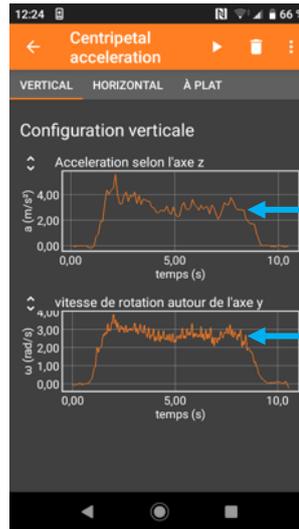
2) On mesure à nouveau à des vitesses angulaires plus faibles ou plus grandes, et en menant le même calcul, on trouvera toujours à peu près le même rayon.

Expérience n°2 : effet du rayon

1) Protocole : réitérer l'expérience n°1 mais en changeant la distance entre son corps et le téléphone en repliant les bras à différentes distances :



rotation sur soi-même à moitié replié



accélération

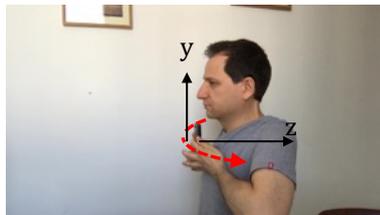
$$a_z = 3 \text{ m/s}^2$$

gyroscope (rotation)

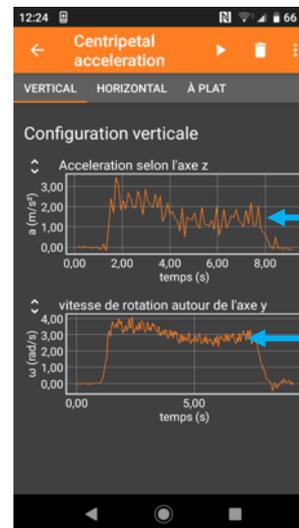
$$\omega = 2,7 \text{ rad/s}$$

c'est à dire à peu près 1/2 tour par seconde

On en tire le rayon : $R = a_z / \omega^2 = 3 / 2,7^2 = 0,41 \text{ m}$



rotation sur soi-même smartphone collé au corps



accélération

$$a_z = 1,4 \text{ m/s}^2$$

gyroscope (rotation)

$$\omega = 2,7 \text{ rad/s}$$

c'est à dire à peu près 1/2 tour par seconde

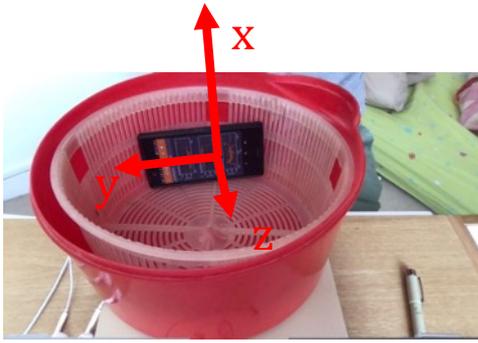
On en tire le rayon : $R = a_z / \omega^2 = 1,4 / 2,7^2 = 0,19 \text{ m}$

2) À vitesse angulaire constante, quand on approche le téléphone, le rayon diminue et on observe qu'il diminue bien proportionnellement à l'accélération selon z.

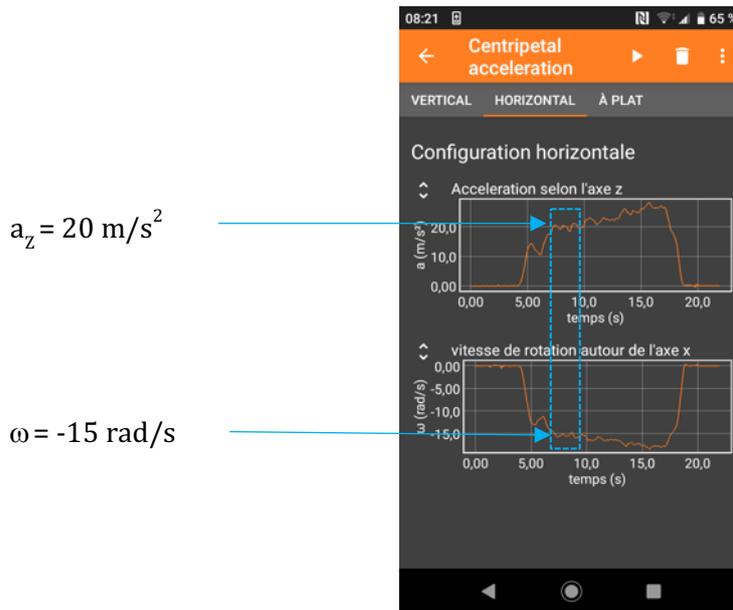
3) La vitesse vaut $v = r \omega$ donc vu que ω est à peu près constant, la valeur de la vitesse diminue quand celle du rayon r diminue.

Expérience n°3 :

Avec une essoreuse à salade :



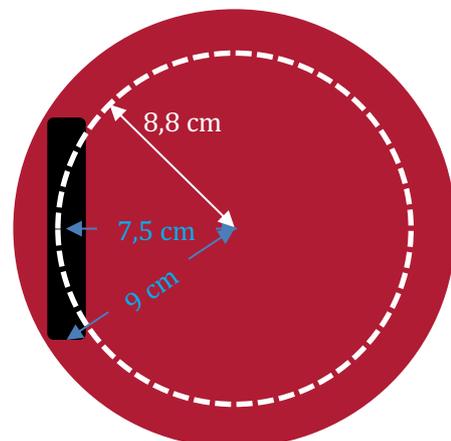
Voici un exemple de mesure :



On en tire le rayon : $R = a_z / \omega^2 = 20 / 15^2 = 0,088 \text{ m} = 8,8 \text{ cm}$

Si on mesure avec une règle, dans l'essoreuse choisie ici, le smartphone est situé entre 7,5 et 9 cm du centre. **Attention**, la distance 8,8 cm n'est pas forcément celle de la distance entre le centre de gravité du smartphone et le centre de l'essoreuse, car les capteurs ne sont pas forcément centrés dans le smartphone et cela dépend du modèle.

La mesure effectuée ici suggère, pour ce modèle de smartphone, qu'ils sont situés quelque part sur ce cercle blanc (s'ils sont proches l'un de l'autre). L'ordre de grandeur du rayon est, par contre, correct.



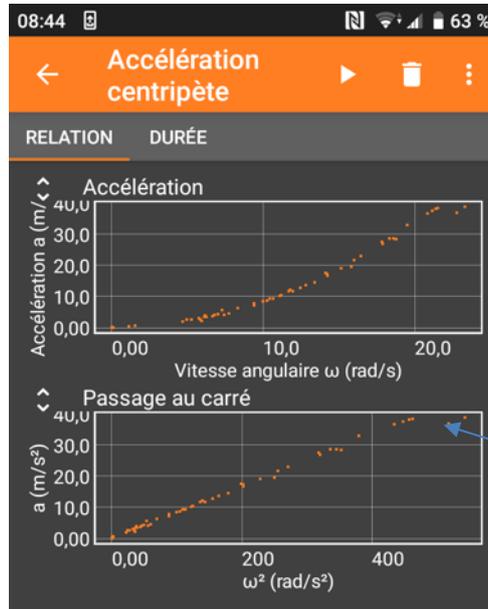
2) Dans la mesure où $a = R \omega^2$, on attend que courbe décrivant la dépendance de l'accélération en fonction de ω soit une parabole et que celle en fonction de ω^2 soit une droite, les deux courbes passant par l'origine.

Voici un exemple de mesure où on a progressivement accéléré l'essoreuse :

cliquez ici :



Un exemple de mesure :



Ici, il y a saturation car ce modèle de smartphone n'a pas été capable de mesurer une accélération au-delà de 40m/s^2 .

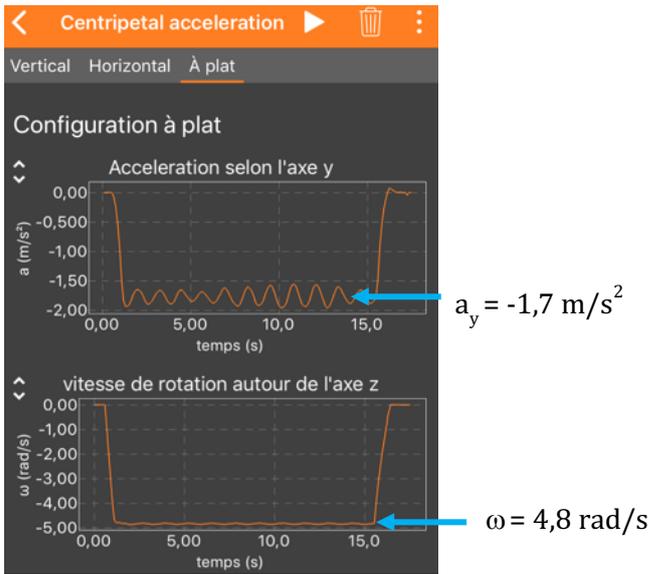
On observe bien un comportement linéaire pour l'accélération fonction de ω^2 . Cela démontre expérimentalement que a_z est bien proportionnel à ω^2

4) La pente de cette courbe est égale au rayon exprimé en mètre. Numériquement, elle vaut ici à peu près $34/400=0,085\text{ m}$. Cette valeur est cohérente avec celle mesurée précédemment.

5) La méthode est bien plus précise car elle se base sur un ajustement d'un ensemble de points de mesure à différentes valeurs de ω . La mesure précédente est unique et présente une plus grande incertitude.

Avec un tourne-disque :

6) Voici un exemple de mesures lorsqu'on positionne la platine sur 45 tr/min :



La vitesse de rotation vaut $\omega = 4,8 \text{ rad/s}$ soit $0,76 \text{ tour/s}$ ou encore 45 à 46 tour par minute ce qui correspond bien à ce qu'on attend.

7) On en déduit la valeur du rayon : $R = |a_y| / \omega^2 = 1,7 / 4,8^2 = 0,074 \text{ m} = 7,4 \text{ cm}$ ce qui est raisonnable compte tenu du dispositif étudié.

On remarque des oscillations pour l'accélération. Leur origine peut être double : d'une part l'accéléromètre n'est pas obligatoirement sur l'axe du téléphone, d'autre part selon la platine le fait de poser, de manière asymétrique, un objet relativement massif peut déséquilibrer la rotation.

8) La comparaison entre la valeur du rayon déterminée expérimentalement et une valeur de référence n'est pas aisée mais on peut au moins vérifier que l'accéléromètre est dans le téléphone ($R < \text{taille du téléphone}$) ! Et on peut inviter les élèves à rechercher en ligne la position de l'accéléromètre de leur téléphone : cette information est bien documentée pour les modèles courants.