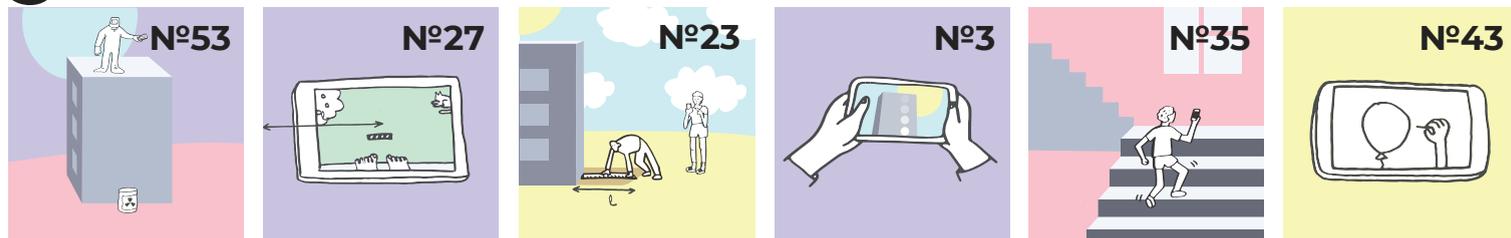
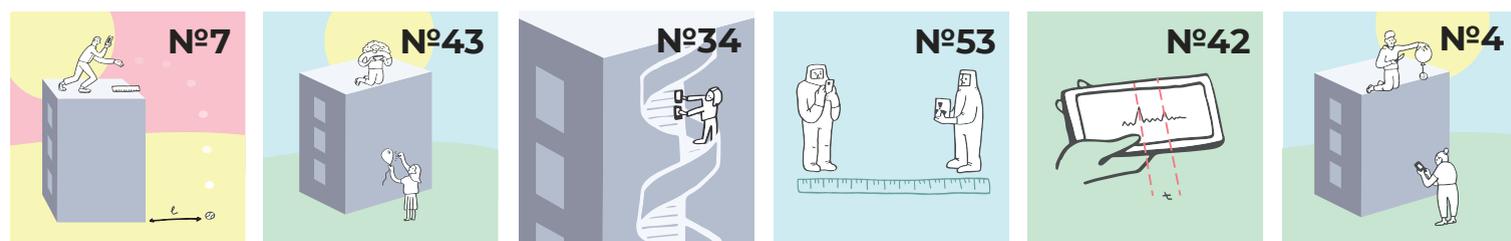
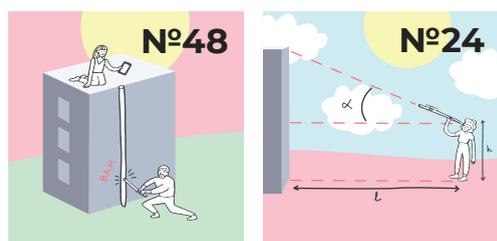


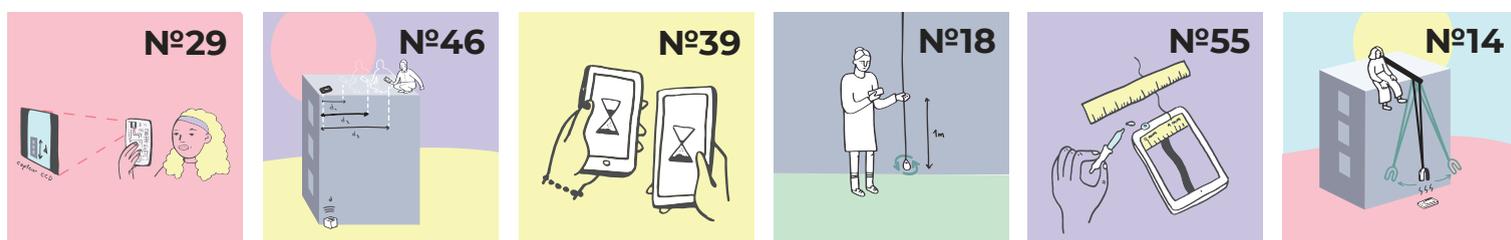
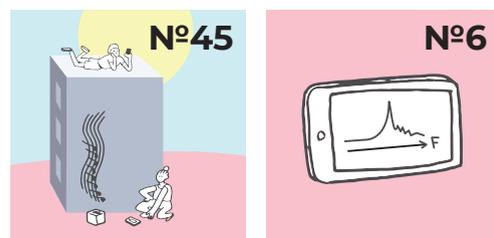
# Combien y-a-t-il



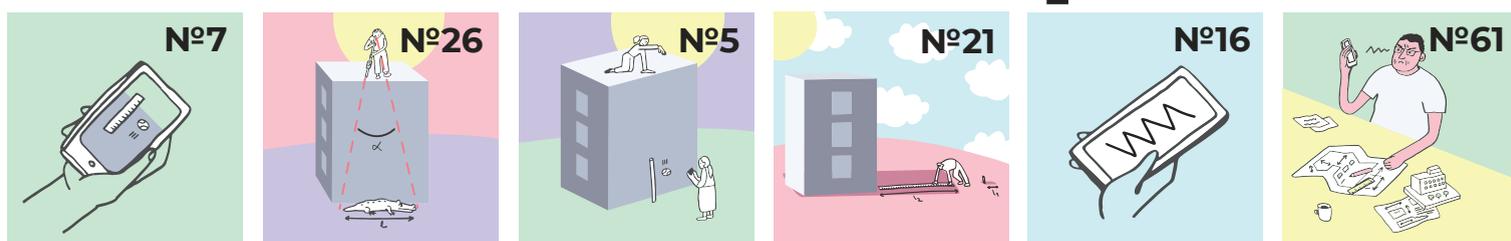
# de façons de mesurer



# la hauteur d'un bâtiment



# avec un smartphone ?



Découvrez Le Smartphone Physics Challenge sur [VULGARISATION.FR](http://VULGARISATION.FR)

équipe « La Physique Autrement » (Université Paris-Saclay)



Précision : haute



Difficulté : basse

# N°1. Chute libre du smartphone

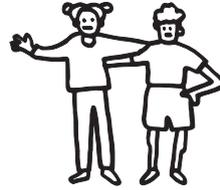
## Formule

$$\begin{cases} H = \frac{1}{2}gt^2 \\ H = \int \int \ddot{z} dt \end{cases}$$

## Matériel



1 drap

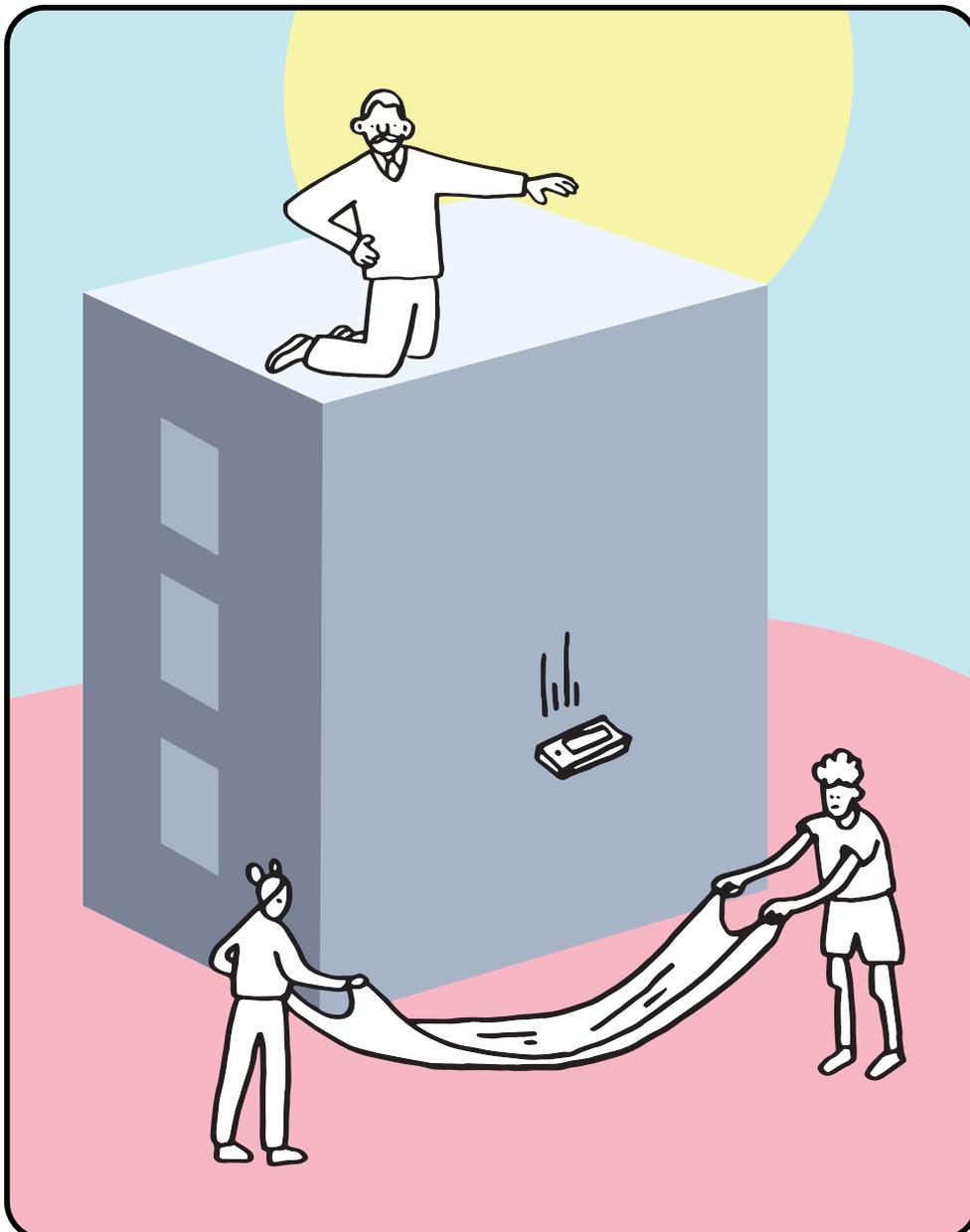


deux amis

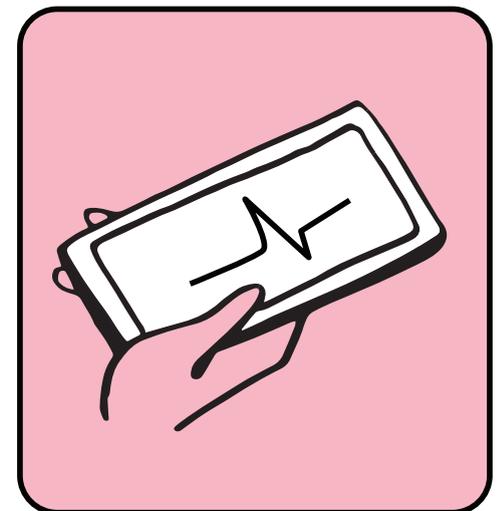


1 smartphone

Capteur :  
**accéléromètre**



Lâchez votre smartphone du haut du bâtiment, vos amis le réceptionnant en bas dans un drap, à la façon de pompiers. L'enregistrement des données de l'accéléromètre permet de déterminer le temps de chute, et la valeur de l'accélération permet de mesurer l'effet des frottements de l'air.



$t$  = temps de chute du smartphone,  $\ddot{z}$  = accélération du smartphone,  $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$



Précision : moyenne



Difficulté : minimale

# N°2. Chute libre & chronomètre

## Formule

$$H = \frac{1}{2} g t^2$$

## Matériel

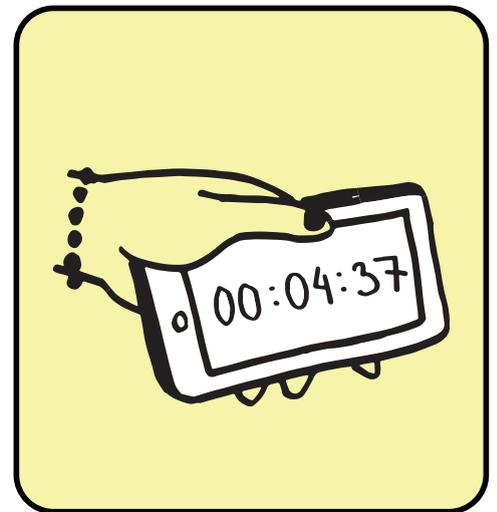
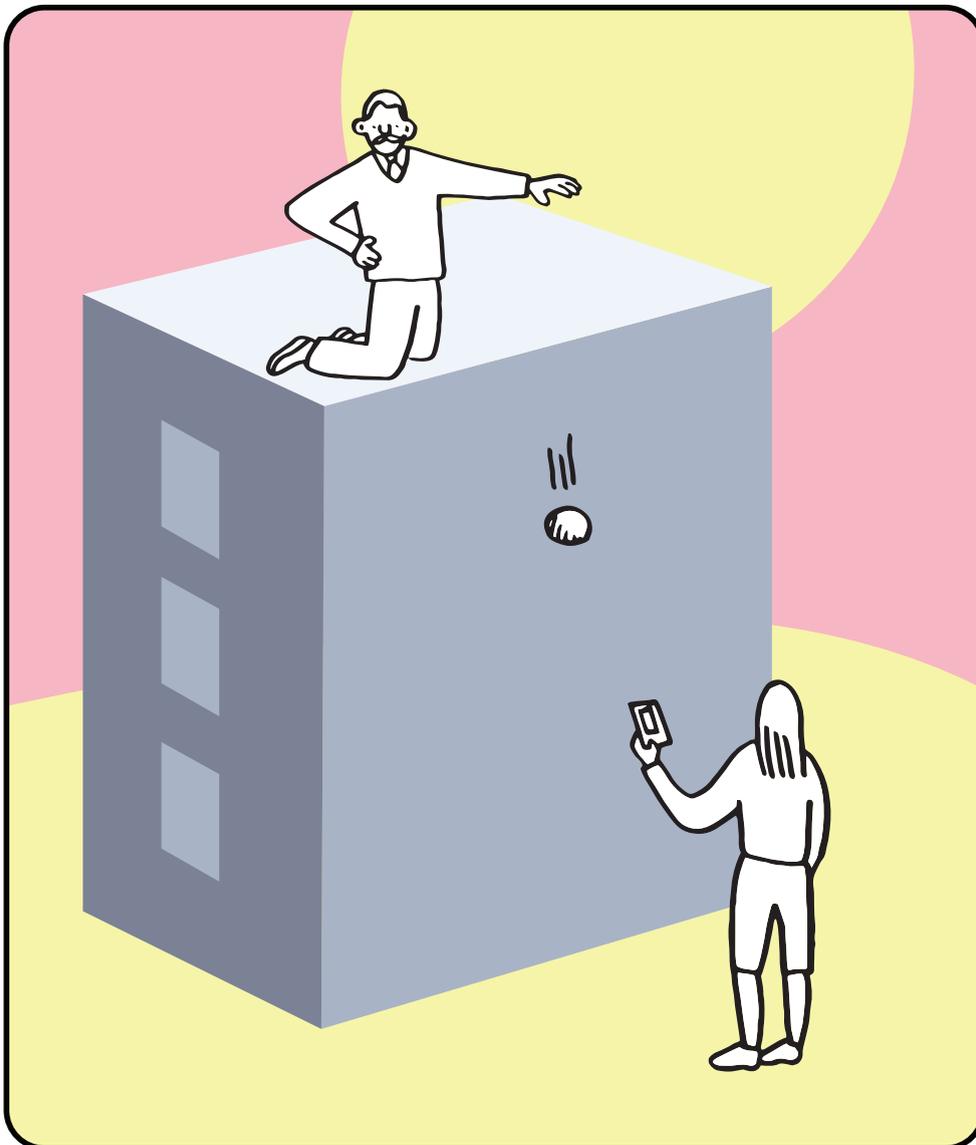


1 balle



Capteur :  
**chronomètre**

1 smartphone



Lâchez la balle du haut du bâtiment. Chronométrez la chute.

t = temps de chute de la balle,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

*Les frottements de l'air peuvent perturber cette mesure.*



Précision : haute



Difficulté : minimale

# N°3. Chute libre filmée

## Formule

$$H = \frac{1}{2} g t^2$$

## Matériel

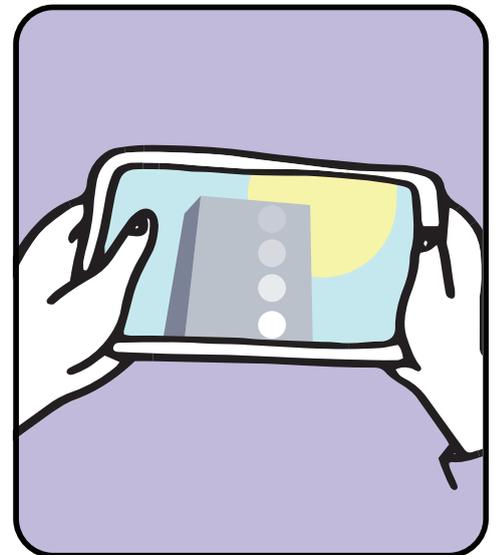
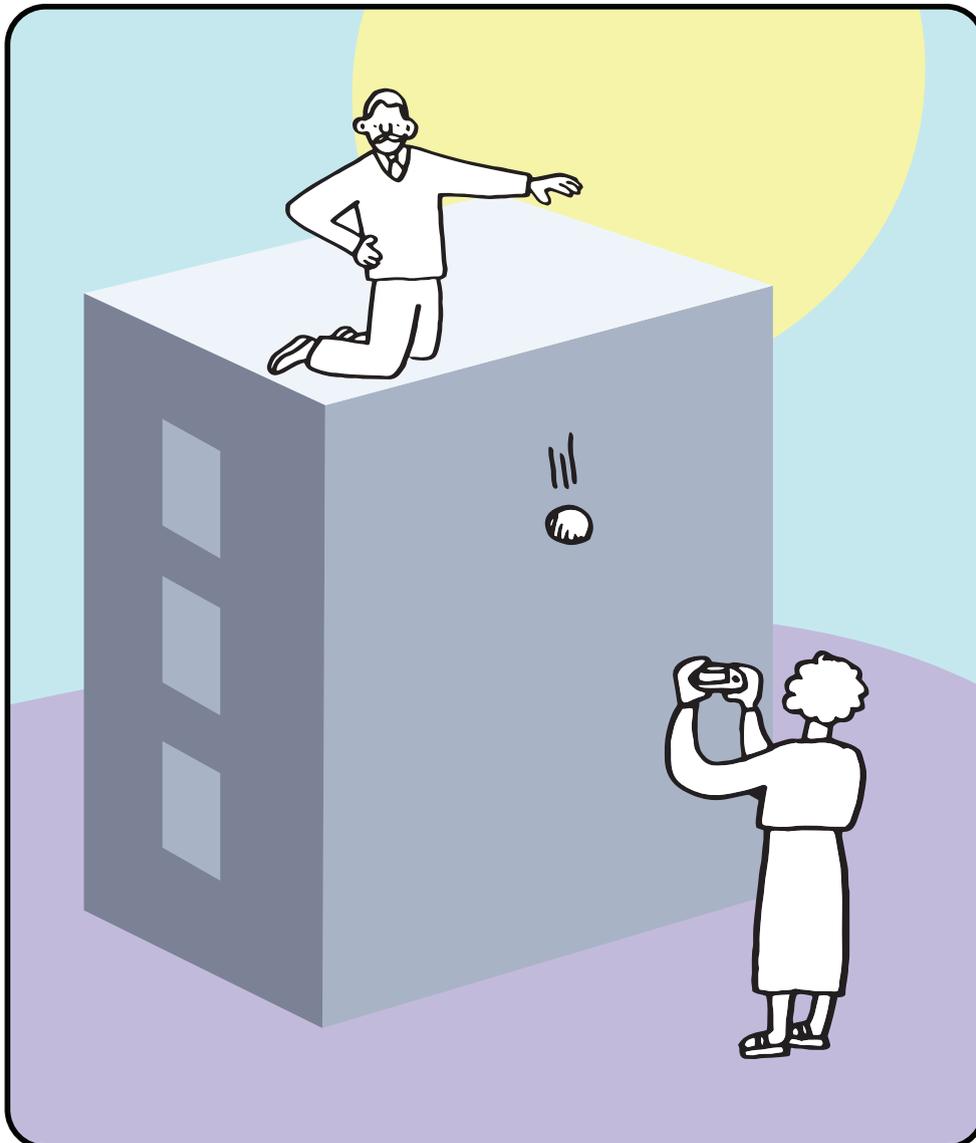


1 balle



Capteur :  
**caméra**

1 smartphone



Lâchez la balle du haut du bâtiment. Filmez la chute pour en déterminer la durée.

t = temps de chute de la balle,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

*Les frottements de l'air peuvent perturber cette mesure.*



Précision : haute



Difficulté : basse

# N°4. Son d'une chute libre

## Formule

$$H = \frac{1}{2} g t^2$$

## Matériel



1 balle

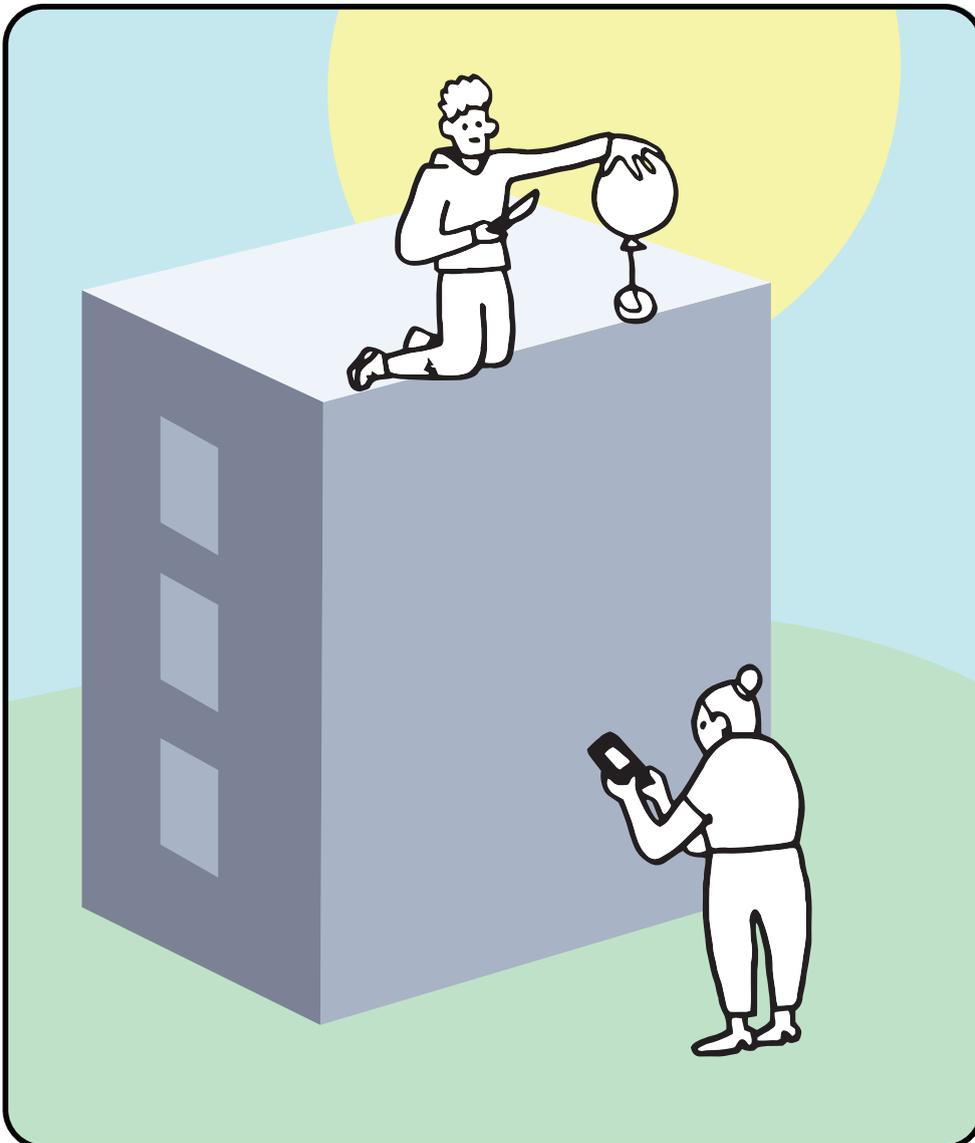


1 ballon



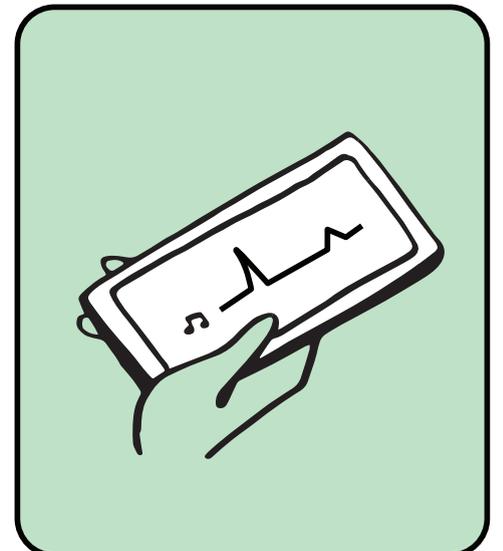
Capteur :  
**micro**

1 smartphone



Attachez la balle au ballon de baudruche. Montez en haut du bâtiment, et laissez chuter la balle en éclatant le ballon. Le smartphone, en bas du bâtiment, enregistre le son et permet de déterminer le temps de chute.

$t$  = temps de chute de la balle,  $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$



*Les frottements de l'air peuvent perturber cette mesure.*



Précision : moyenne



Difficulté : basse

# N°5. Fin de chute filmée

## Formule

$$H = \frac{v^2}{2g}$$

## Matériel



1 balle

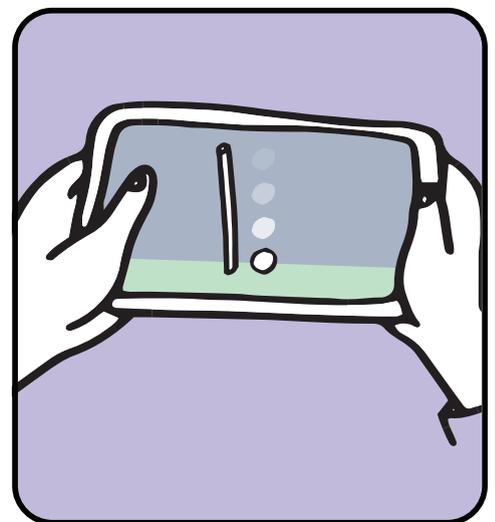
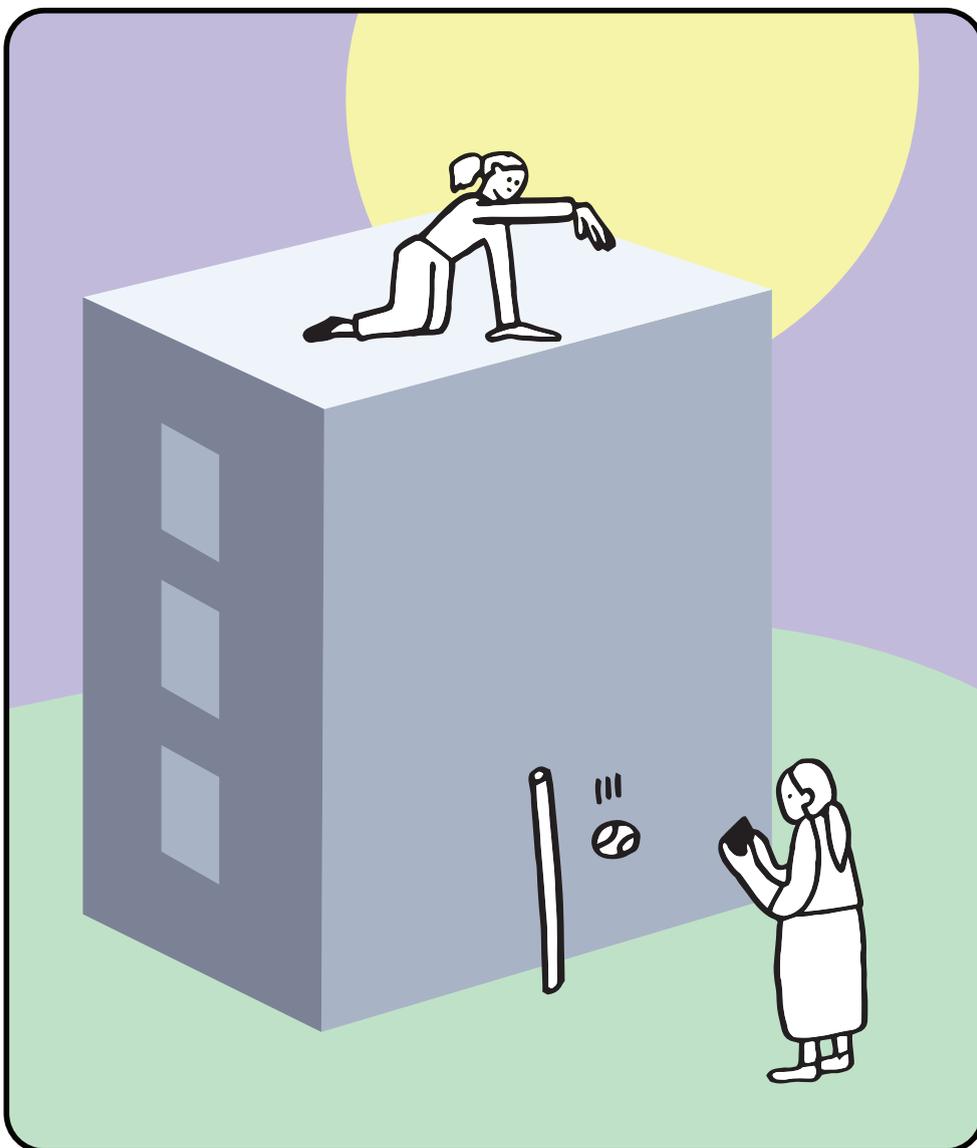


1 barre de  
taille connue



Capteur :  
**caméra**

1 smartphone



Lâchez la balle du haut du bâtiment. Filmez les derniers instants de la chute de la balle, la barre servant d'échelle. Déterminez la vitesse de la balle.

$v$  = vitesse finale de la balle,  
 $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

*Les frottements de l'air peuvent perturber cette mesure.*



Précision : moyenne



Difficulté : moyenne

# N°6. Fin de chute & Doppler

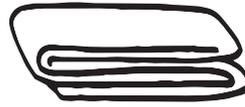
## Formule

$$H = \frac{v^2}{2g}$$

## Matériel



1 haut-parleur bluetooth

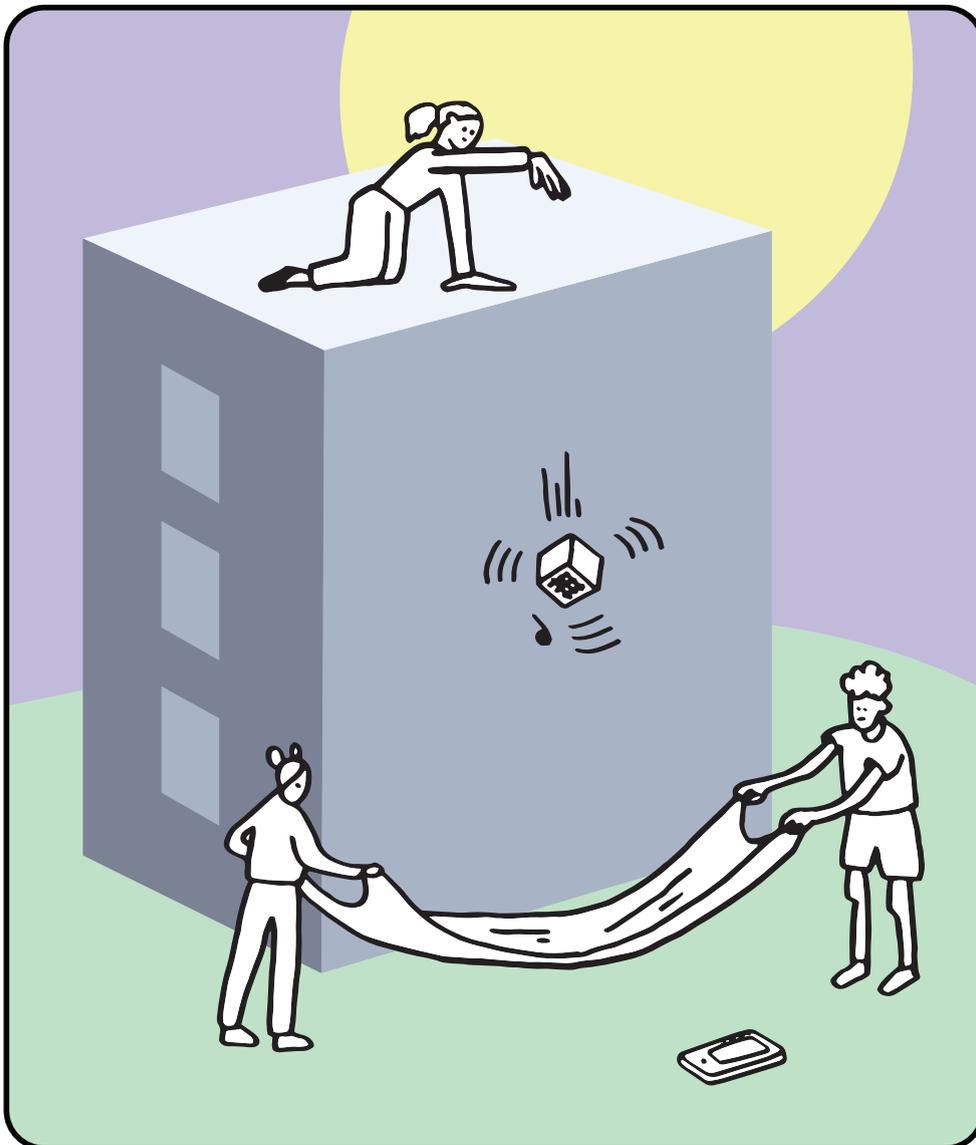


1 drap



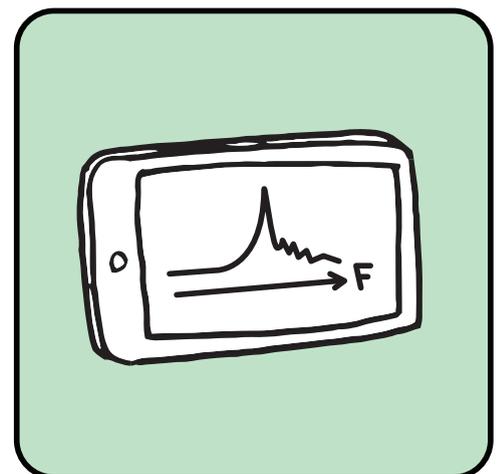
Capteur :  
**micro**

1 smartphone



Lâchez le haut-parleur du haut du bâtiment, en lui faisant émettre une note continue. En bas, le smartphone enregistre le son pour déterminer la vitesse de chute par effet Doppler. (Rattrapez le haut-parleur dans un drap tendu entre deux personnes.)

$v$  = vitesse finale vitesse finale du haut-parleur,  $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$



*Les frottements de l'air peuvent perturber cette mesure.*



Précision : moyenne



Difficulté : moyenne

# N°7. Lancer horizontal

## Formule

$$H = \frac{1}{2} g \left( \frac{l}{v_0} \right)^2$$

## Matériel



1 mètre  
mesureur



1 barre de  
taille connue

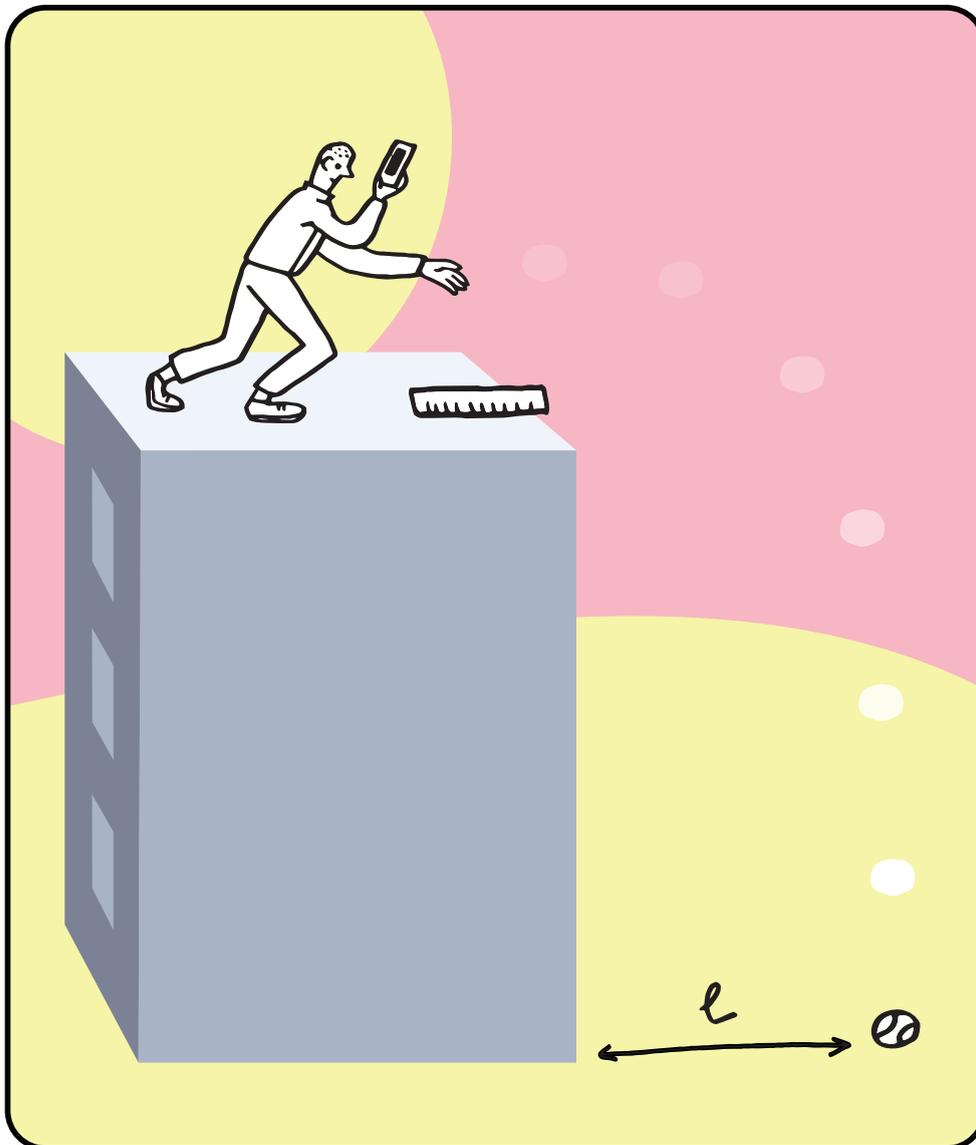


1 balle



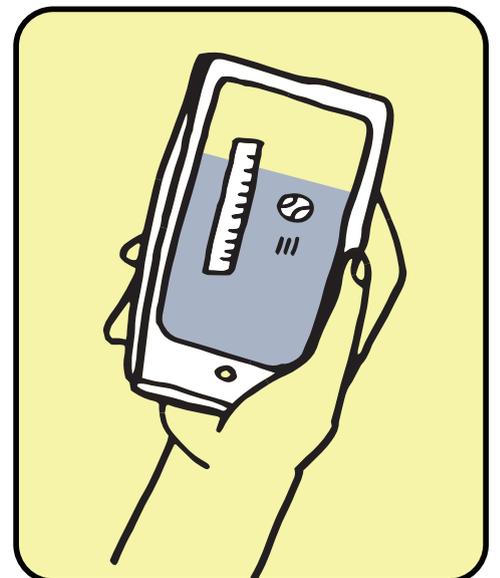
1 smartphone

Capteur :  
caméra



Du haut du bâtiment, la balle est lancée horizontalement. Filmez pour déterminer la vitesse initiale de la balle (la barre donne l'échelle). Mesurez la distance au bâtiment à laquelle la balle touche le sol.

$v_0$  = vitesse horizontale de la balle ,  
 $l$  = distance au bâtiment où la balle  
touche le sol,  $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$



*Les frottements de l'air peuvent perturber cette mesure.*



Précision : moyenne



Difficulté : basse

# N°8. Rebonds filmés

## Formule

$$\begin{cases} t_n = 2e^n t_0 \\ H = \frac{1}{2} g t_0^2 \end{cases}$$

## Matériel

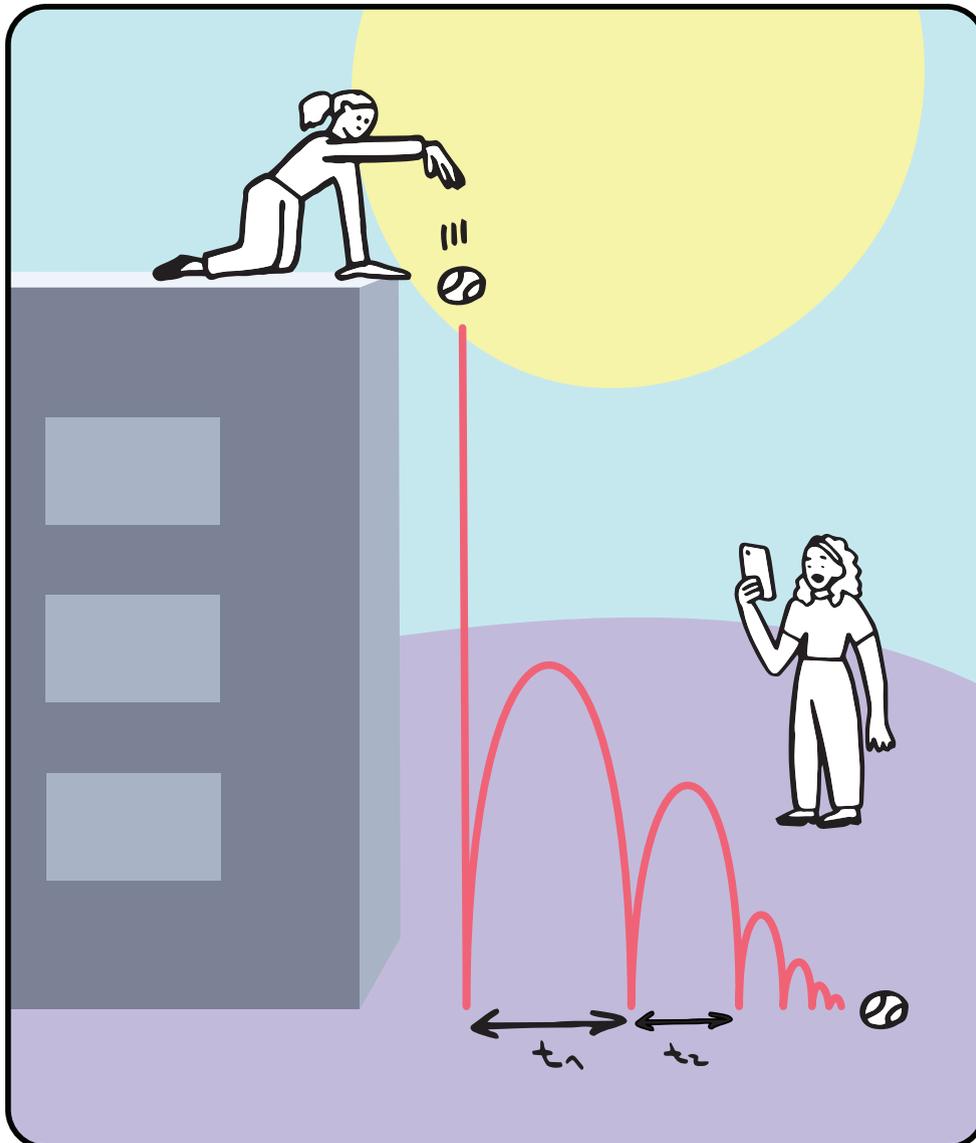


1 balle



Capteur :  
caméra

1 smartphone



Laissez tomber la balle du haut du bâtiment. Filmez les rebonds successifs de la balle pour en déterminer le coefficient de restitution (supposé constant) et les durées des rebonds.

$t_n$  = durée du nième rebond,  
 $e$  = coefficient de restitution,  
 $t_0$  = temps de chute du haut du bâtiment,  $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

*Les frottements de l'air peuvent perturber cette mesure.*



Précision : moyenne



Difficulté : basse

# N°9. Son de rebonds

## Formule

$$\begin{cases} t_n = 2e^n t_0 \\ H = \frac{1}{2} g t_0^2 \end{cases}$$

## Matériel

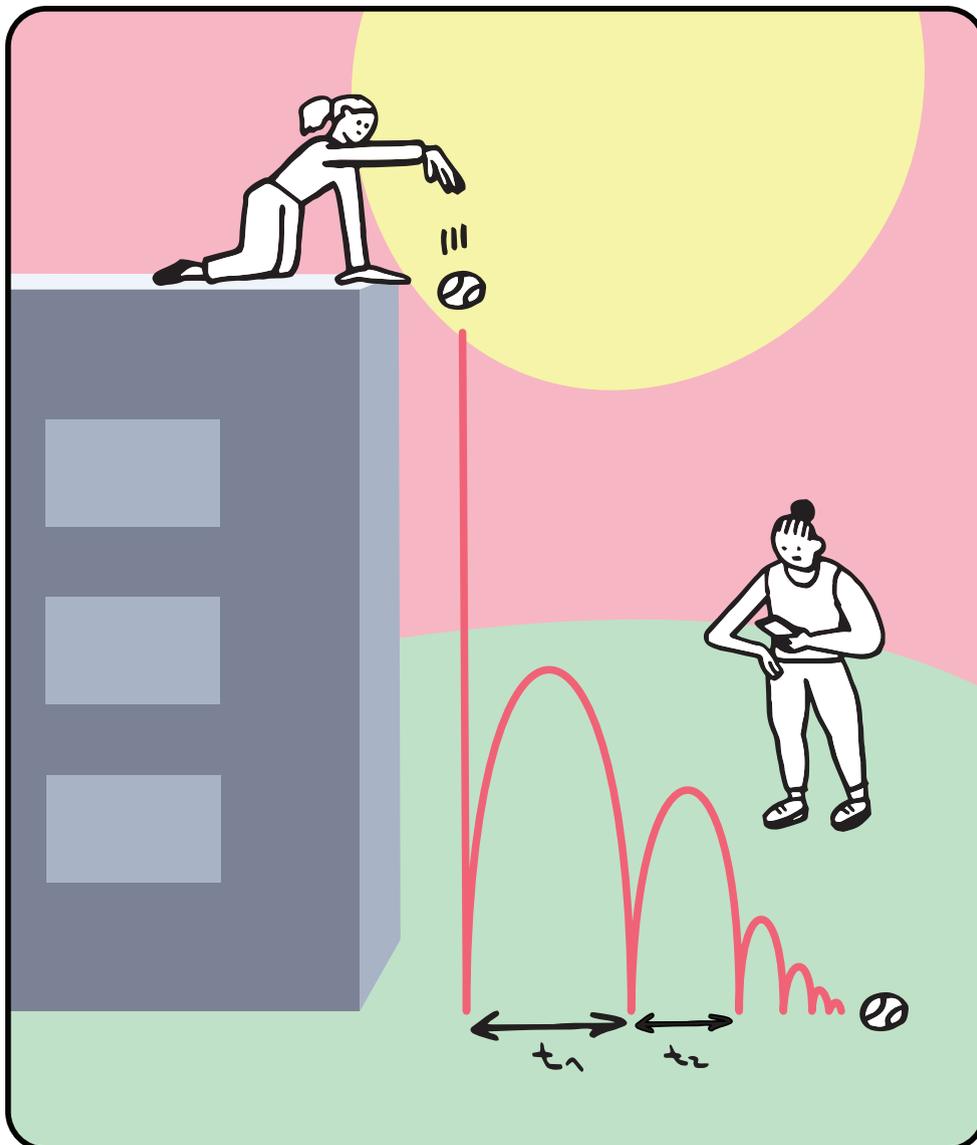


1 balle



Capteur : **micro**

1 smartphone



Laissez tomber la balle du haut du bâtiment. Enregistrez le son des rebonds successifs de la balle pour en déterminer les durées (le coefficient de restitution est supposé constant).

$t_n$  = durée du nième rebond,  
 $e$  = coefficient de restitution,  
 $t_0$  = temps de chute du haut du bâtiment,  $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$

*Les frottements de l'air peuvent perturber cette mesure.*



Précision : maximale



Difficulté : moyenne

# N°10.

# Pendule géant chronométré

## Formule

$$H = g \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

## Matériel



1 longue  
corde

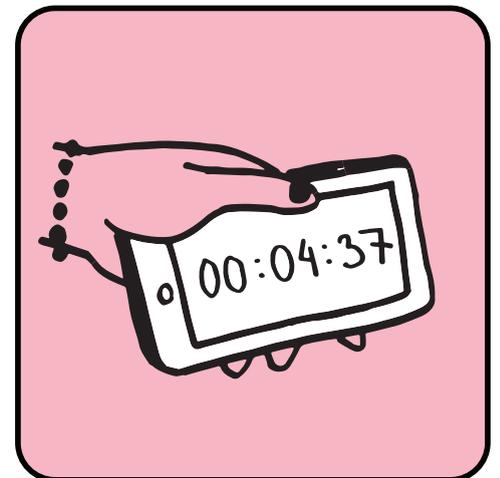
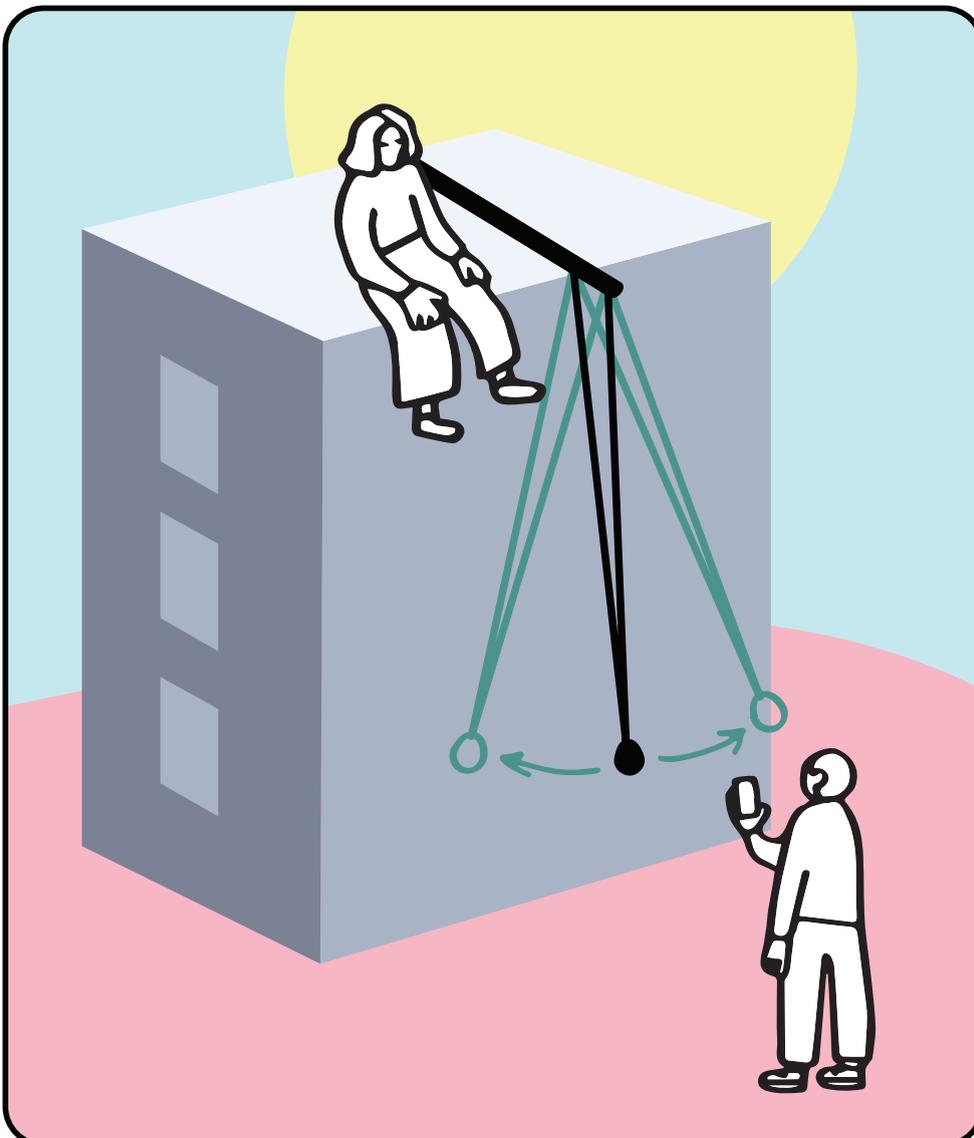


1 masse



1 smartphone

Capteur :  
**chronomètre**



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Utilisez le chronomètre du smartphone pour déterminer la période.

T = période du pendule,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

Attention, le pendule ne doit pas tourner dans tous les sens, il doit seulement se balancer.



Précision : maximale



Difficulté : moyenne

# N°11. Pendule géant filmé

## Formule

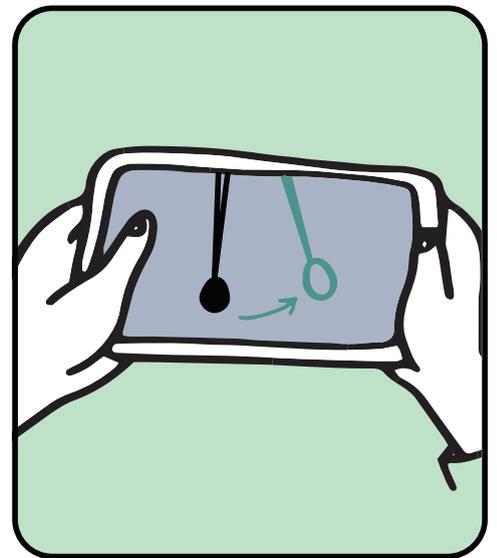
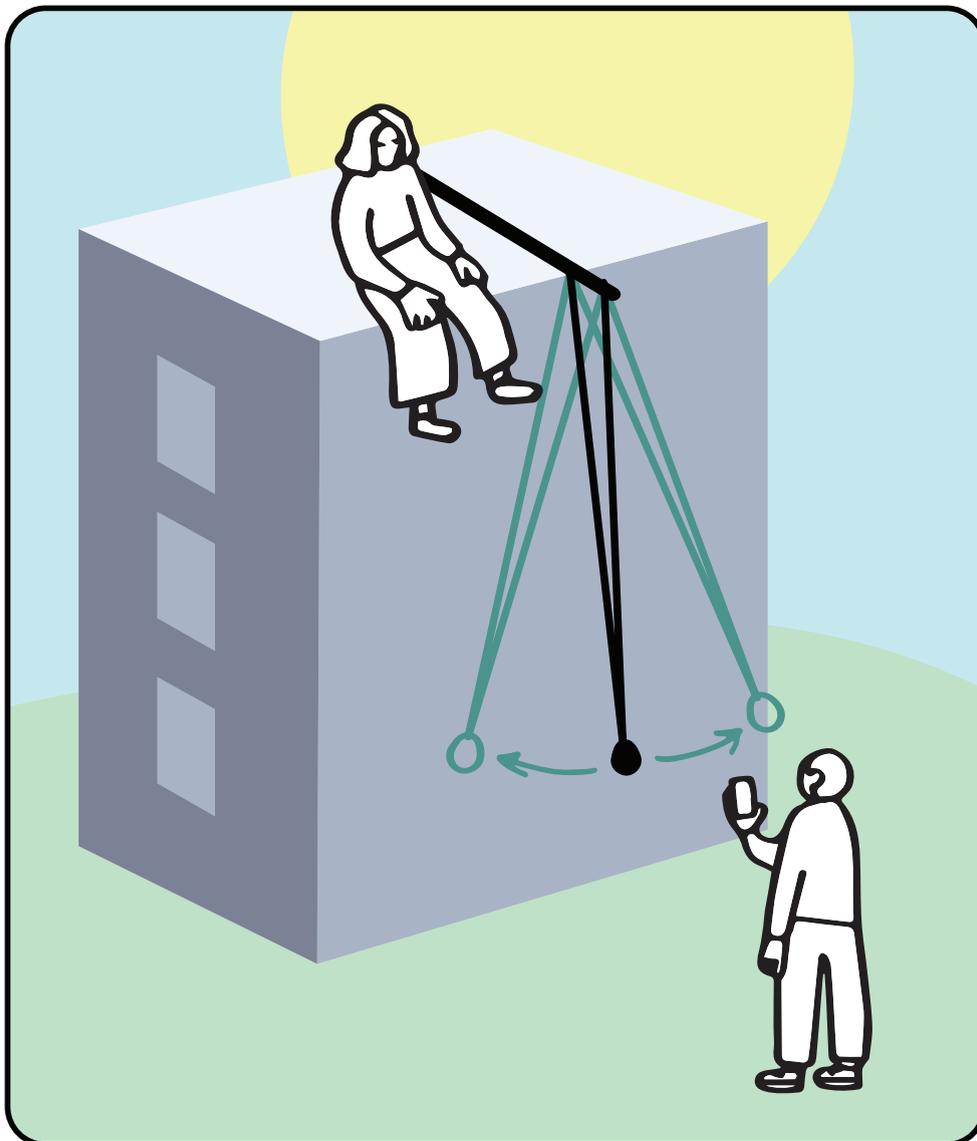
$$H = g \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

## Matériel



Capteur :  
**caméra**

1 smartphone



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Filmez les oscillations du pendule pour en déterminer la période.

T = période du pendule,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

Attention, le pendule ne doit pas tourner dans tous les sens, il doit seulement se balancer.



Précision : basse



Difficulté : moyenne

# N°12. Pendule géant avec accéléromètre

## Formule

$$H = g \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

## Matériel



1 longue corde

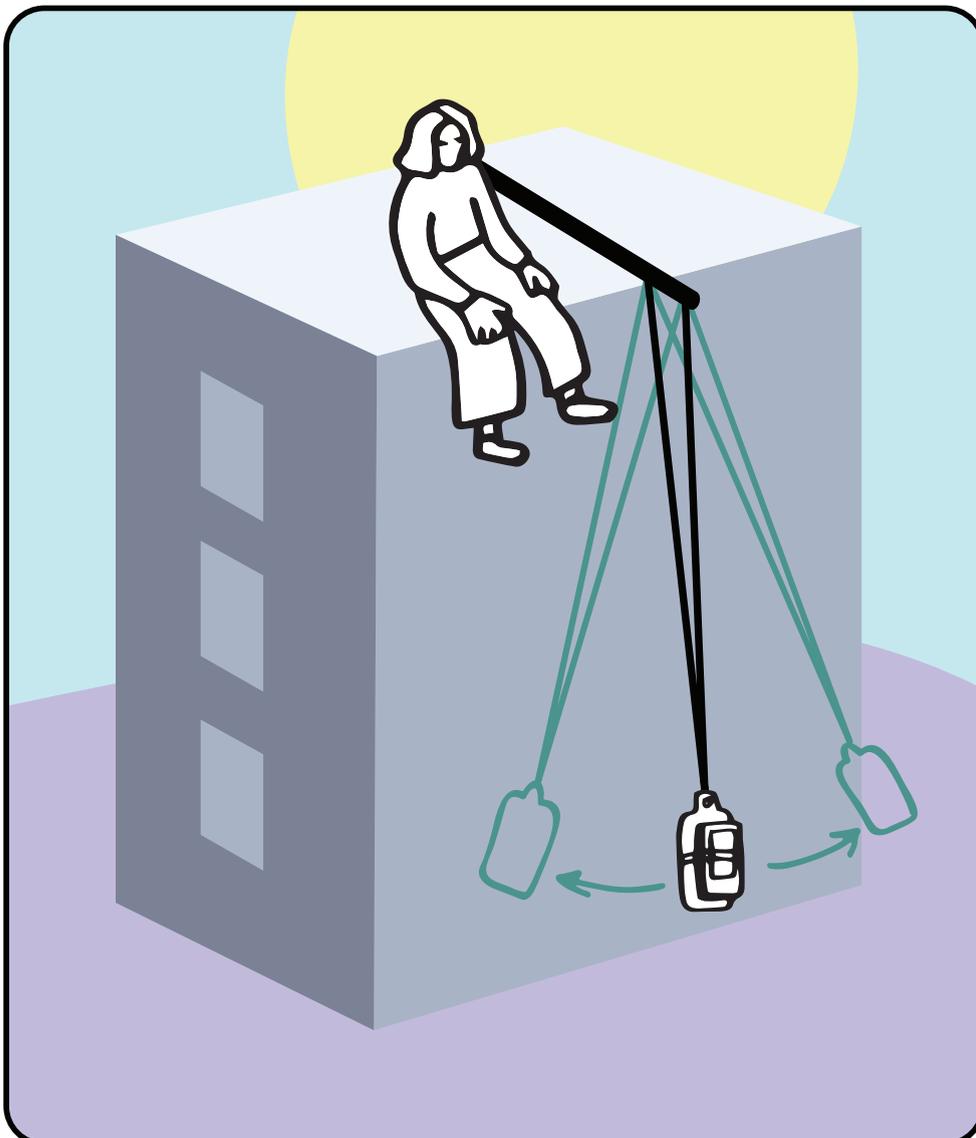


1 masse

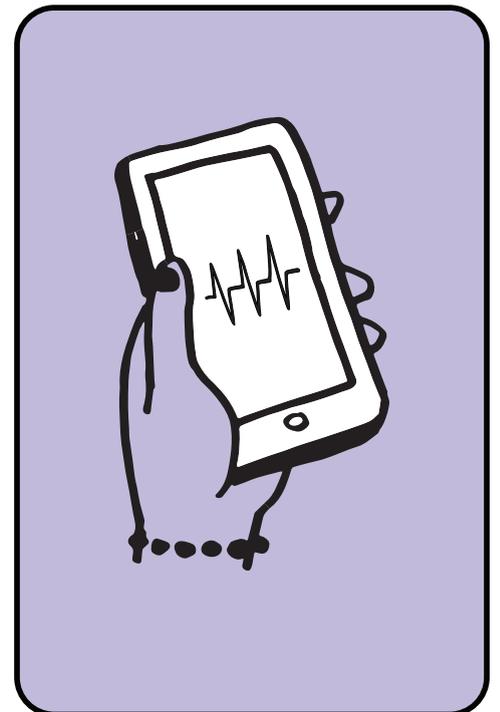


1 smartphone

Capteur : **accéléromètre**



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Fixez le smartphone au balancier, et utilisez l'accéléromètre pour déterminer la période.



T = période du pendule,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

Plus le bâtiment sera haut, plus petites seront les accélérations, et plus difficile sera la mesure.



Précision : basse



Difficulté : moyenne

# N°13. Pendule géant avec gyroscope

## Formule

$$H = g \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$



1 longue corde

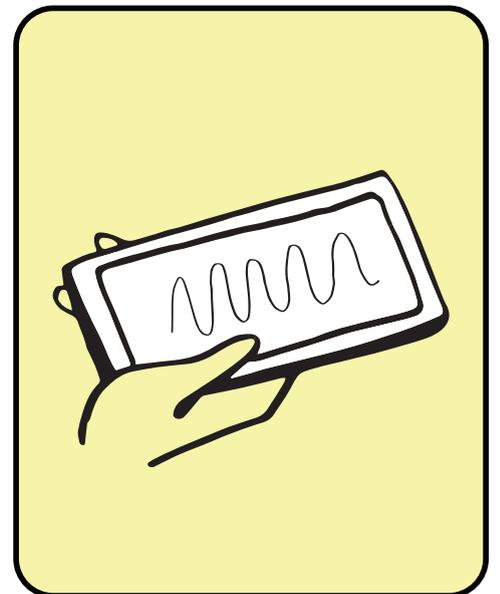
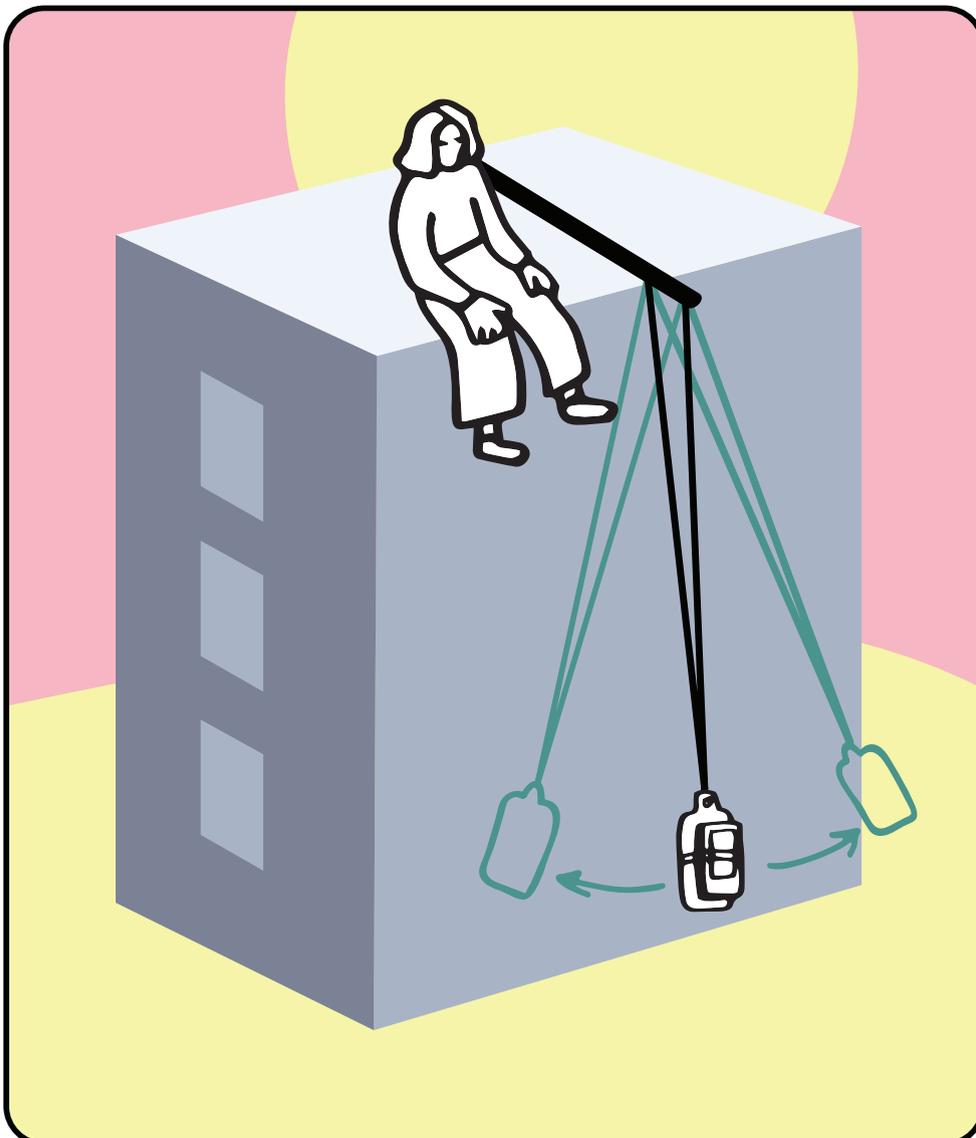


1 masse



1 smartphone

Capteur : gyroscope



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Fixez le smartphone au balancier, et utilisez le gyroscope pour déterminer la période.

T = période du pendule,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

Plus le bâtiment sera haut, plus petites seront les accélérations, et plus difficile sera la mesure.



Précision : haute



Difficulté : moyenne

# N°14. Pendule géant avec un aimant

## Formule

$$H = g \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

## Matériel



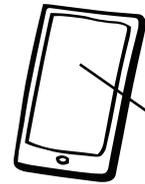
1 longue corde



1 masse

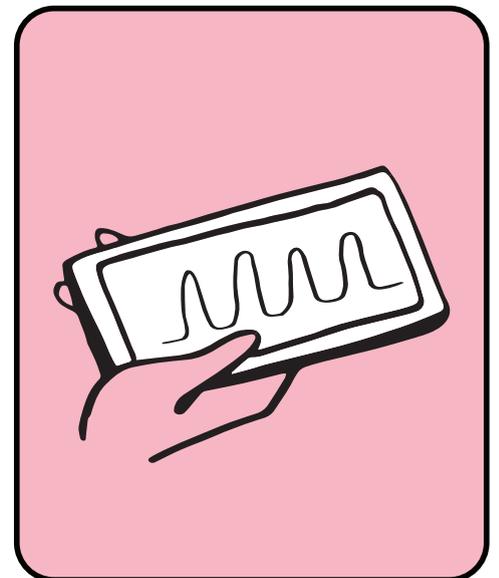
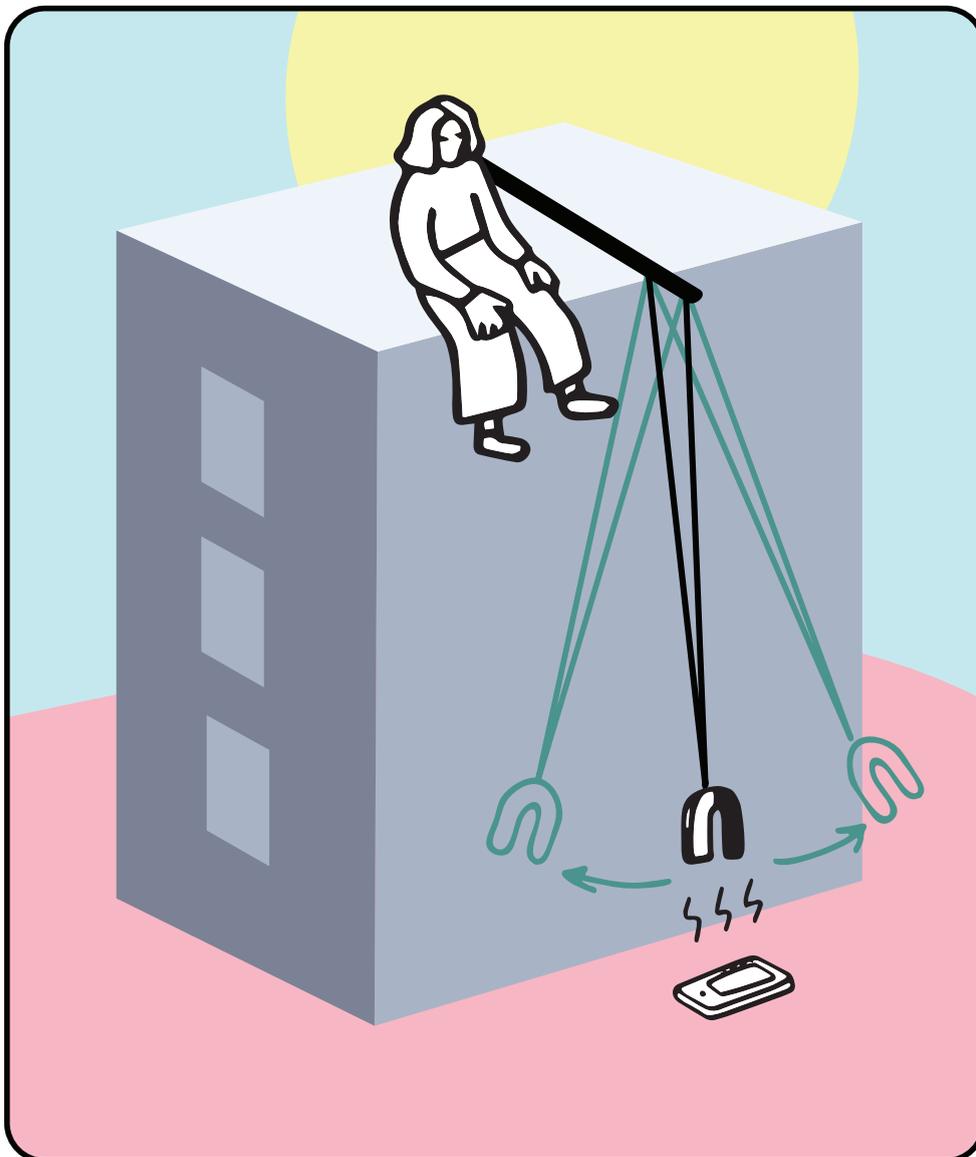


1 aimant



1 smartphone

Capteur :  
**magne-  
tomètre**



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Fixez un aimant sur le balancier. Positionnez le smartphone à la verticale pour qu'il détecte le passage de l'aimant.

T = période du pendule,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

*Le champ magnétique terrestre peut être utilisé à la place de l'aimant ; le smartphone doit alors être fixé sur le balancier.*



Précision : haute



Difficulté : moyenne

# N°15. Pendule géant par lumière

## Formule

$$H = g \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

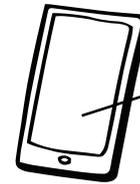
## Matériel



1 longue corde

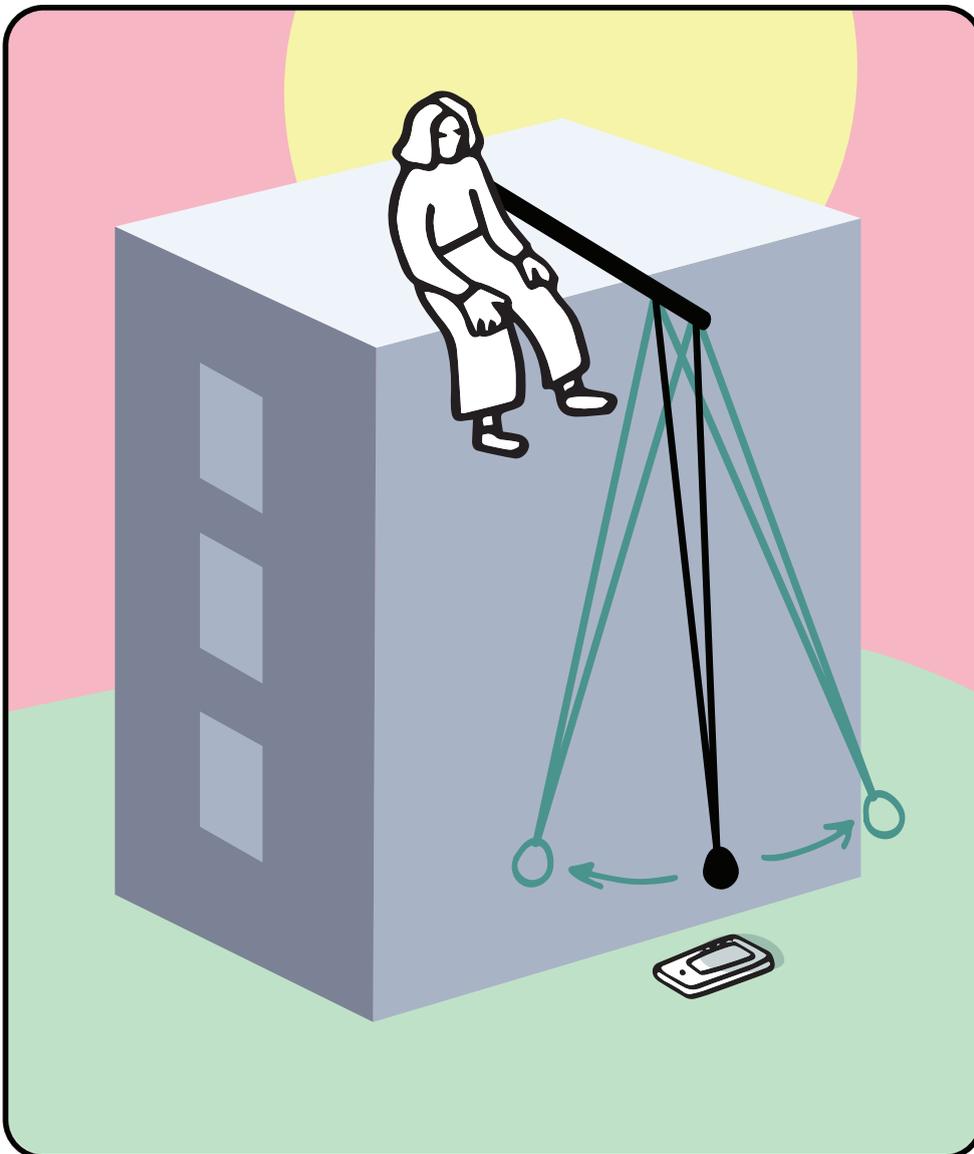


1 masse

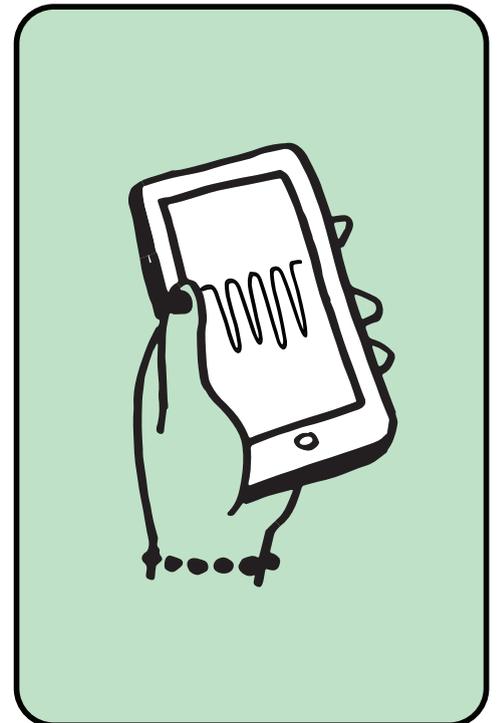


Capteur :  
capteur de lumière

1 smartphone



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Positionnez le smartphone à la verticale pour qu'il détecte le passage de l'ombre du balancier.



T = période du pendule,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

Attention, le pendule ne doit pas tourner dans tous les sens, il doit seulement se balancer.



Précision : haute



Difficulté : moyenne

# N°16. Pendule géant par proximité

## Formule

$$H = g \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

## Matériel



1 longue corde

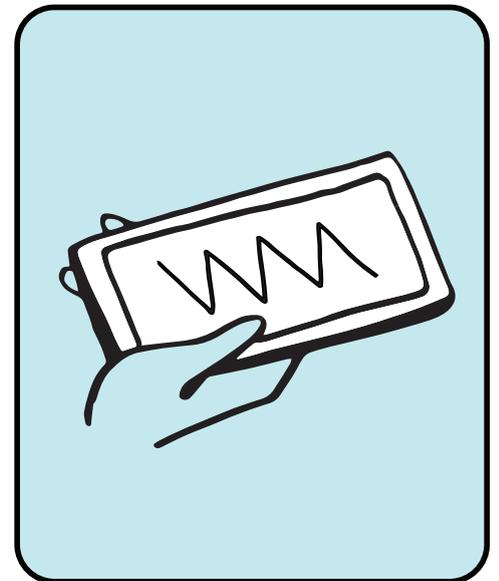
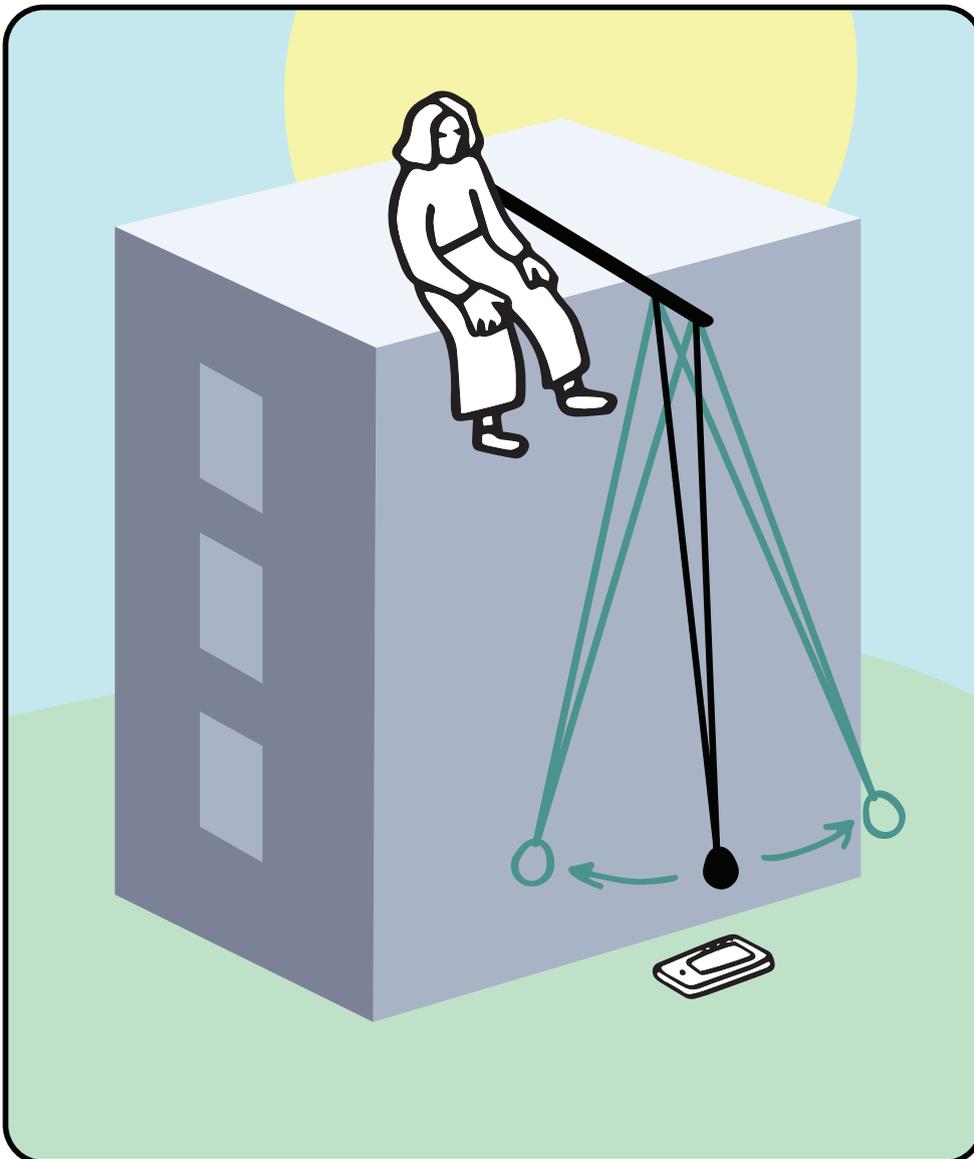


1 masse



Capteur :  
**capteur de proximité**

1 smartphone



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Positionnez le smartphone à la verticale, très proche du passage du pendule, pour qu'il détecte le passage avec le capteur de proximité.

T = période du pendule,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

Attention, le pendule ne doit pas tourner dans tous les sens, il doit seulement se balancer.



Précision : haute



Difficulté : moyenne

# N°17. Pendule géant par le son

## Formule

$$H = g \left( \frac{T}{2\pi} \right)^2$$

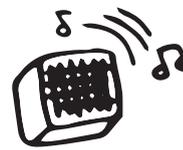
## Matériel



1 longue corde



1 masse

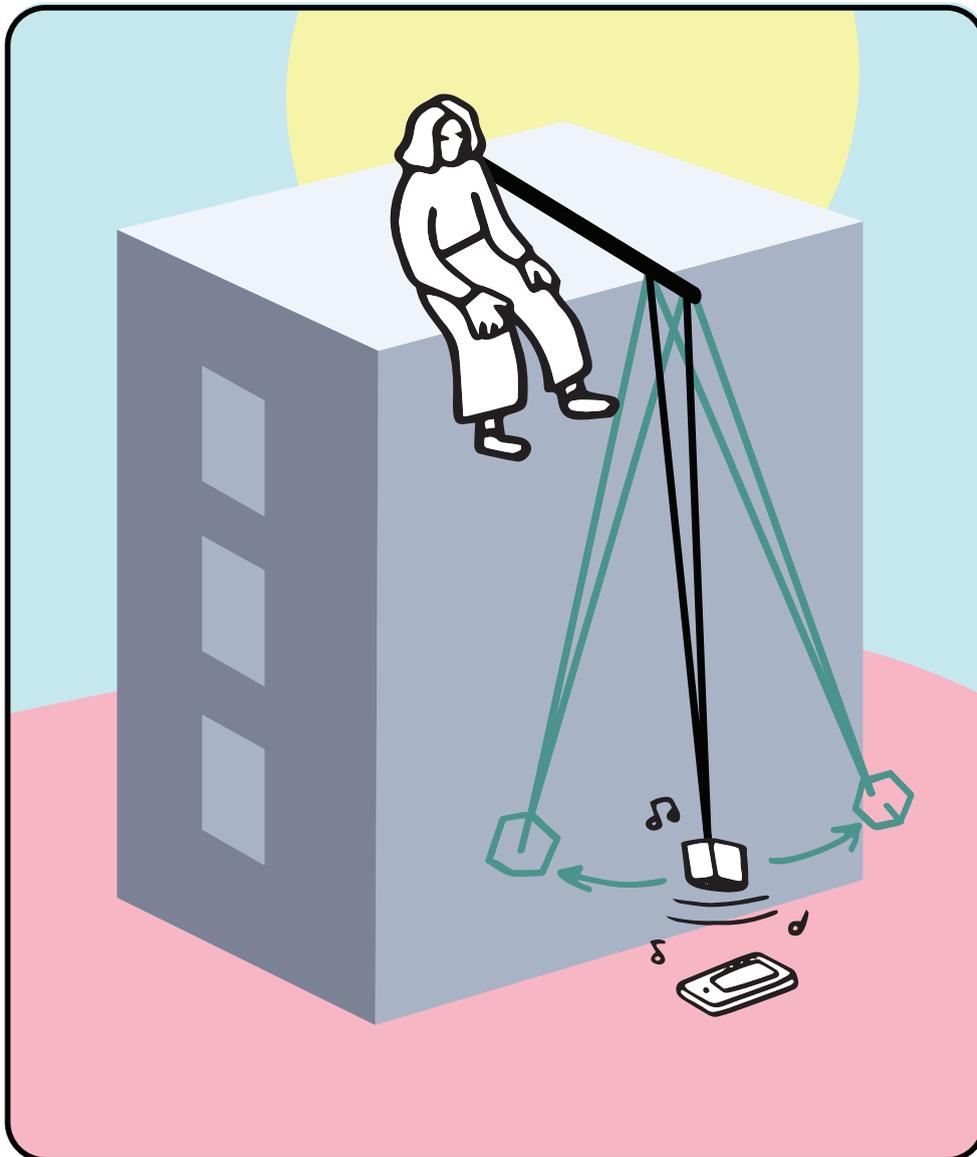


1 haut-parleur bluetooth

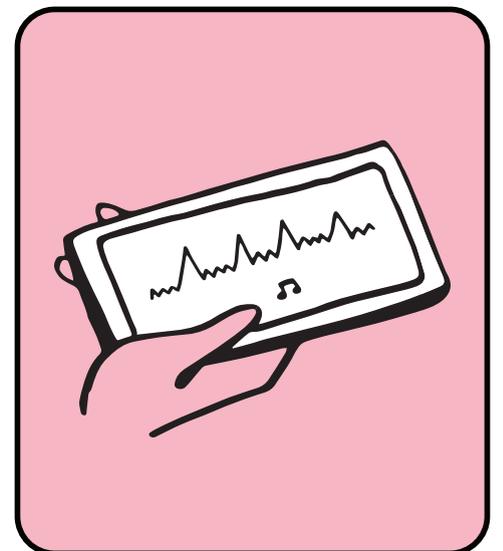


1 smartphone

Capteur :  
**micro**



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Fixez le haut-parleur au balancier, et envoyez un son constant. Positionnez le smartphone à la verticale, et utilisez la variation de l'amplitude du son enregistré pour déterminer la période.



T = période du pendule,  
g = 9.8 ms<sup>-2</sup>

Attention, le pendule ne doit pas tourner dans tous les sens, il doit seulement se balancer.



Précision : basse



Difficulté : moyenne

# N°18. Pendule géant de torsion

## Formule

$$H \propto T^2$$

## Matériel

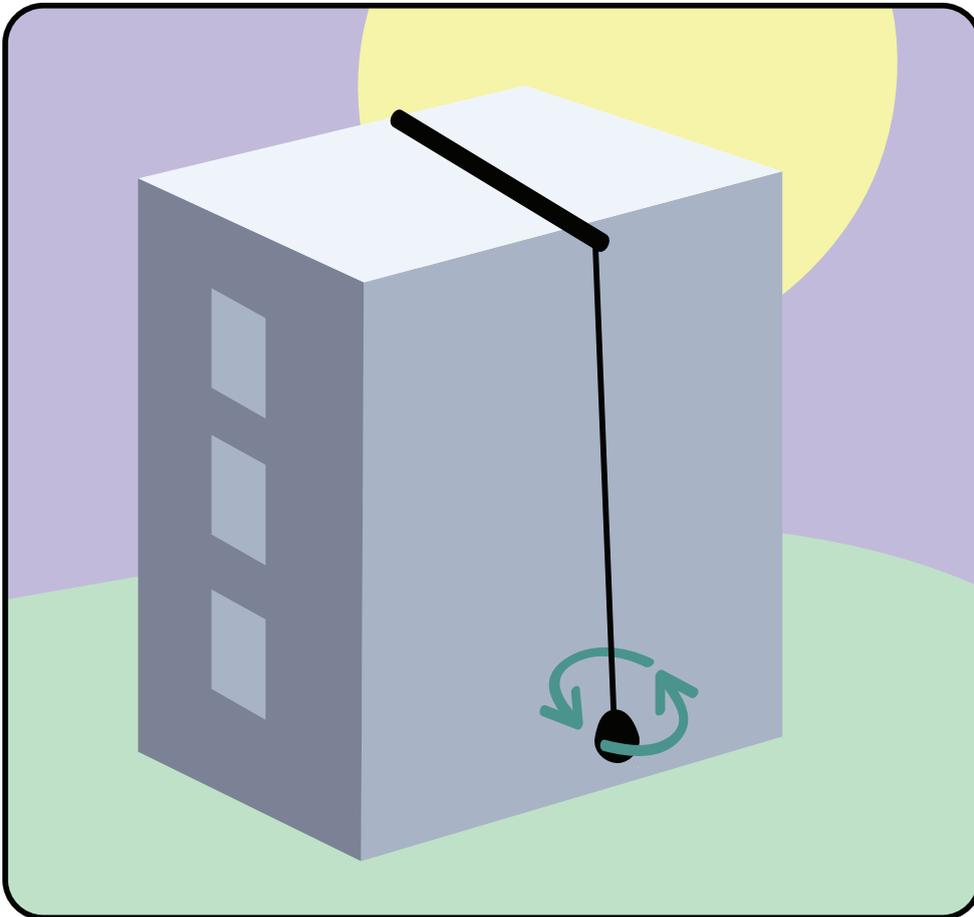


1 longue corde



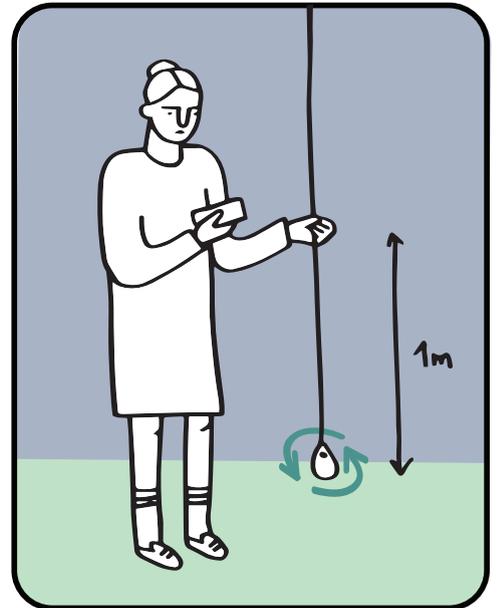
1 smartphone

Capteurs :  
chronomètre, caméra,  
accéléromètre, gyroscope,  
magnétomètre, capteur de  
lumière, capteur de  
proximité, micro



Fabriquez un pendule géant de torsion de la taille du bâtiment. Mesurez la période en utilisant une des méthodes du pendule géant. Calibrez la constante de torsion en mesurant la période pour une longueur de corde de 1 m.

T = période du pendule





Précision : basse



Difficulté : haute

# N°19. Accélération centripète

## Formule

$$H = \frac{a_c}{\dot{\theta}^2}$$

## Matériel



1 longue  
corde

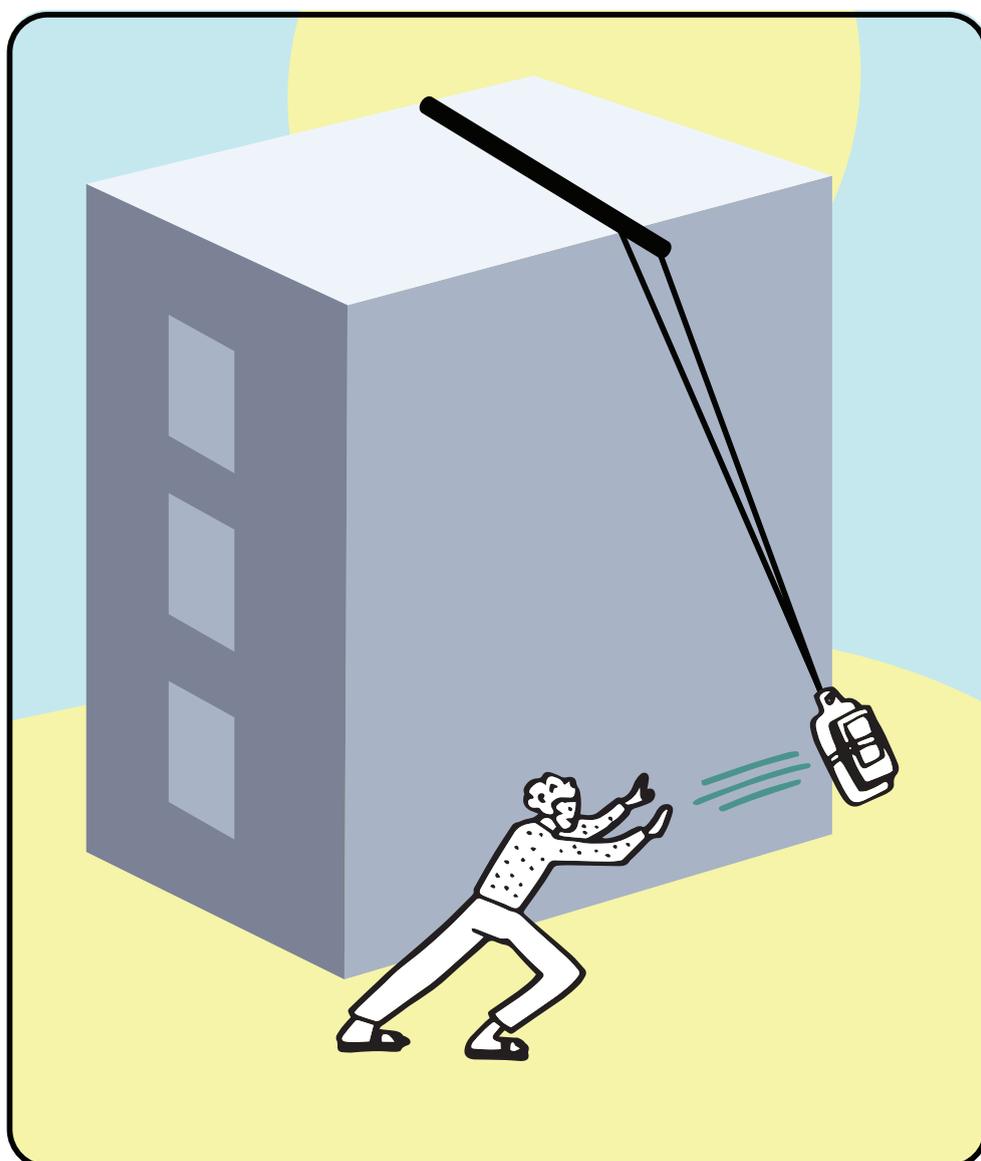


1 masse



1 smartphone

Capteurs :  
**accéléromètre  
et gyroscope**



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Fixez le smartphone au balancier, et utilisez l'accéléromètre pour déterminer l'accélération centripète et le gyroscope pour déterminer la vitesse angulaire.

$a_c$  = accélération centripète,  
 $\dot{\theta}$  = vitesse angulaire

*Plus le bâtiment sera haut, plus petites seront les accélérations, et plus difficile sera la mesure. Lancez le pendule le plus fort possible raisonnablement.*



Précision : basse



Difficulté : maximale

# N°20. Vitesse angulaire

## Formule

$$H = \frac{v}{\dot{\theta}}$$

## Matériel



1 longue corde



1 masse

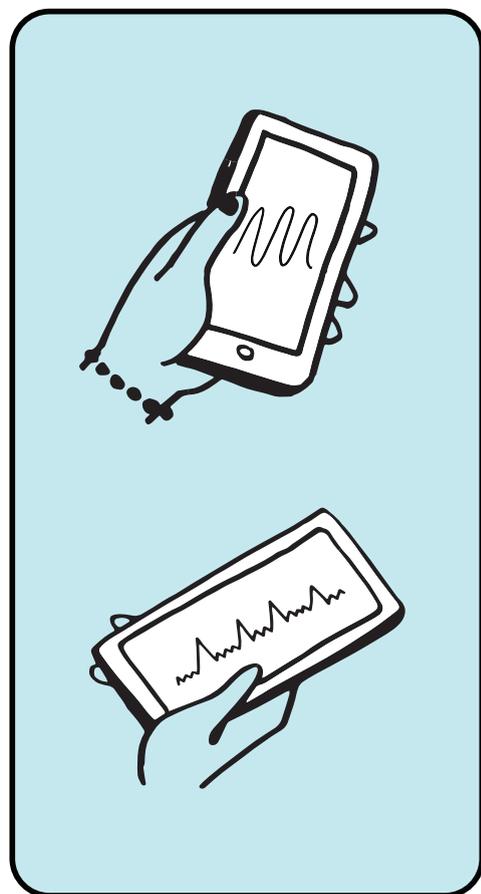
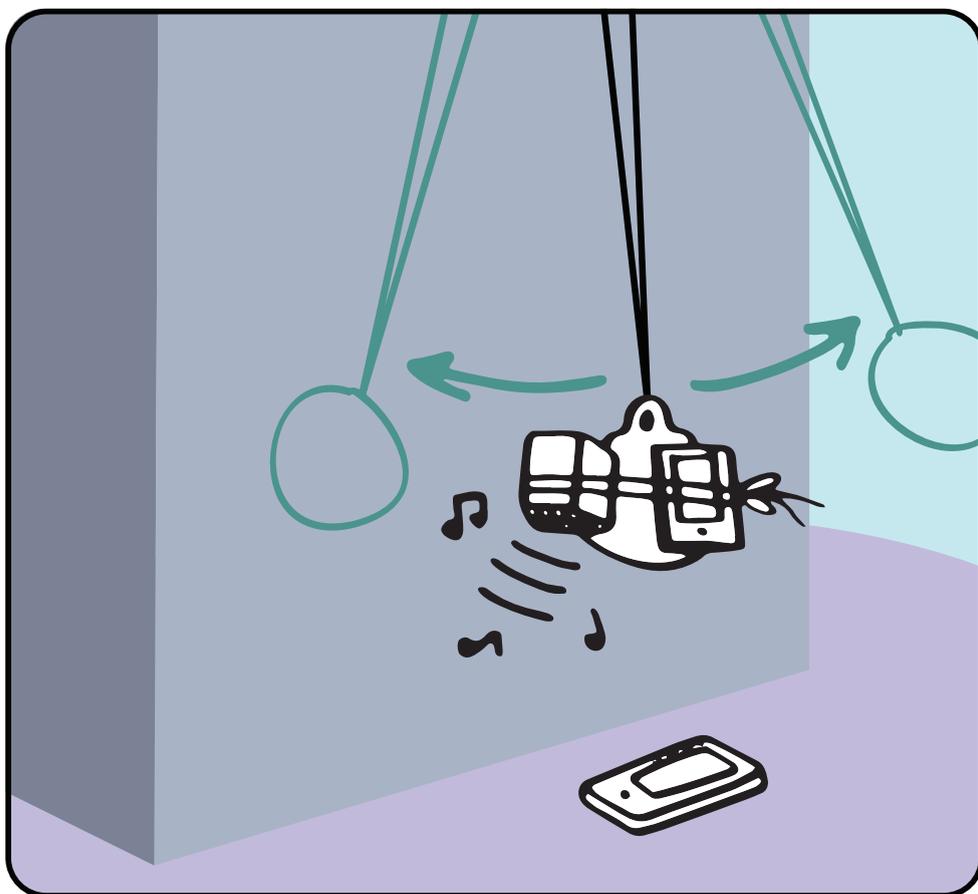


1 haut-parleur bluetooth



Capteur :  
micro et  
gyroscope

2 smartphones



Fabriquez un pendule géant de la taille du bâtiment. Fixez le smartphone au balancier, et utilisez le gyroscope pour déterminer la vitesse angulaire. Fixez le haut-parleur au balancier, et envoyez une note unique. Positionnez le second smartphone à la verticale, et utilisez le son enregistré pour déterminer la vitesse du pendule par effet Doppler.

$v$  = vitesse,  $\dot{\theta}$  = vitesse angulaire



Précision : haute



Difficulté : minimale

# N°21. Thales sur les ombres

## Formule

$$H = h \frac{l_2}{l_1}$$

## Matériel

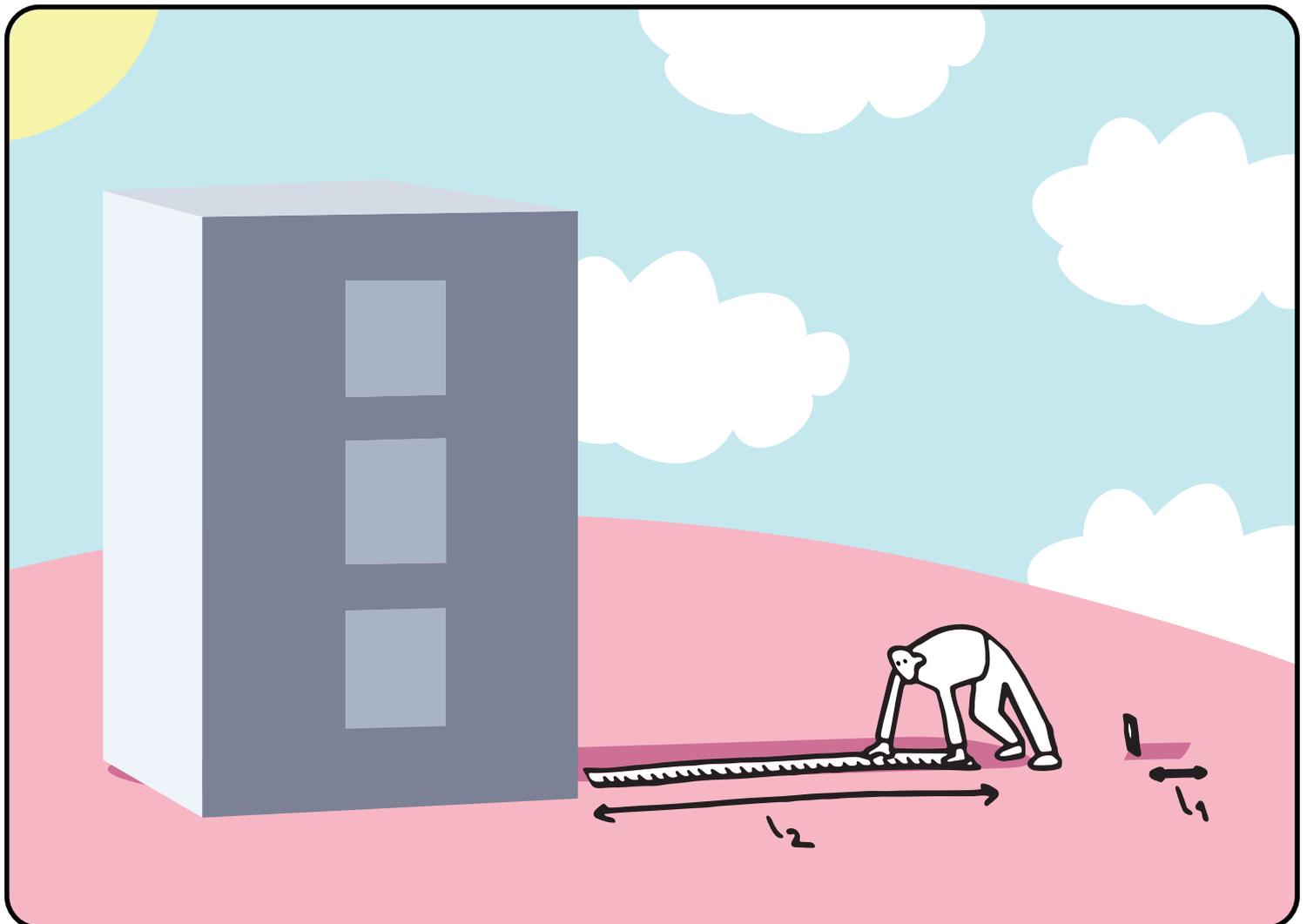


1 mètre mesureur



1 smartphone

Mesurez l'ombre d'un smartphone et l'ombre du bâtiment. Utilisez Thales pour déterminer la hauteur du bâtiment à partir de la hauteur du smartphone



$h$  = hauteur du smartphone,  $l_2$  = ombre du bâtiment,  $l_1$  = ombre du smartphone



Précision : maximale



Difficulté : minimale

# N°22. Ombre et position du Soleil

## Formule

$$H = l \tan(\alpha)$$

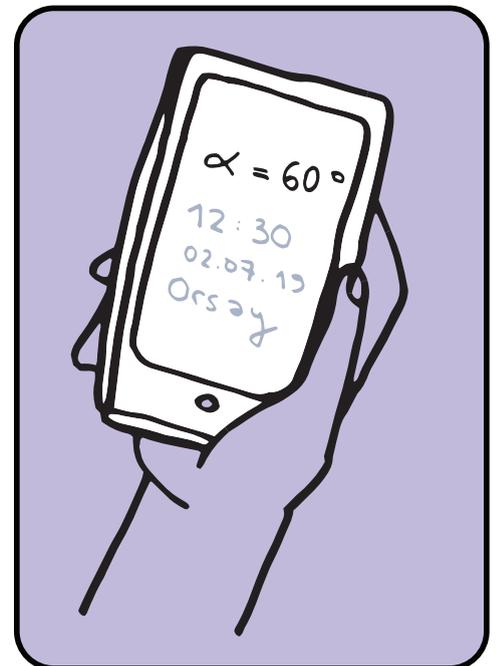
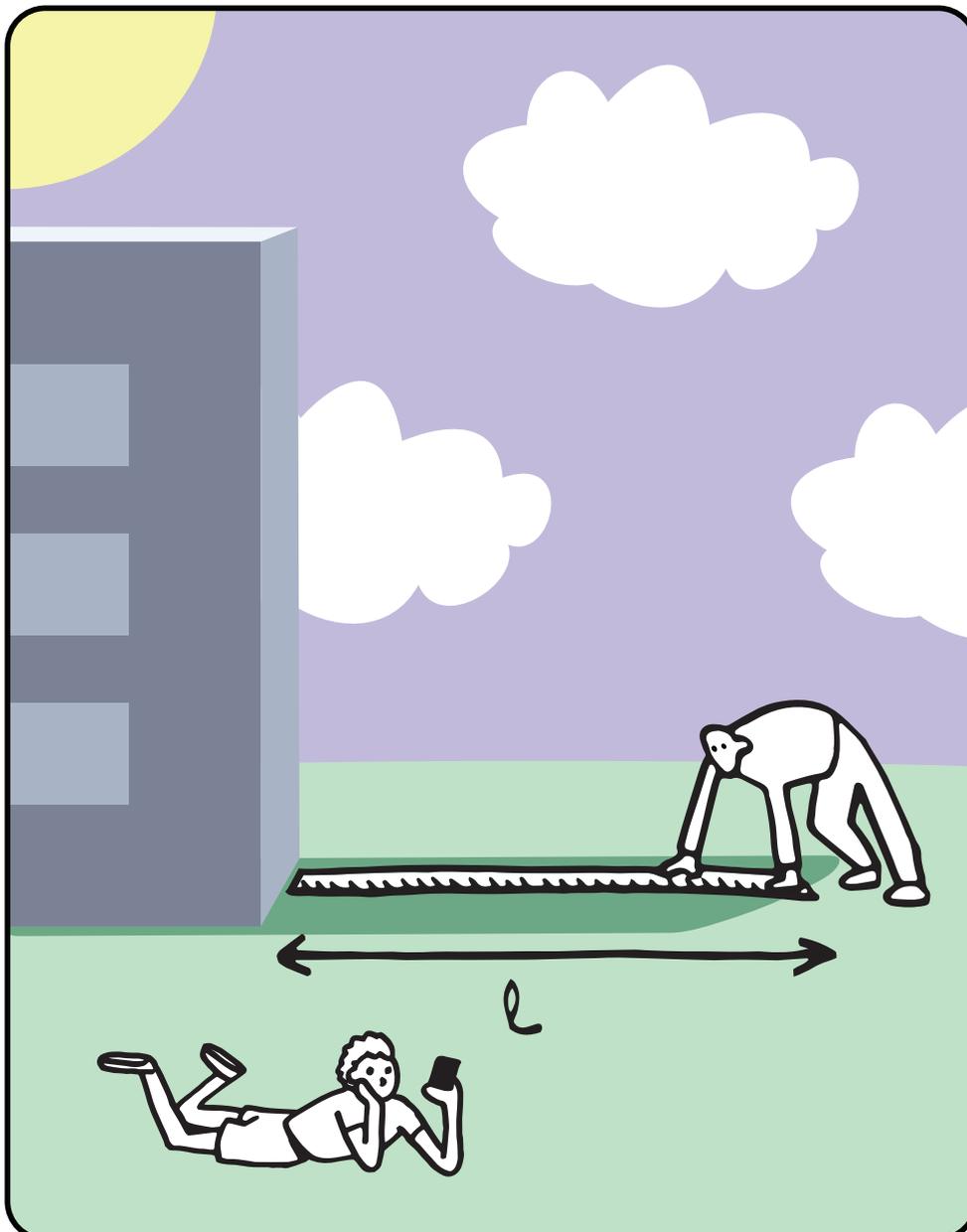


1 mètre mesureur



Capteur : **GPS**

1 smartphone



Mesurez l'ombre du bâtiment. Mesurez votre latitude, longitude, et heure de la mesure à l'aide de votre smartphone. Trouvez sur internet l'élévation du soleil à ce moment là et à cet endroit là.

$l$  = ombre du bâtiment,  
 $\alpha$  = élévation du soleil



Précision : haute



Difficulté : moyenne

# N°23. Ombre à l'équinoxe

## Formule

$$H = l \tan(\alpha)$$

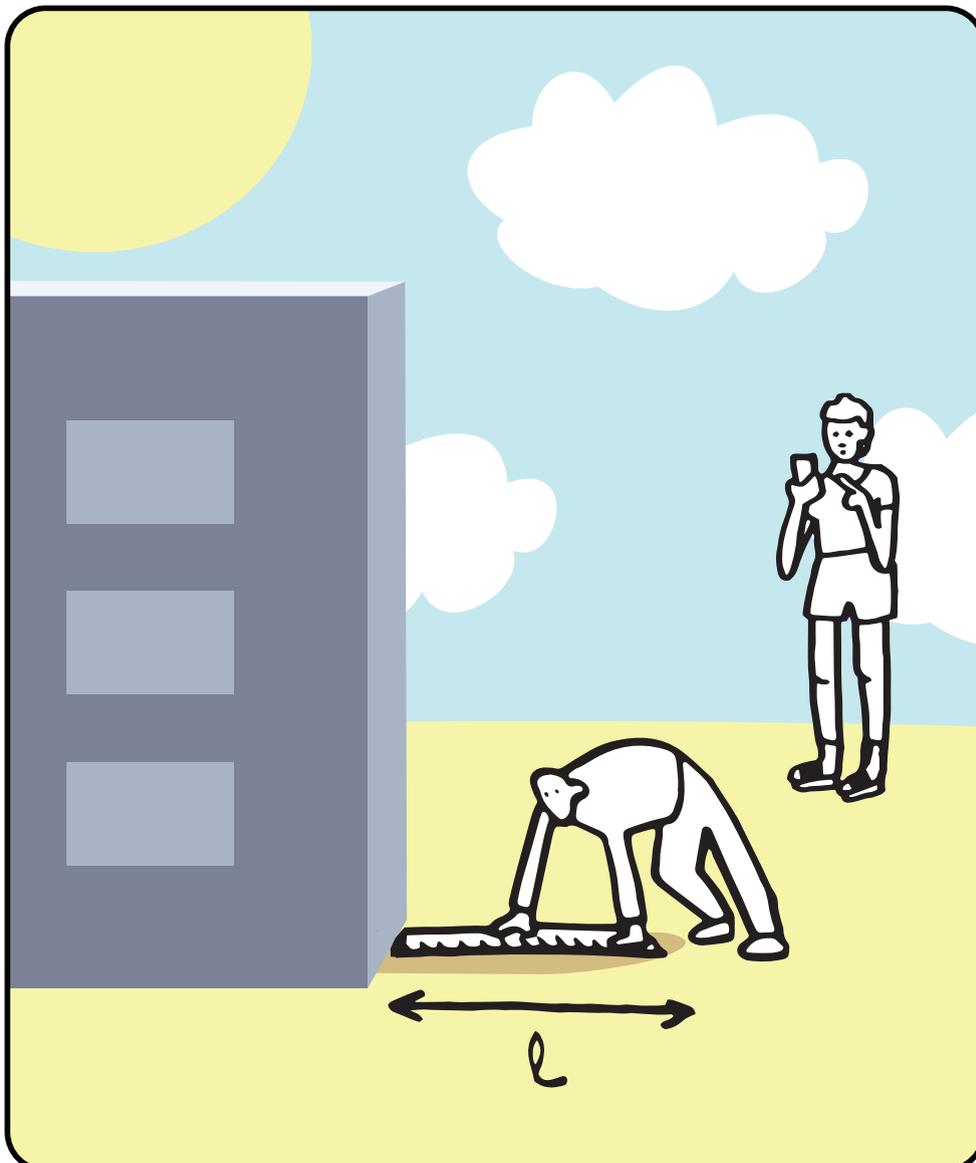


1 mètre mesureur

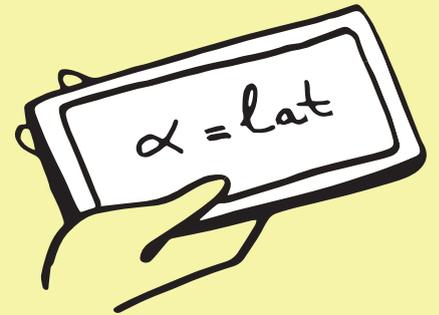


Capteurs :  
**GPS, camera**

1 smartphone



**21** MARS  
(OU SEPTEMBRE)



Faites un timelaps de l'ombre du bâtiment pour déterminer la position de l'ombre la plus courte, à midi. Mesurez la longueur de cette ombre, ainsi que la latitude. À l'équinoxe, l'élévation du soleil correspond à  $90^\circ - \text{latitude}$ .

$l$  = ombre du bâtiment,  
 $\alpha$  = élévation du soleil

Aux solstices, cette méthode peut fonctionner en additionnant ou soustrayant la latitude des tropiques.



Précision : maximale



Difficulté : basse

# N°24.

# Trigonométrie

## version 1

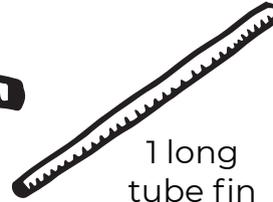
### Formule

$$H = h + l \tan \alpha$$

### Matériel



1 mètre  
mesureur



1 long  
tube fin

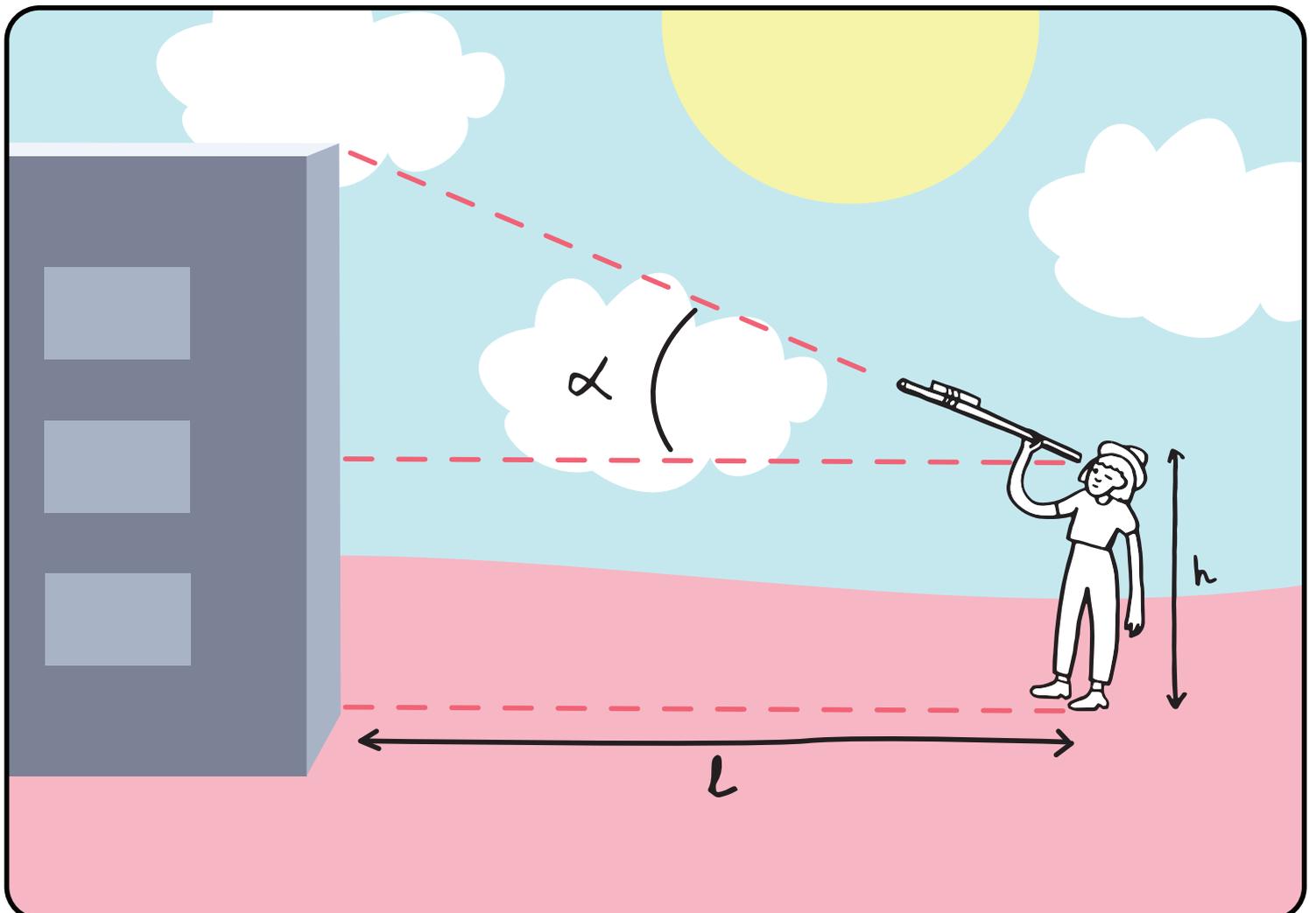


1 smartphone

Capteur :  
**accéléromètre**

Fixez le smartphone sur le tube, et mettez vous à une distance connue du bâtiment. Avec l'accéléromètre, mesurez l'inclinaison par rapport à l'horizontale quand vous visez le haut du bâtiment.

$h$  = hauteur de l'oeil de la personne,  $l$  = distance au bâtiment,  $\alpha$  = angle du haut du bâtiment





Précision : basse



Difficulté : basse

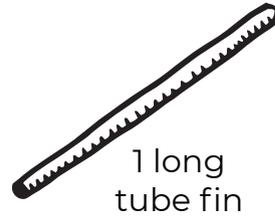
# N°25.

# Trigonométrie

## version 2

### Formule

$$H = h + \frac{h}{\tan \alpha_2} \tan \alpha_1$$

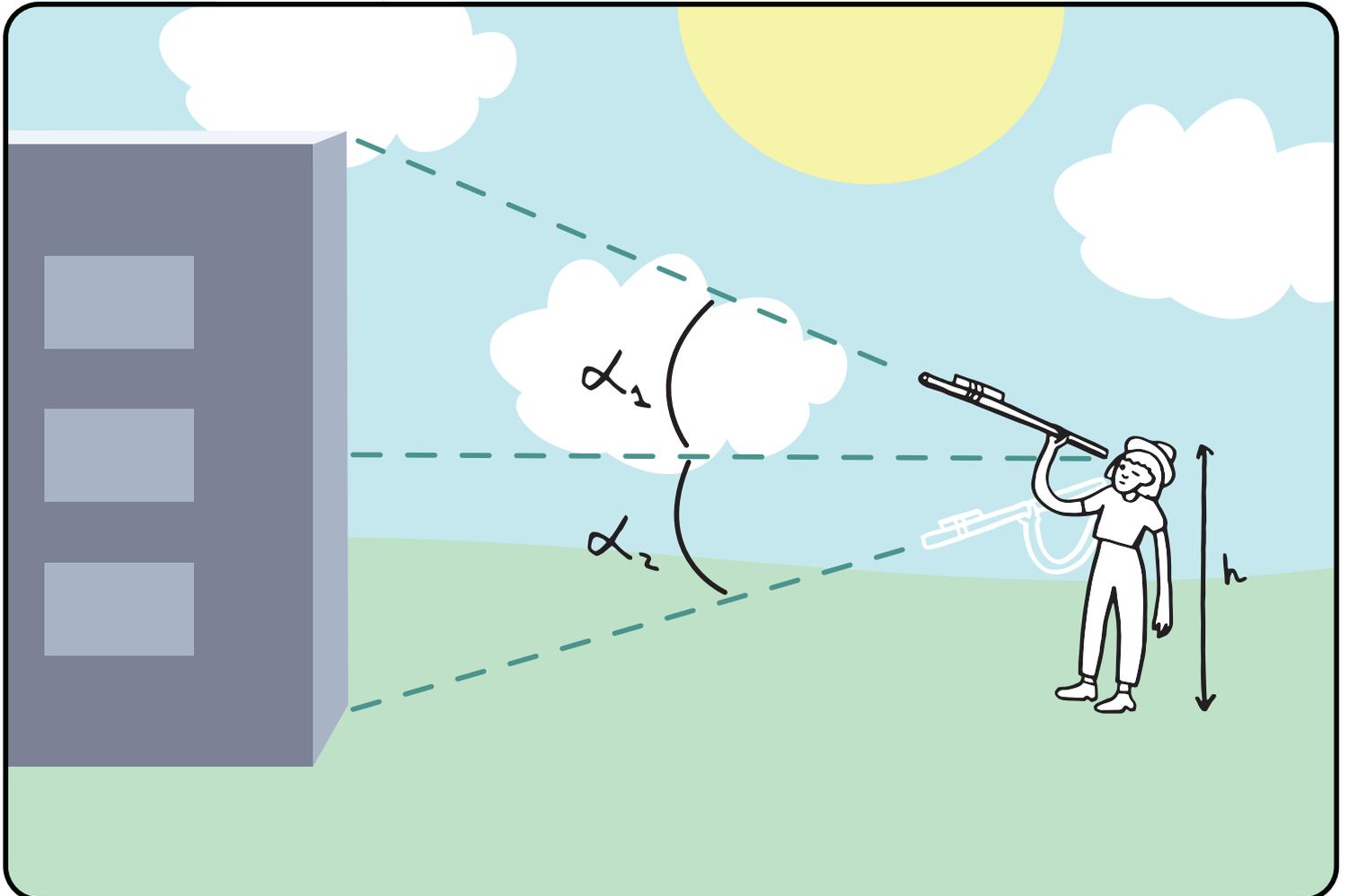


Capteur :  
**accéléromètre**

1 smartphone

Fixez le smartphone sur le tube, et mettez vous à une distance quelconque du bâtiment. Avec l'accéléromètre, mesurez l'inclinaison par rapport à l'horizontale quand vous visez le haut du bâtiment, puis quand vous visez le bas.

$h$  = taille de la personne qui fait la mesure,  $\alpha_1$  = angle du haut du bâtiment,  $\alpha_2$  = angle du bas du bâtiment





Précision : moyenne



Difficulté : basse

# N°26.

# Trigonométrie version 3

## Formule

$$H = \frac{l}{2 \tan(\alpha/2)}$$

## Matériel

1 long  
tube fin

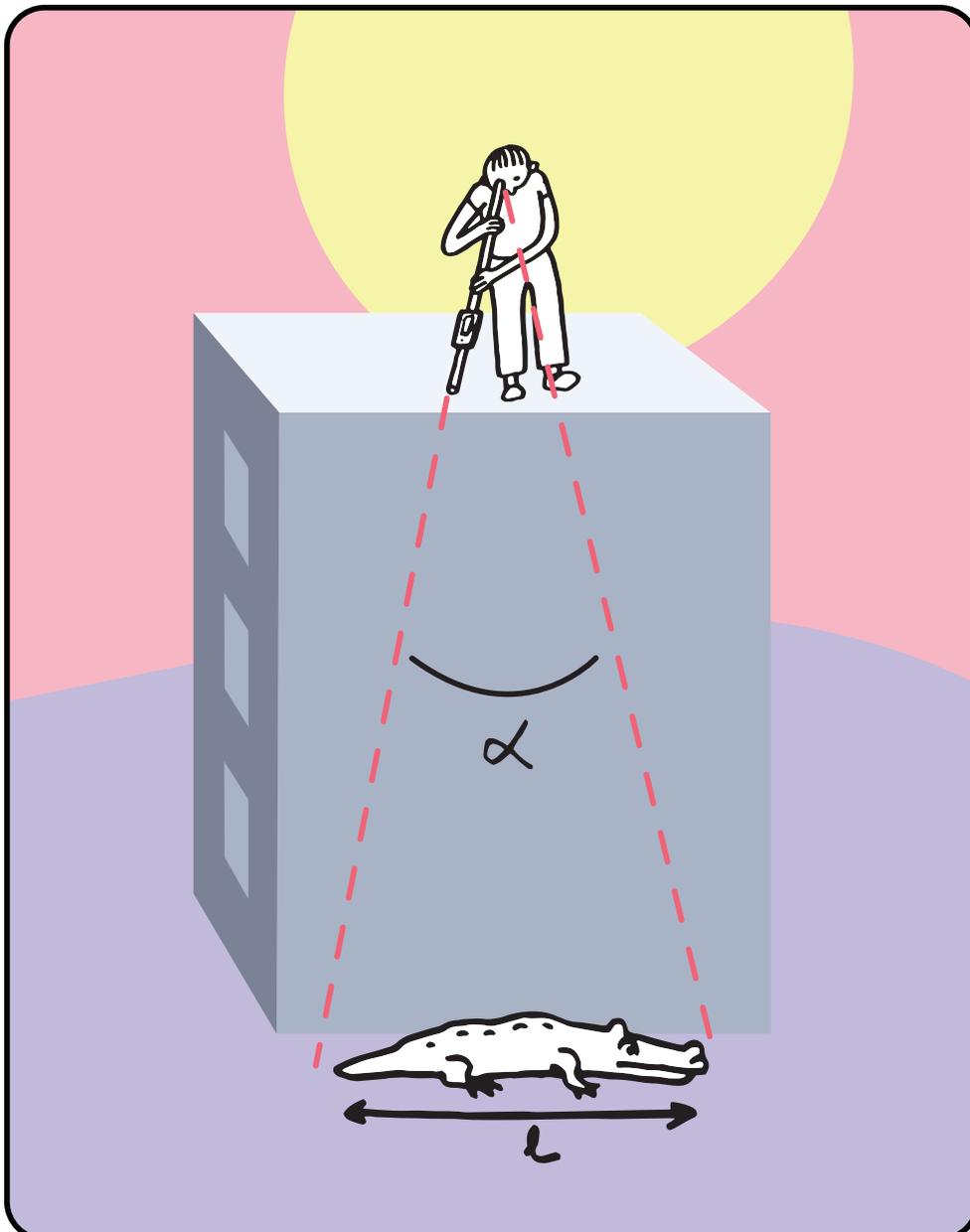


1 objet de  
taille connue



Capteur :  
**accéléromètre**

1 smartphone



Fixez le smartphone sur le tube, posez l'objet de taille connue au pied du bâtiment, et montez en haut, à la verticale de l'objet. Utilisez l'accéléromètre pour déterminer la taille angulaire de l'objet.

$l$  = taille de l'objet,  $\alpha$  = taille angulaire de l'objet



Précision : haute



Difficulté : minimale

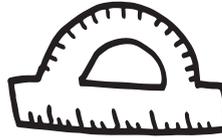
# N°27. Angle de champ d'une photo

## Formule

$$H = \frac{l}{2 \tan(\alpha/2)}$$



1 barre de taille connue

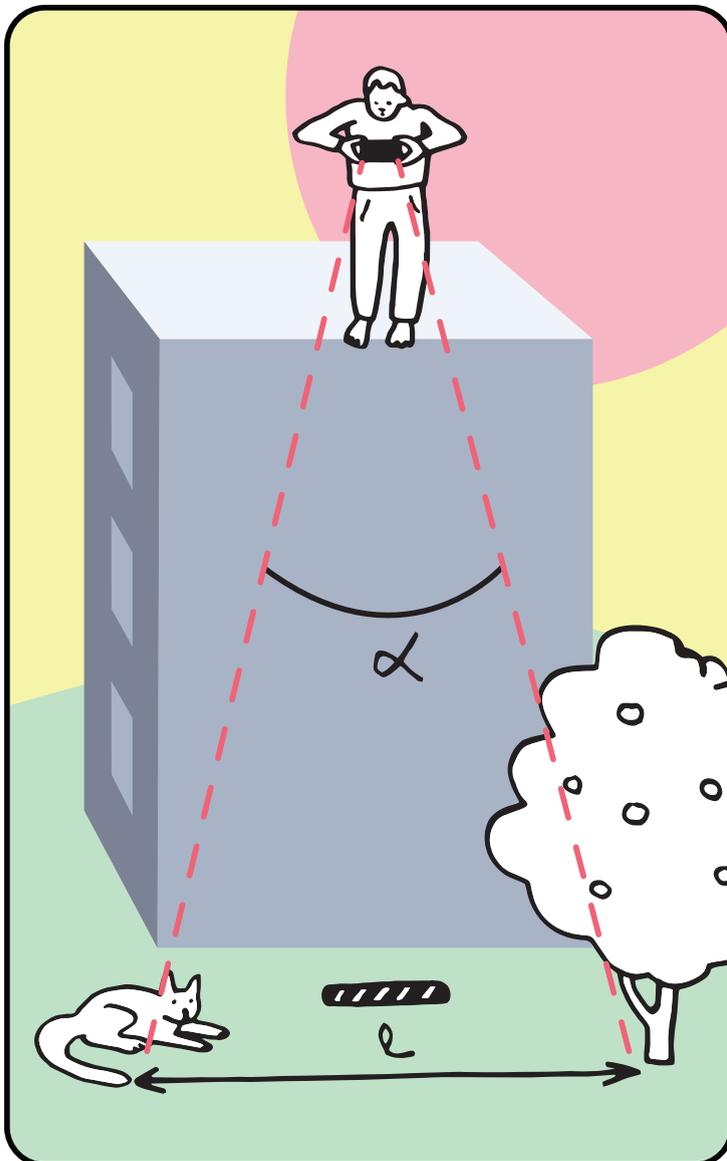


1 rapporteur



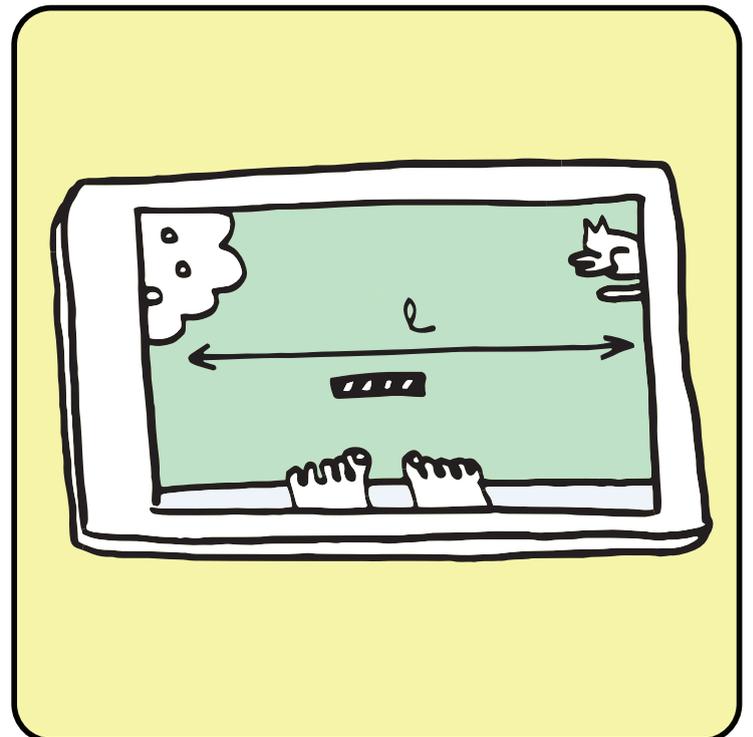
1 smartphone

Capteur :  
**caméra**



Du haut du bâtiment, prenez une photo du sol, et déterminez la longueur de sol photographiée, la barre servant d'échelle. À l'aide du rapporteur, déterminez l'angle de champ de votre smartphone.

$l$  = longueur de sol visible sur la photo,  $\alpha$  = angle de champ du smartphone



L'angle de champ peut également être déterminé en prenant une photo de la barre à une distance connue.



Précision : maximale



Difficulté : minimale

# N°28.

# Photographie avec échelle

## Formule

$$H = \frac{d_2}{d_1} l$$

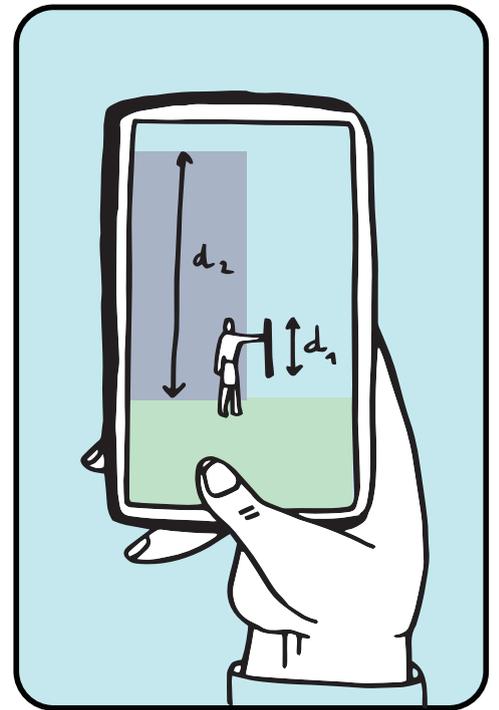
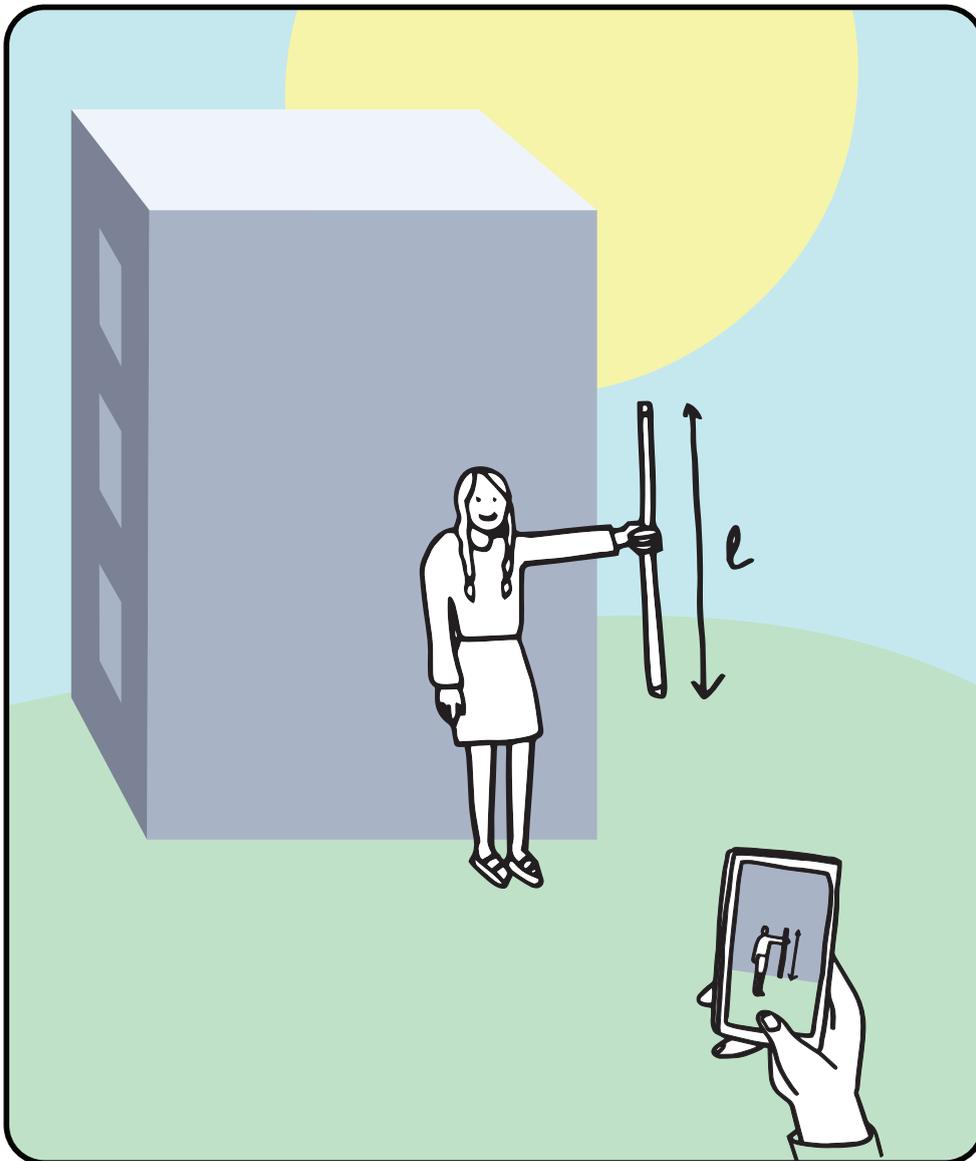


1 barre de taille connue



Capteur :  
**camera**

1 smartphone



Prenez une photo du bâtiment, avec la barre servant d'échelle. Mesurez la taille du bâtiment et de la barre sur la photo.

$d_2$  = taille du bâtiment sur la photo,  
 $d_1$  = taille de la barre sur la photo,  
 $l$  = taille réelle de la barre

*Minimisez les déformations de perspectives pendant la prise de vue !*



Précision : haute



Difficulté : minimale

# N°29.

# Photographie de face

## Formule

$$H = l \frac{d}{f}$$

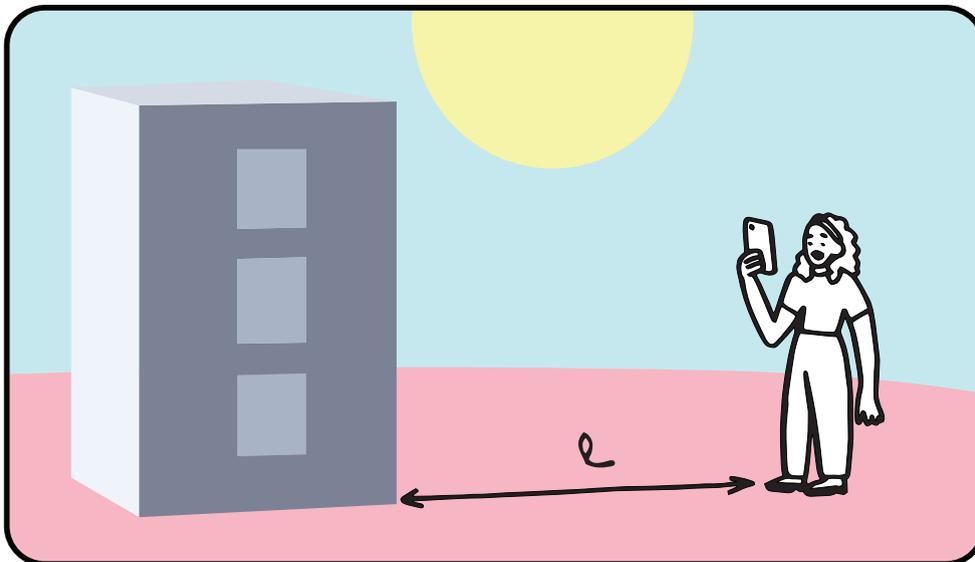


1 mètre mesureur

1 smartphone avec taille capteur CCD et focale connues

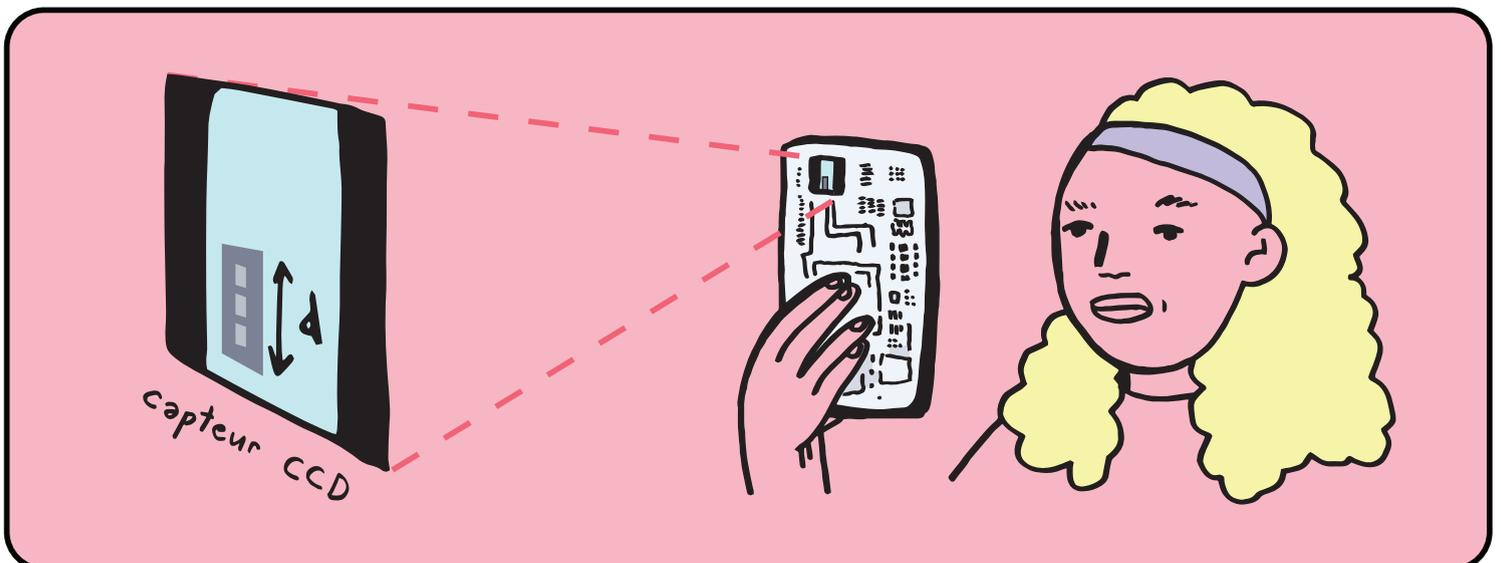


Capteur : **caméra**



Prenez une photo du bâtiment, à une distance connue. Déterminez la taille réelle de l'image du bâtiment sur le capteur CCD en regardant la fraction de la hauteur de l'image occupée par le bâtiment.

$l$  = distance au bâtiment,  $d$  = taille de l'image du bâtiment sur le capteur CCD,  $f$  = focale de l'appareil photo



Minimisez les déformations de perspectives pendant la prise de vue !



Précision : haute



Difficulté : minimale

# N°30.

# Photographie de haut

## Formule

$$H = l \frac{f}{d}$$

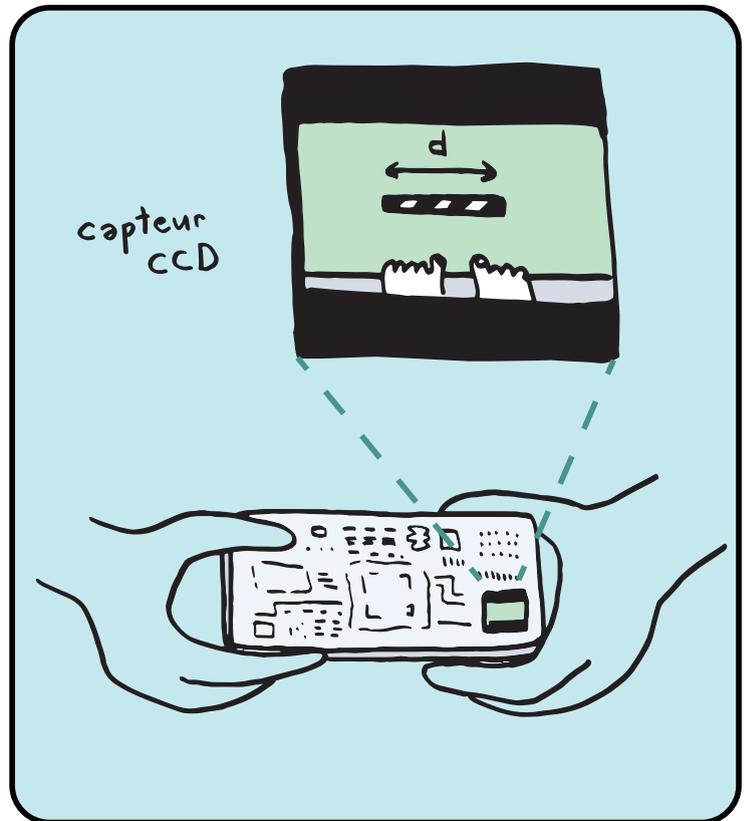
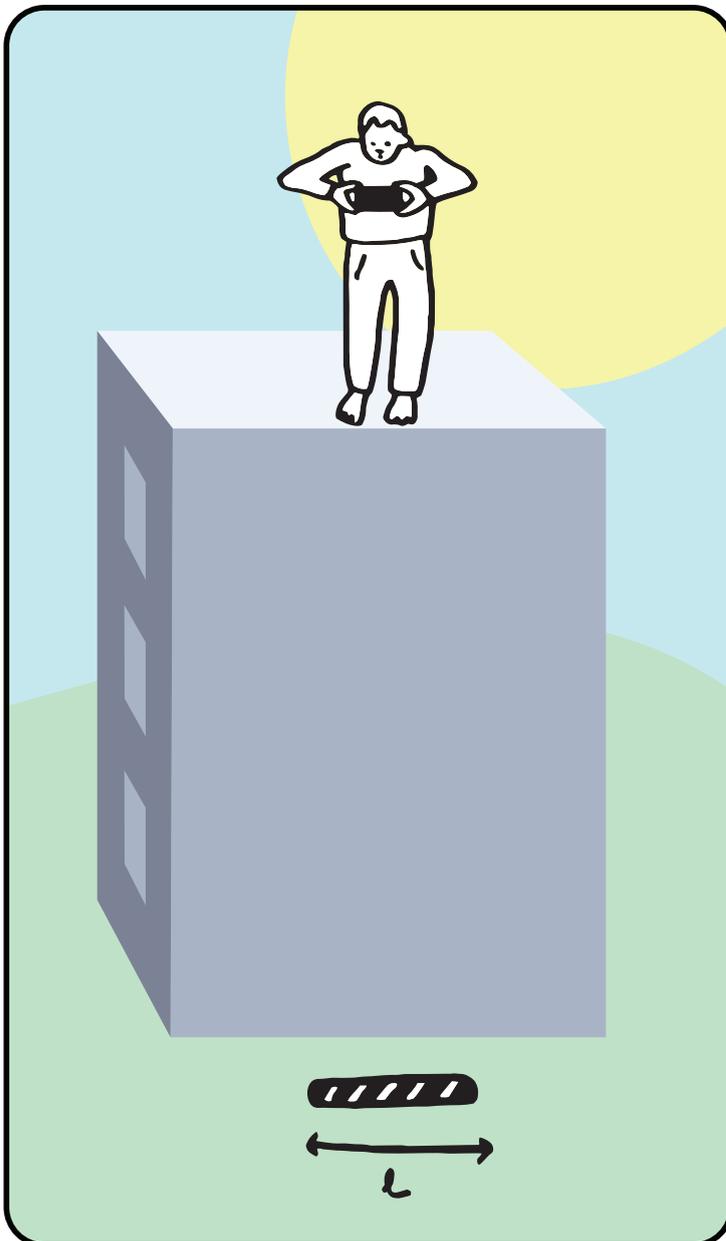


1 barre de taille connue

1 smartphone avec taille capteur CCD et focale connues



Capteur : caméra



Du haut du bâtiment, prenez une photo de la barre posée au sol. Déterminez la taille réelle de l'image de la barre sur le capteur CCD en regardant la fraction de la largeur de l'image occupée par la barre.

$l$  = taille de la barre,  $f$  = focale de l'appareil photo,  $d$  = taille de l'image de la barre sur le capteur CCD



Précision : maximale



Difficulté : minimale

# N°31. Longueur de corde

## Formule

$$H = H$$

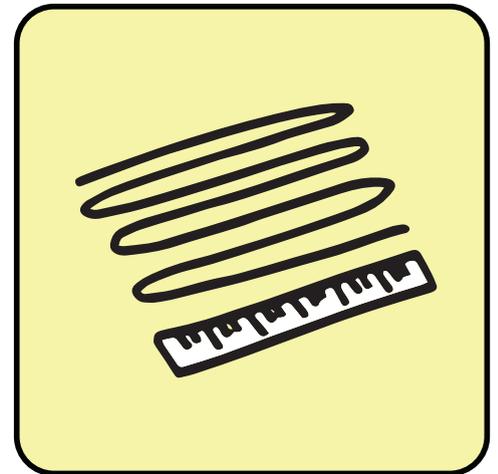
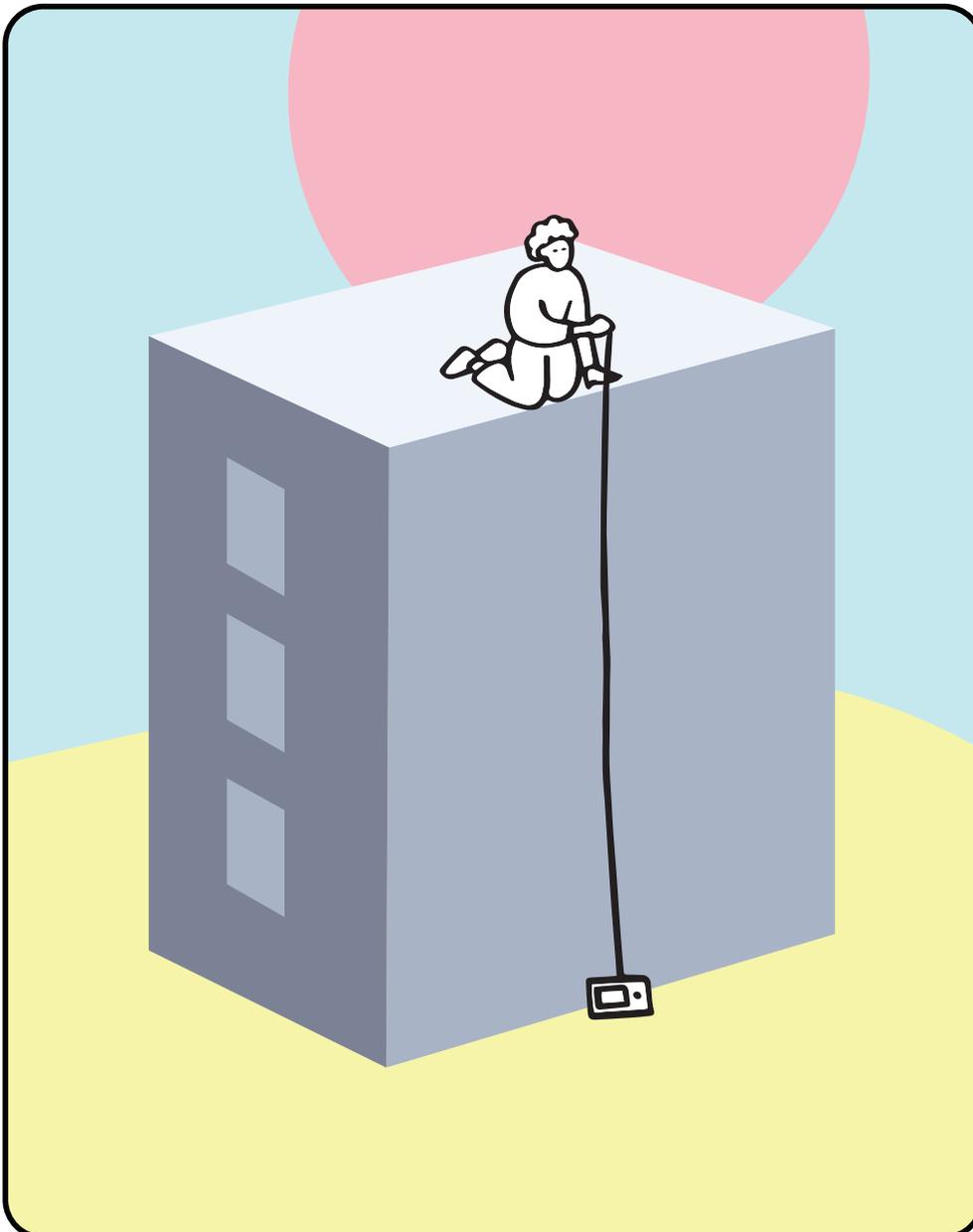
## Matériel



1 longue corde



1 smartphone



Lestez la corde avec votre smartphone pour en faire un fil à plomb. Suspendez la corde depuis le haut jusqu'à ce que le smartphone touche le sol. Mesurez ensuite la longueur de corde avec un mètre.

H = longueur de la corde



Précision : moyenne



Difficulté : moyenne

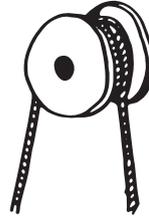
# N°32. Longueur de corde avec gyroscope

## Formule

$$H = 2\pi R \int \dot{\theta} dt$$



1 longue corde

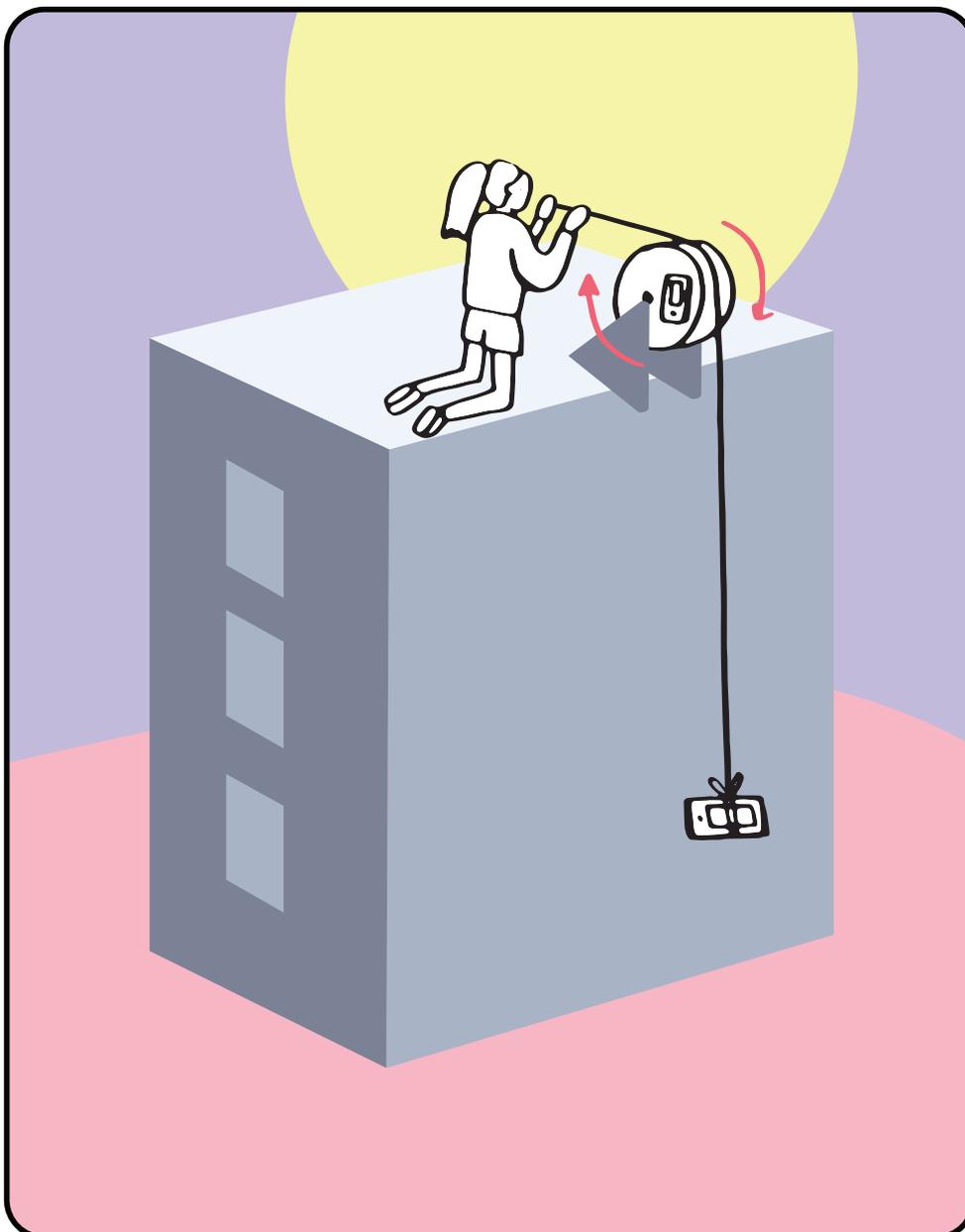


1 poulie

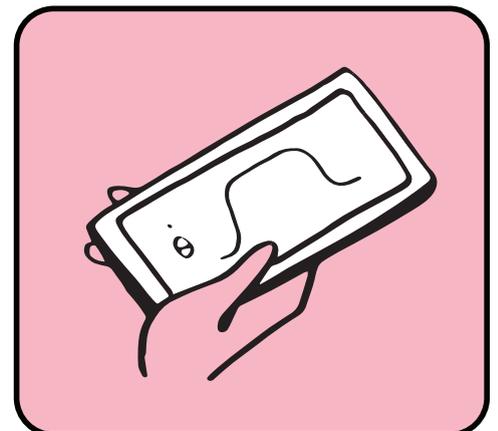


Capteur : gyroscope

2 smartphones



Lestez la corde avec votre smartphone pour en faire un fil à plomb. Installez la poulie en haut du bâtiment, et fixez un deuxième smartphone sur l'axe de la poulie. Faites passer la corde par la poulie et laissez la glisser jusqu'au sol. Intégrez le signal du gyroscope pour connaître le nombre de tour de poulie, et la longueur de la corde.



R = rayon de la poulie,  $\dot{\theta}$  = vitesse angulaire



Précision : moyenne



Difficulté : moyenne

# N°33. Longueur de corde avec accéléromètre

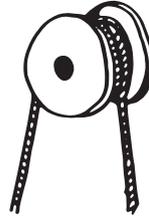
## Formule

$$H = \iint \ddot{z} dt$$

## Matériel



1 longue corde

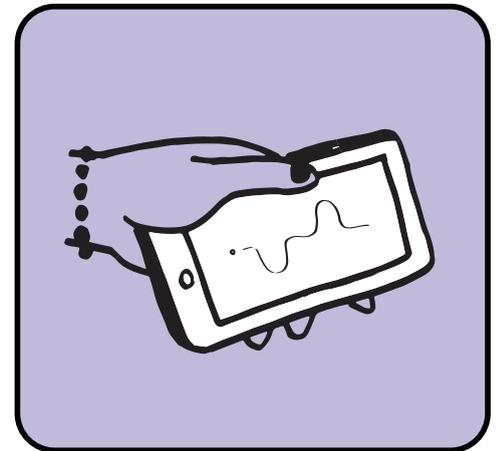
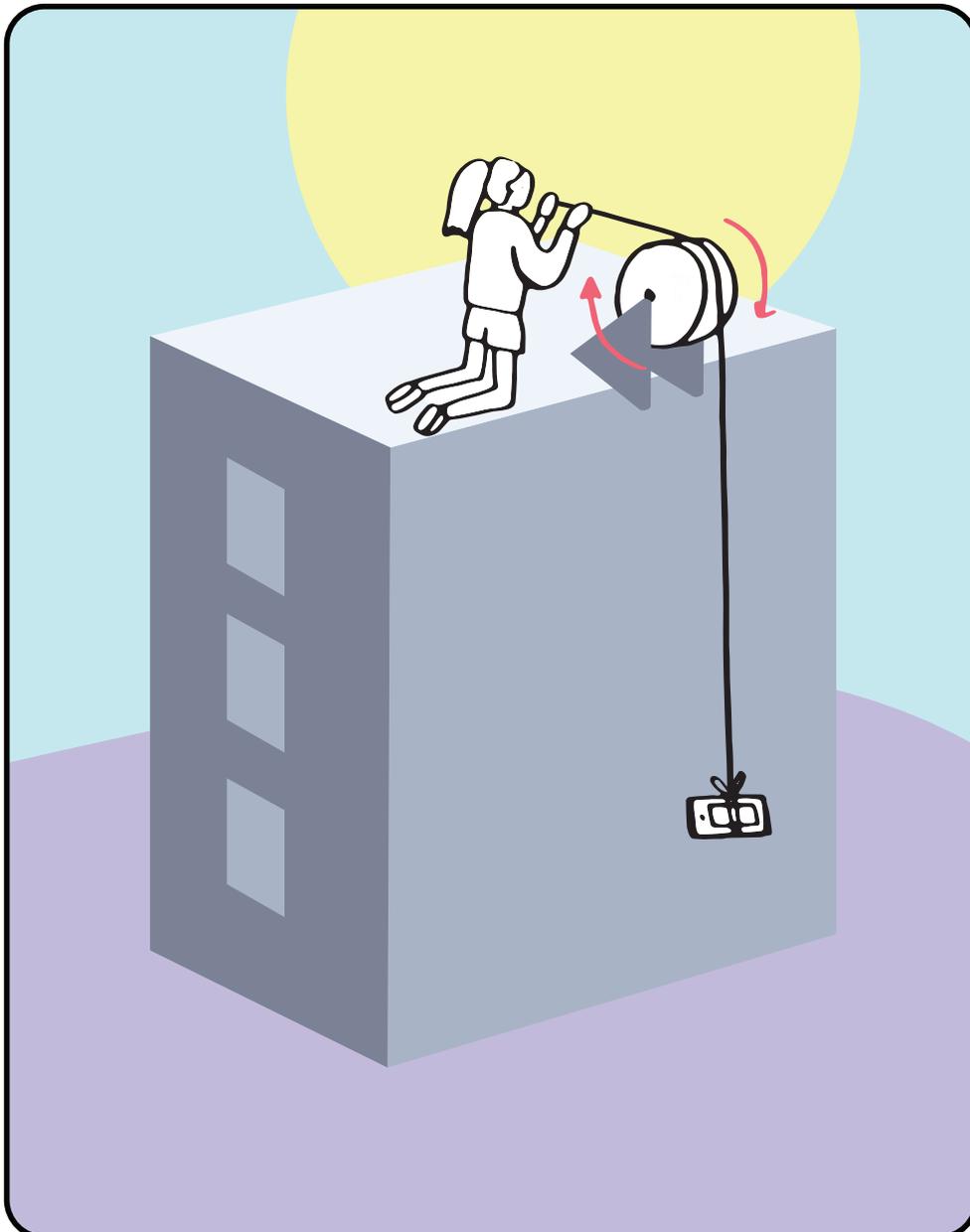


1 poulie



Capteur :  
**accéléromètre**

1 smartphone



Lestez la corde avec votre smartphone pour en faire un fil à plomb. Installez la poulie en haut du bâtiment. Faites passer la corde par la poulie et laissez-la glisser jusqu'au sol. Intégrez deux fois le signal de l'accéléromètre pour connaître la hauteur du bâtiment.

$\ddot{z}$  = accélération verticale



Précision : maximale



Difficulté : minimale

# N°34. Nombre de smartphones

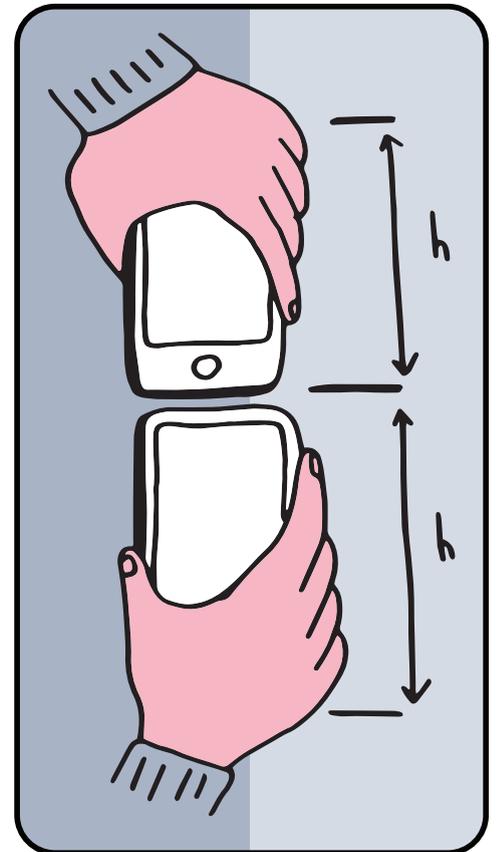
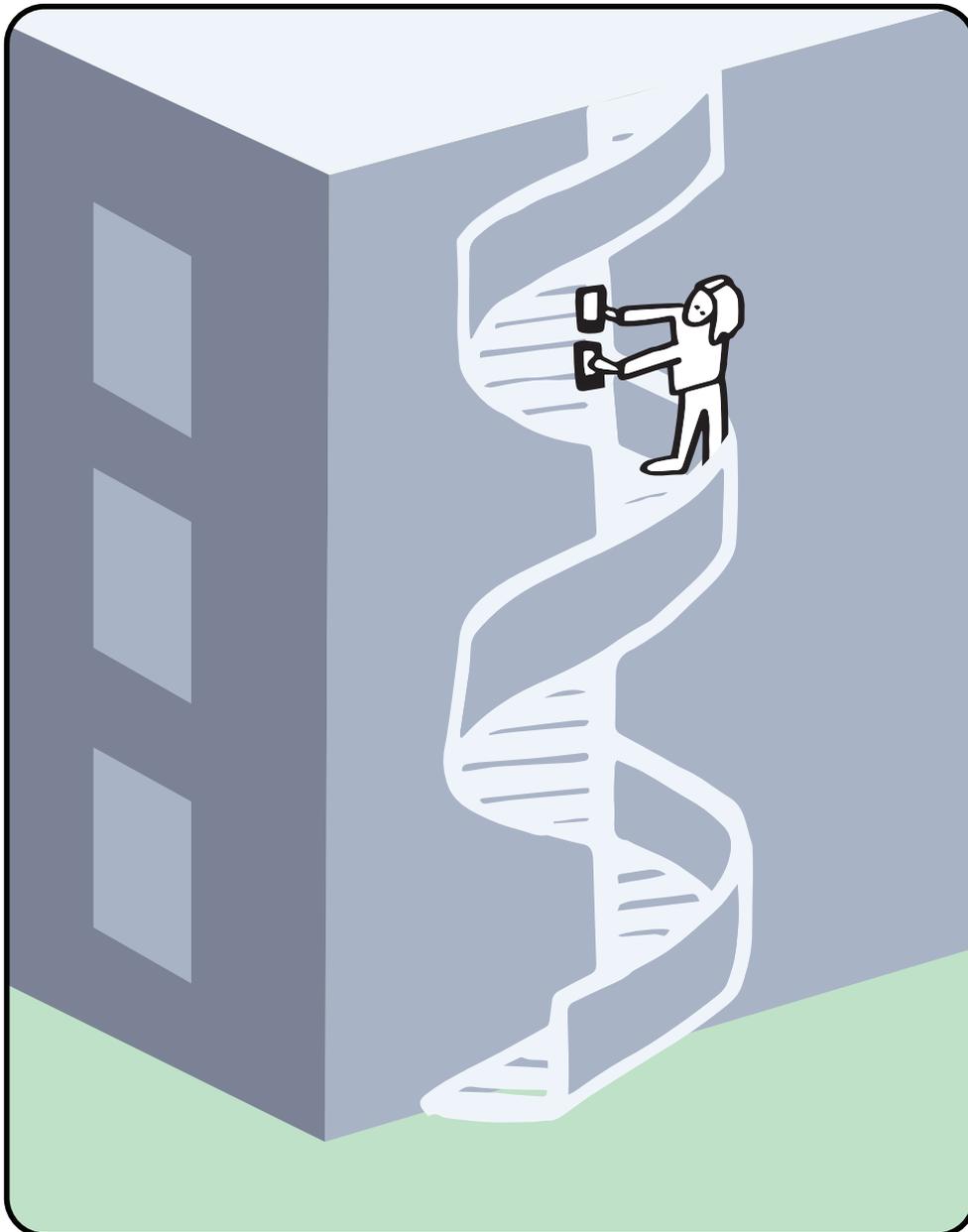
## Formule

$$H = Nh$$

## Matériel



2 smartphones identiques



En utilisant l'escalier de secours extérieur, comptez le nombre de smartphones qu'il faut superposer pour atteindre le haut du bâtiment.

$N$  = nombre de smartphones,  
 $h$  = hauteur d'un smartphone



Précision : maximale



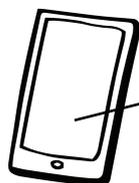
Difficulté : minimale

# N°35. Nombre de marches

## Formule

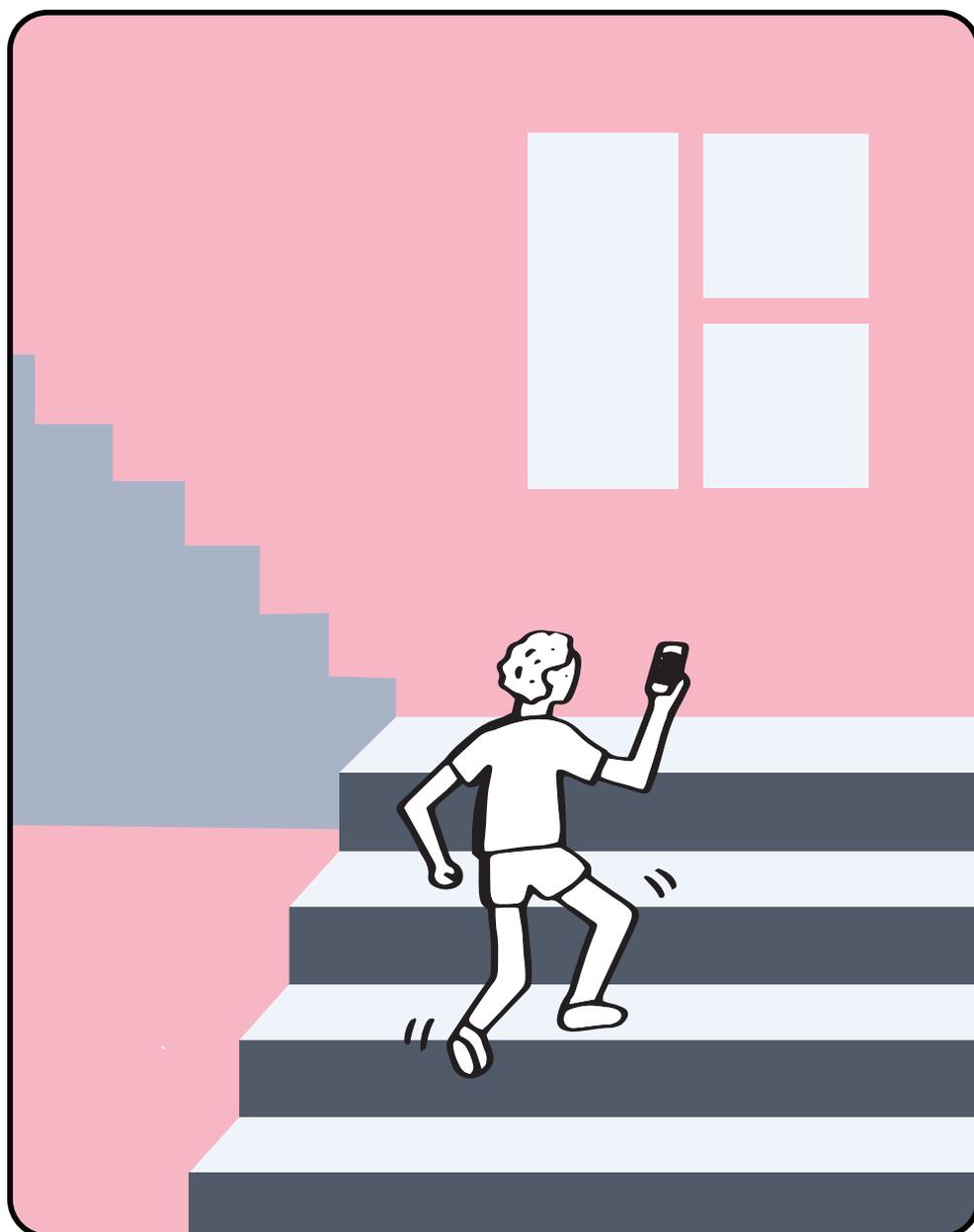
$$H = Nh$$

## Matériel



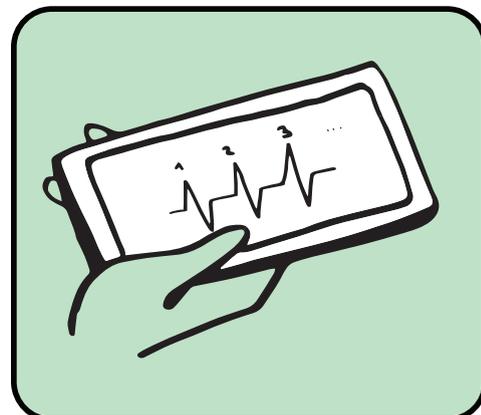
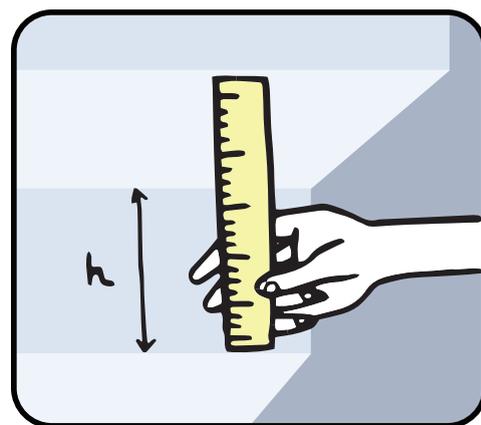
Capteur :  
**accéléromètre**

1 smartphone



En utilisant l'accéléromètre, comptez le nombre de marches pour atteindre le haut du bâtiment.

N = nombre de marches,  
h = hauteur d'une marche





Précision : haute



Difficulté : minimale

# N°36. Variation de la pression

## Formule

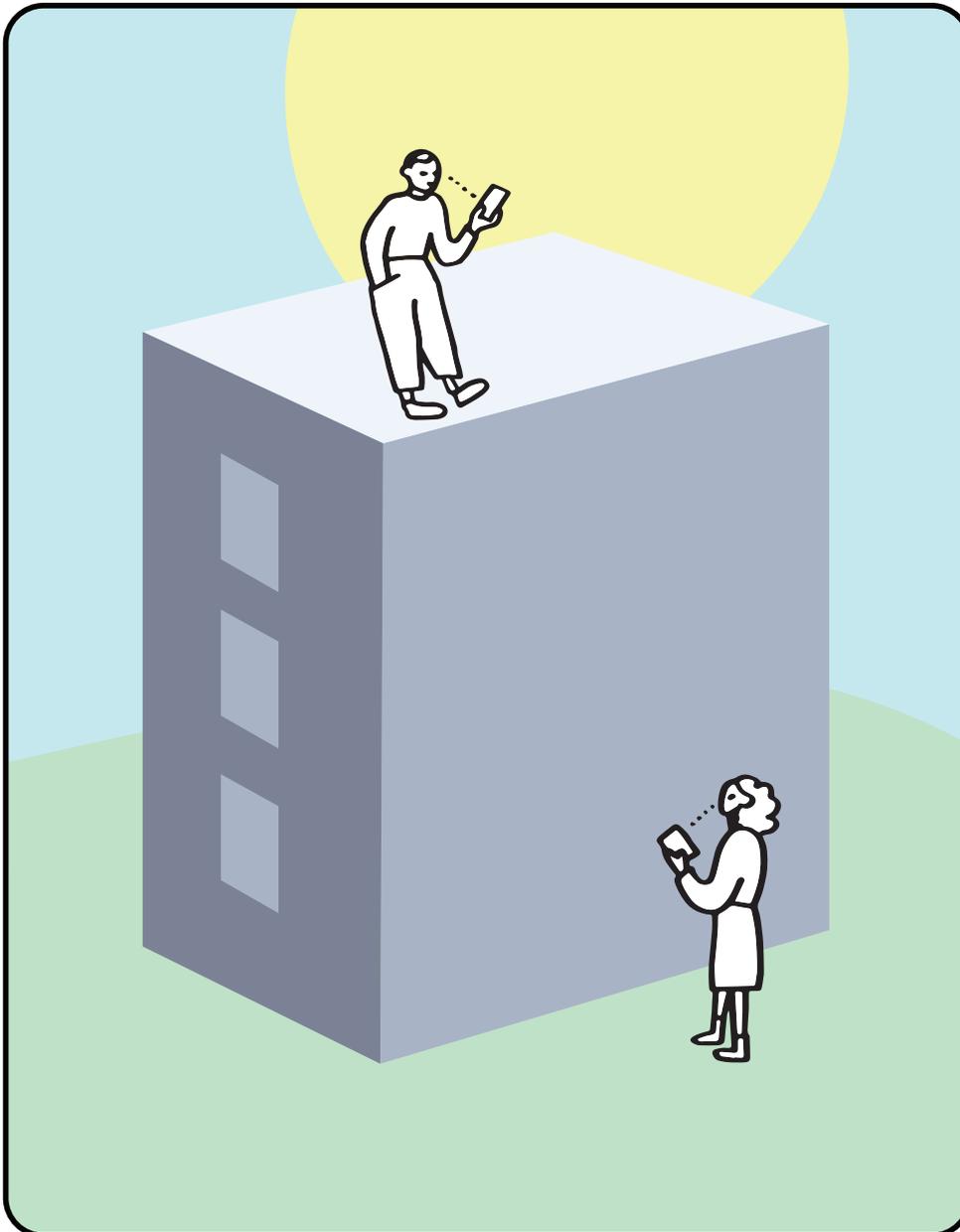
$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g}$$

## Matériel

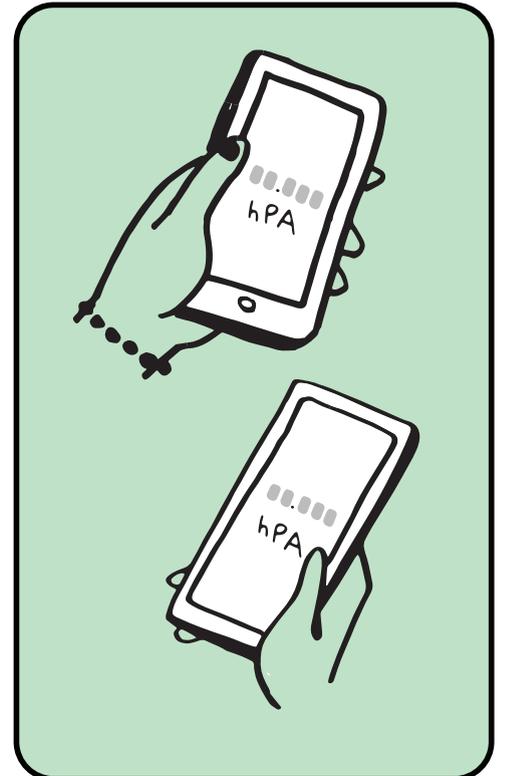


Capteur :  
**baromètre**

1 smartphone



Mesurez la pression atmosphérique en haut et en bas du bâtiment. La variation de pression dépend directement de la hauteur et de la masse volumique de l'air.



$P_1$  = pression en haut,  $P_2$  = pression en bas,  $\rho$  = masse volumique de l'air,  $g = 9.8 \text{ ms}^{-2}$



Précision : haute



Difficulté : basse

# N°37. Ascenseur

## Formule

$$H = \iint \ddot{z} dt$$

## Matériel



Capteur :  
**accéléromètre**

1 smartphone

Posez votre smartphone à plat dans l'ascenseur, au rez-de-chaussée, puis faites monter l'ascenseur. Intégrez deux fois les mesures de l'accéléromètre pour obtenir la hauteur.

$\ddot{z}$  = accélération  
verticale





# N°38. GPS

Précision : minimale



Difficulté : minimale

## Formule

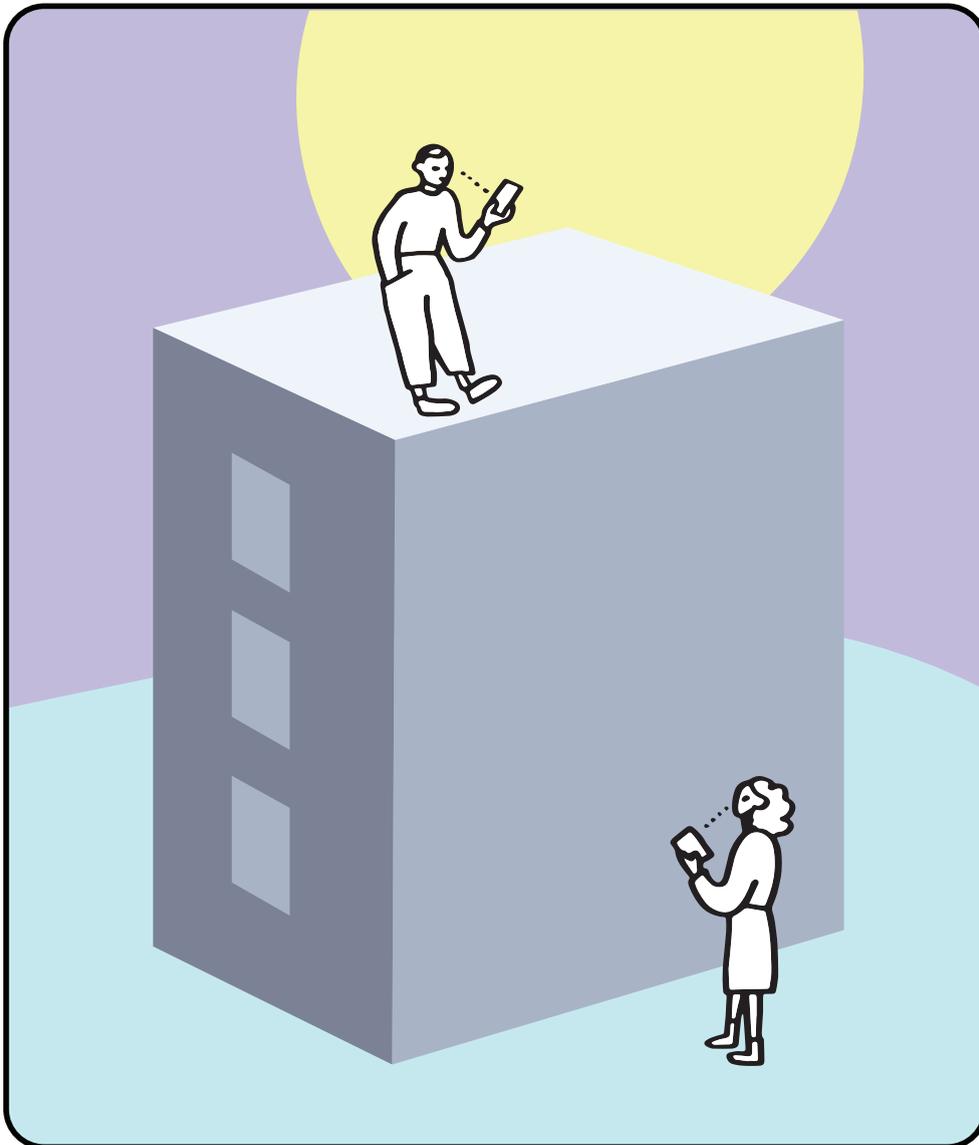
$$H = h_2 - h_1$$

## Matériel



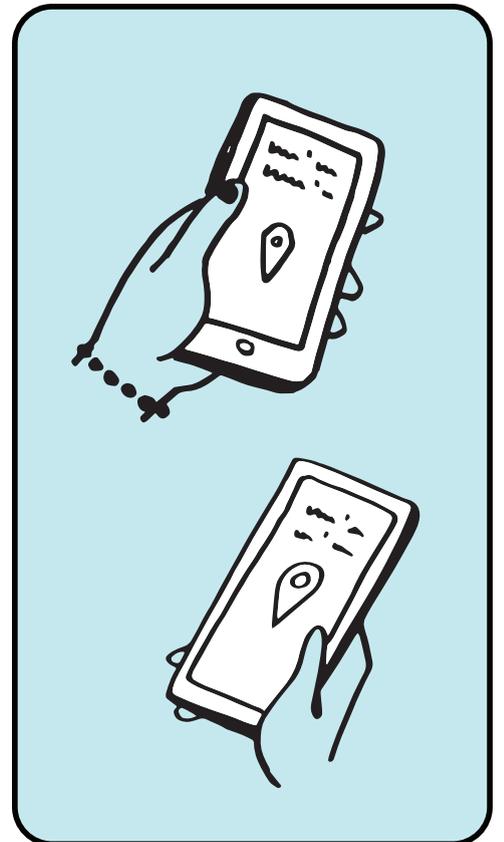
Capteur : **GPS**

1 smartphone



Utilisez les données du GPS pour déterminer l'altitude du pied et du haut du bâtiment.

$h_2$  = altitude en haut du bâtiment,  
 $h_1$  = altitude en bas



*La fonction altitude du GPS n'est vraiment pas précise.*



Précision : moyenne



Difficulté : minimale

# N°39. Chronomètre sonore

## Formule

$$H = v \frac{\delta t}{2}$$

## Matériel

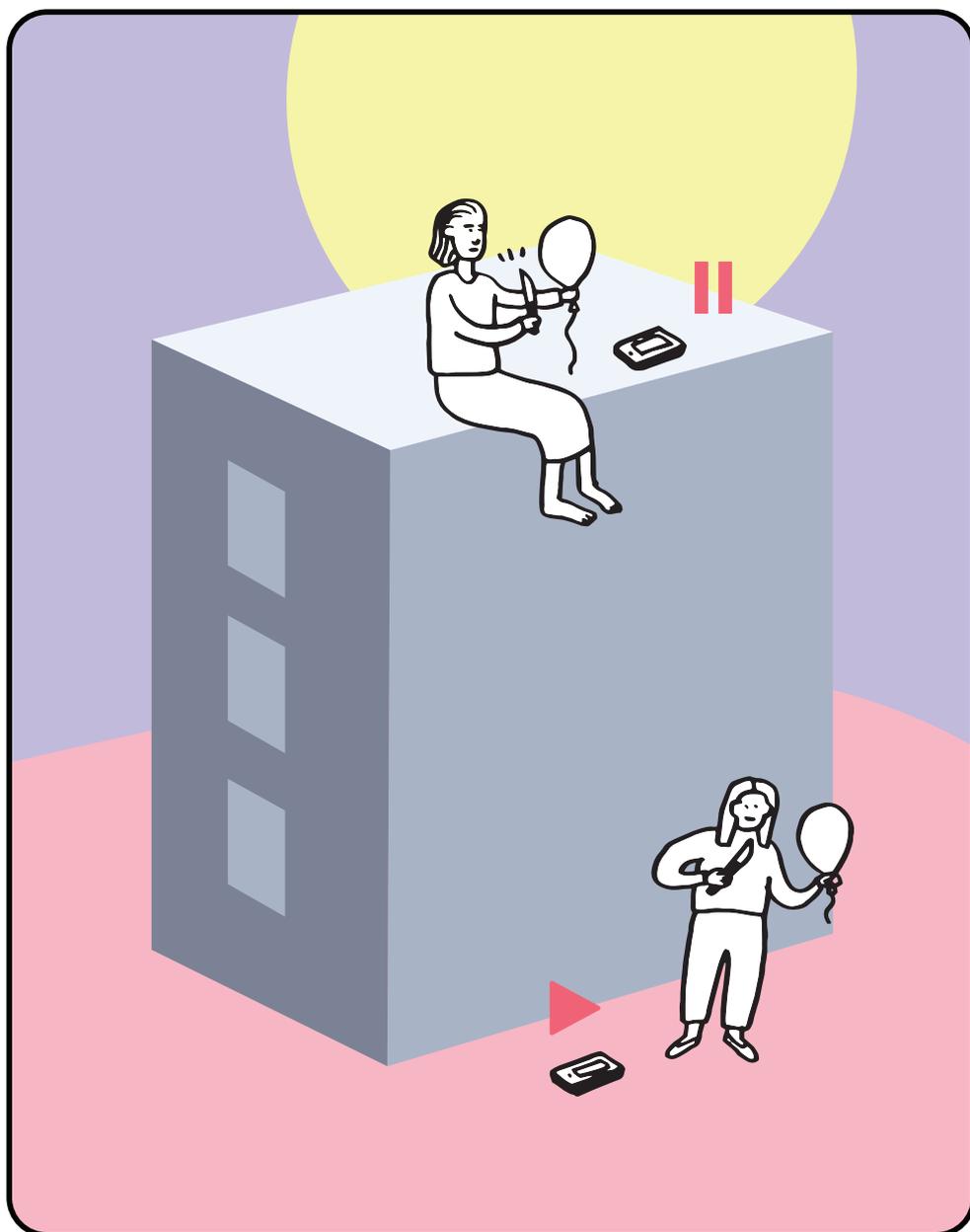


2 ballons

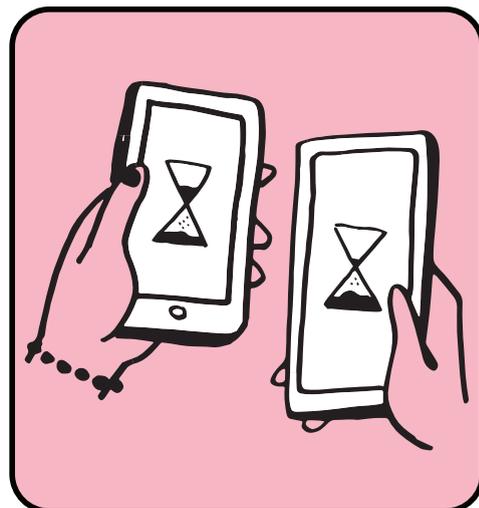


Capteur : **micro**

2 smartphones



Installez une application de chronomètre sonore sur les smartphones (Phyphox par exemple). Lancez l'application, un smartphone en bas du bâtiment, un en haut. Déclenchez les chronomètres en faisant éclater un ballon en bas, puis arrêtez les chronomètres en faisant éclater un ballon en haut.



$v$  = vitesse du son,  $\delta t$  = différence entre les deux chronomètres



Précision : haute



Difficulté : basse

# N°40.

# Enregistrement

## Formule

$$H = vt$$

## Matériel

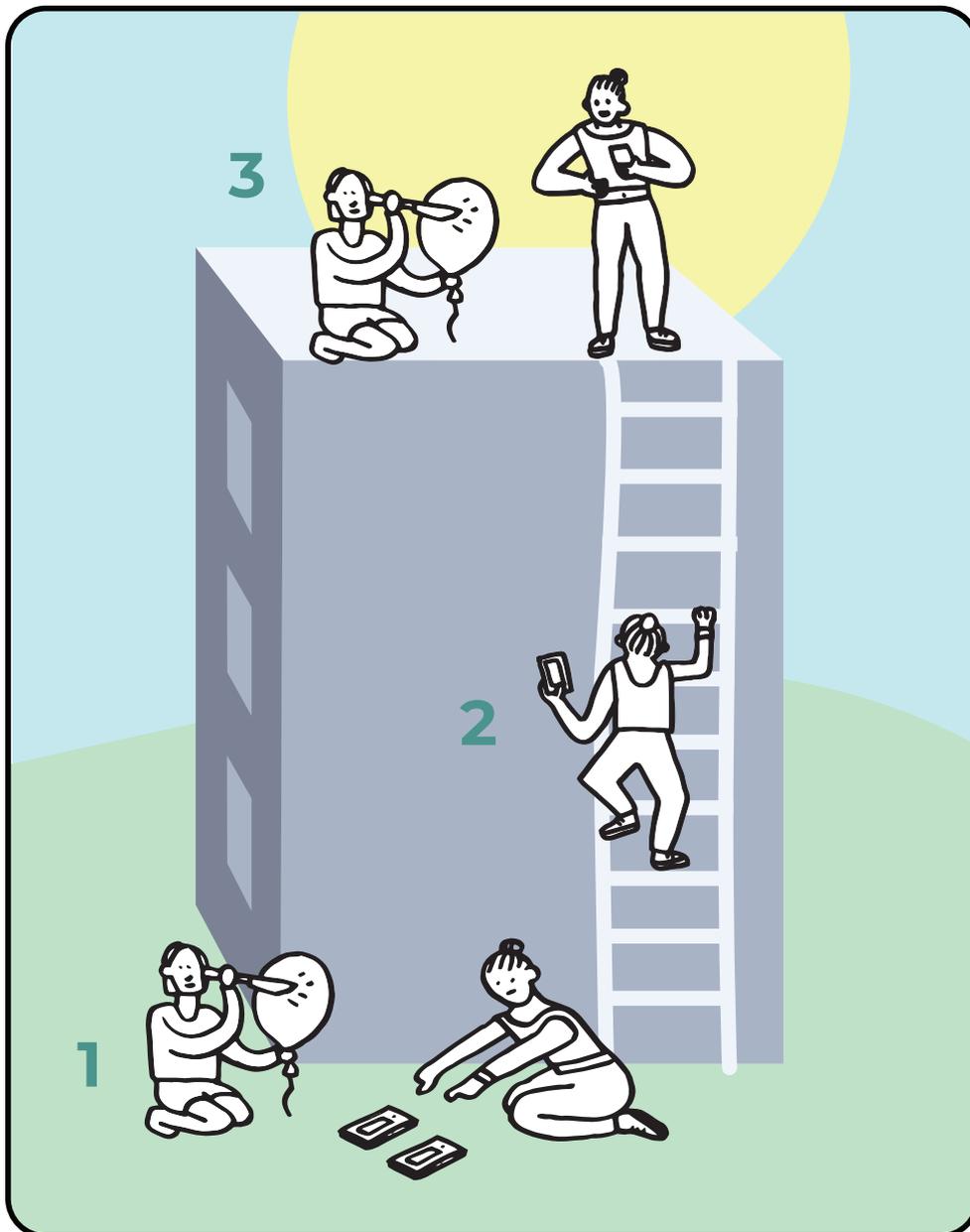


2 ballons

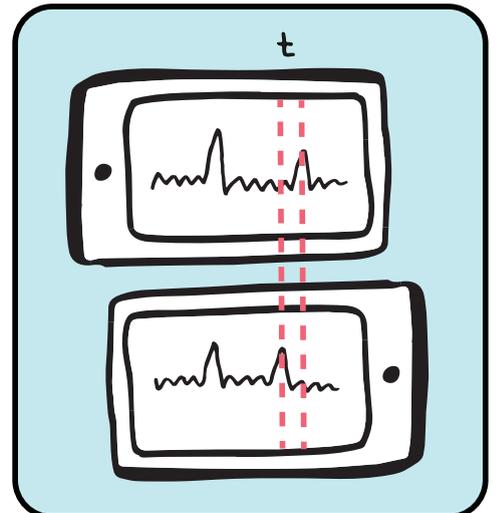


Capteur : **micro**

2 smartphones



Lancez un enregistrement sur les deux smartphones en bas du bâtiment, et faites éclater un ballon. Sans arrêter les enregistrements, monter un smartphone en haut du bâtiment et faites éclater un second ballon. Le premier pop synchronise les deux enregistrements, le second donne la hauteur du bâtiment.



v = vitesse du son, t = temps entre les deux seconds pops



Précision : minimale



Difficulté : basse

# N°41.

# Coup de fil

## Formule

$$H = vt$$

## Matériel

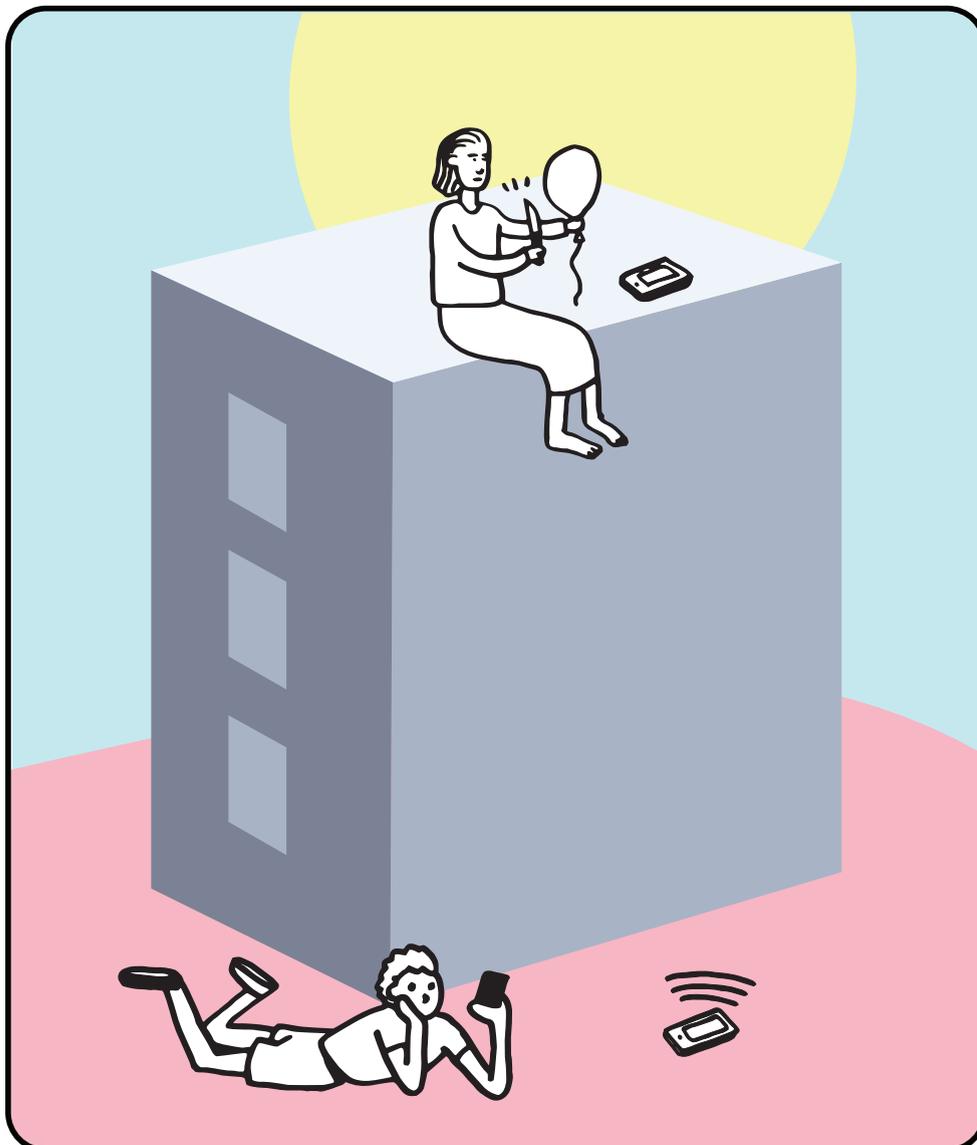


1 ballon



Capteurs :  
**micro, téléphone**

3 smartphones



Postez-vous en bas du bâtiment, et téléphonez à une personne en haut. Mettez votre smartphone en haut-parleur, et lancez un enregistrement sur le troisième smartphone. La personne en haut fait éclater un ballon. Sur l'enregistrement, mesurez le temps entre le pop venant du haut-parleur et le pop venant du ballon.

$v$  = vitesse du son,  $t$  = temps entre les deux pops



*Cette méthode suppose une connexion instantanée entre les deux téléphones ...*



# N°42. Écho

Précision : minimale



Difficulté : minimale

## Formule

$$H = v \frac{t}{2}$$

## Matériel

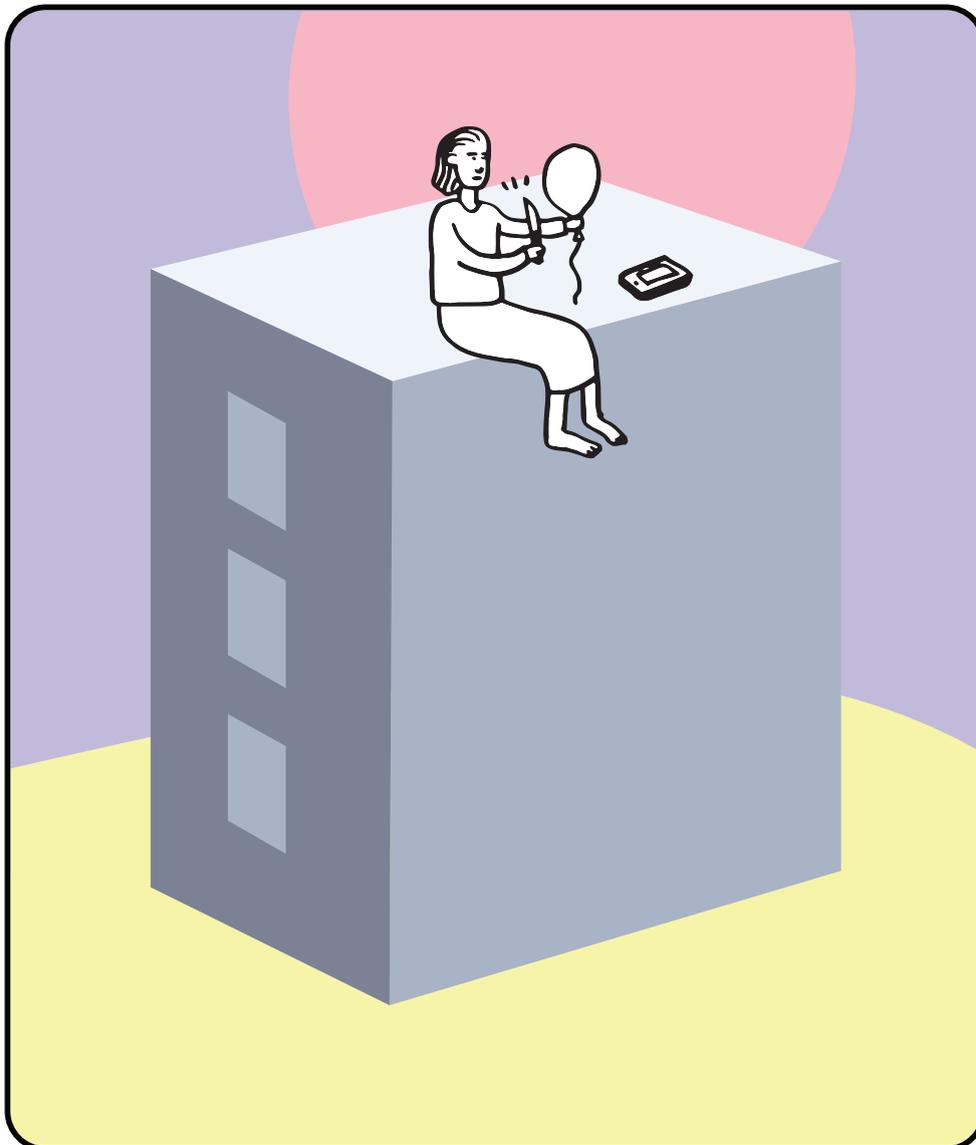


1 ballon



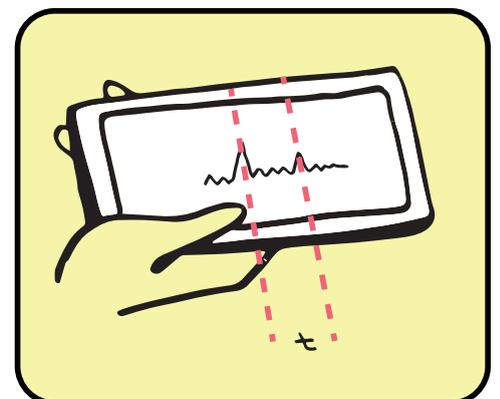
Capteur : **micro**

1 smartphone



Postez-vous en haut du bâtiment. Lancez un enregistrement sur le smartphone, et faites éclater un ballon. Mesurez le temps entre le pop du ballon et son écho.

$v$  = vitesse du son,  $t$  = temps entre le pop et l'écho



Encore faut-il qu'il y ait un écho.



Précision : haute



Difficulté : basse

# N°43. Slow motion

## Formule

$$H = vt$$

## Matériel

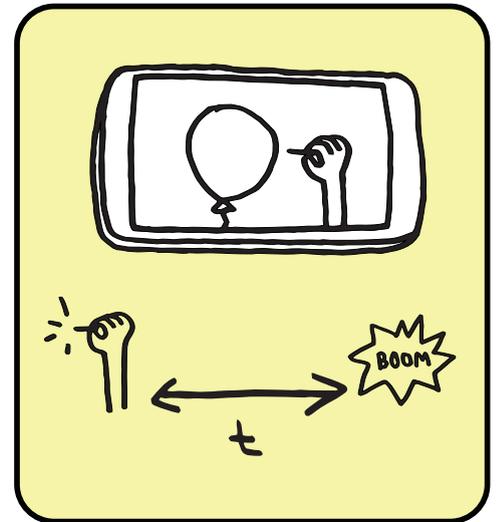
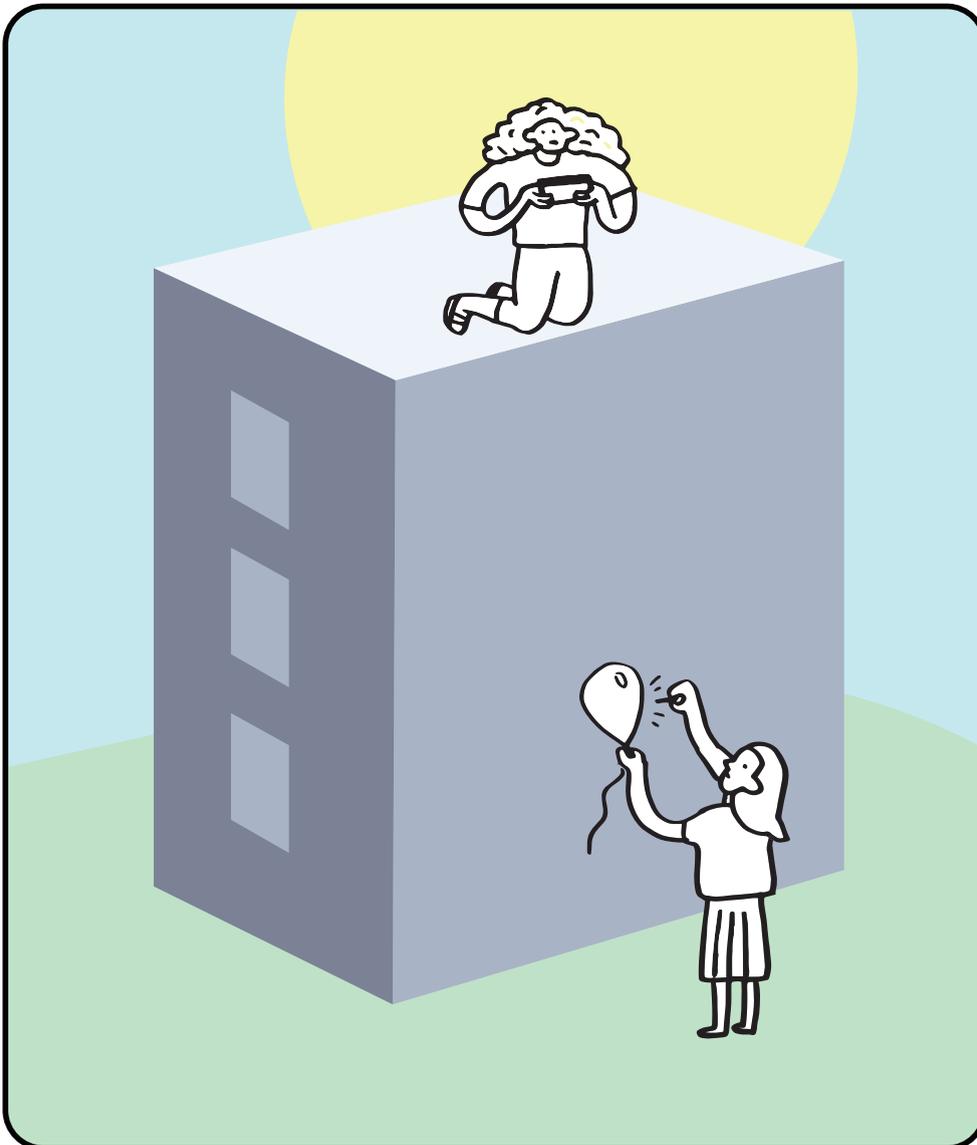


1 ballon



Capteurs :  
**caméra, micro**

1 smartphone avec  
slow motion sonorisé



Enregistrez du haut du bâtiment en «slow motion» l'éclatement d'un ballon en bas du bâtiment. Mesurez le temps écoulé entre l'image et le son du ballon qui éclate.

$v$  = vitesse du son,  $t$  = temps entre l'image du pop et le son du pop

*Certains smartphones n'enregistrent pas le son en slow-motion.*



Précision : haute



Difficulté : haute

# N°44.

# Déphasage d'une note

## Formule

$$H = \Phi \frac{v}{2\pi f}$$

## Matériel

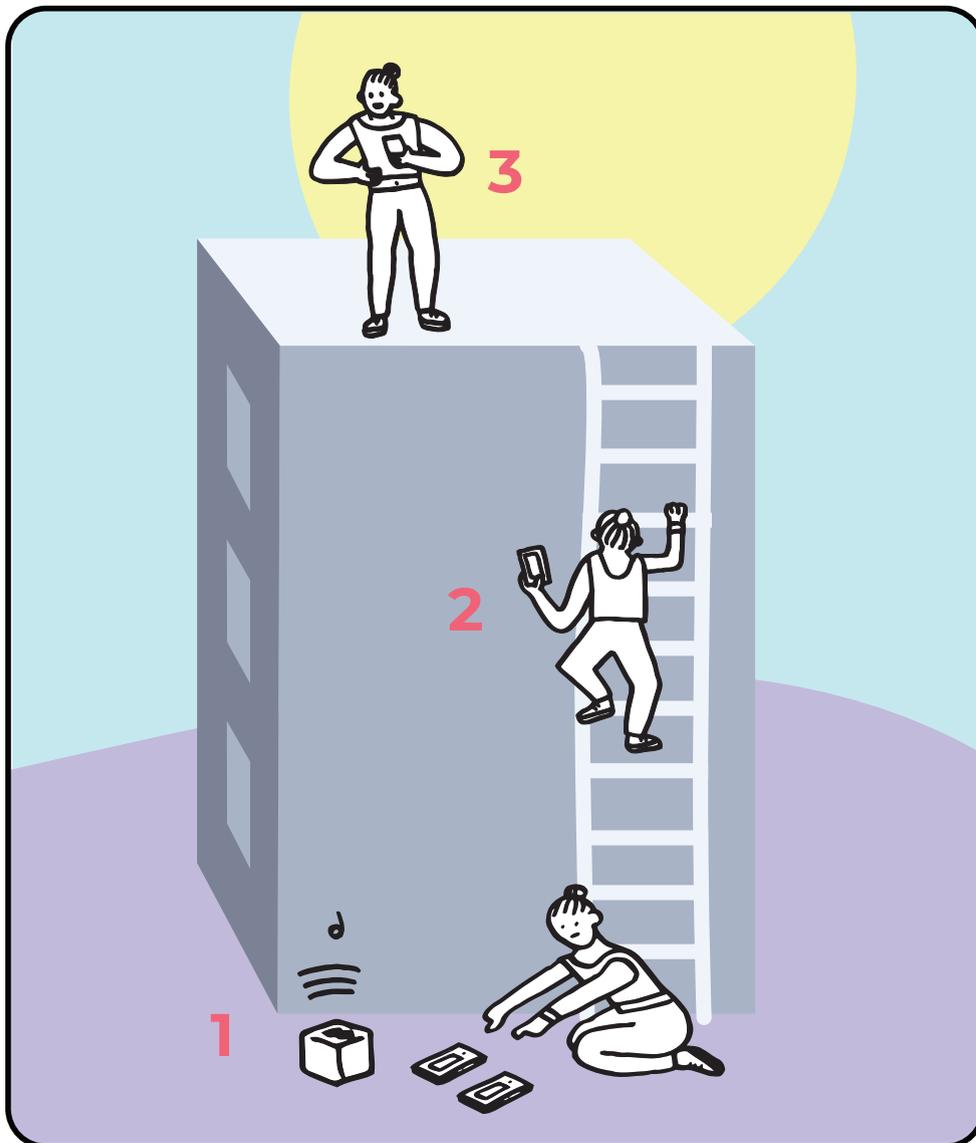


1 haut-parleur bluetooth



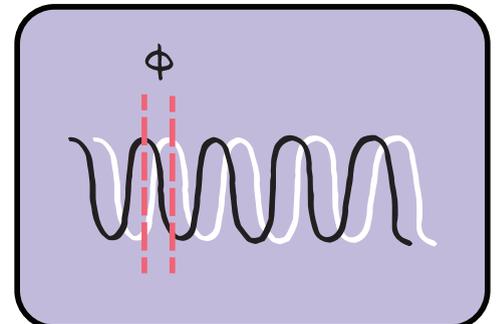
Capteur : **micro**

2 smartphones



Posez le haut-parleur en bas du bâtiment, et émettez une note en continu. Lancez des enregistrements sur les smartphones. L'un reste en bas. Montez jusqu'en haut du bâtiment par l'escalier de secours avec le second smartphone. Comparez les enregistrements pour déterminer le déphasage entre le haut et le bas du bâtiment.

$v$  = vitesse du son,  $f$  = fréquence,  $\Phi$  = différence de phase en radian



Évitez les fréquences trop élevées qui ont des longueurs d'onde trop courtes.



Précision : haute



Difficulté : haute

# N°45.

# Déphasage de notes

## Formule

$$H = \frac{d\Phi}{df} \frac{v}{2\pi}$$

## Matériel

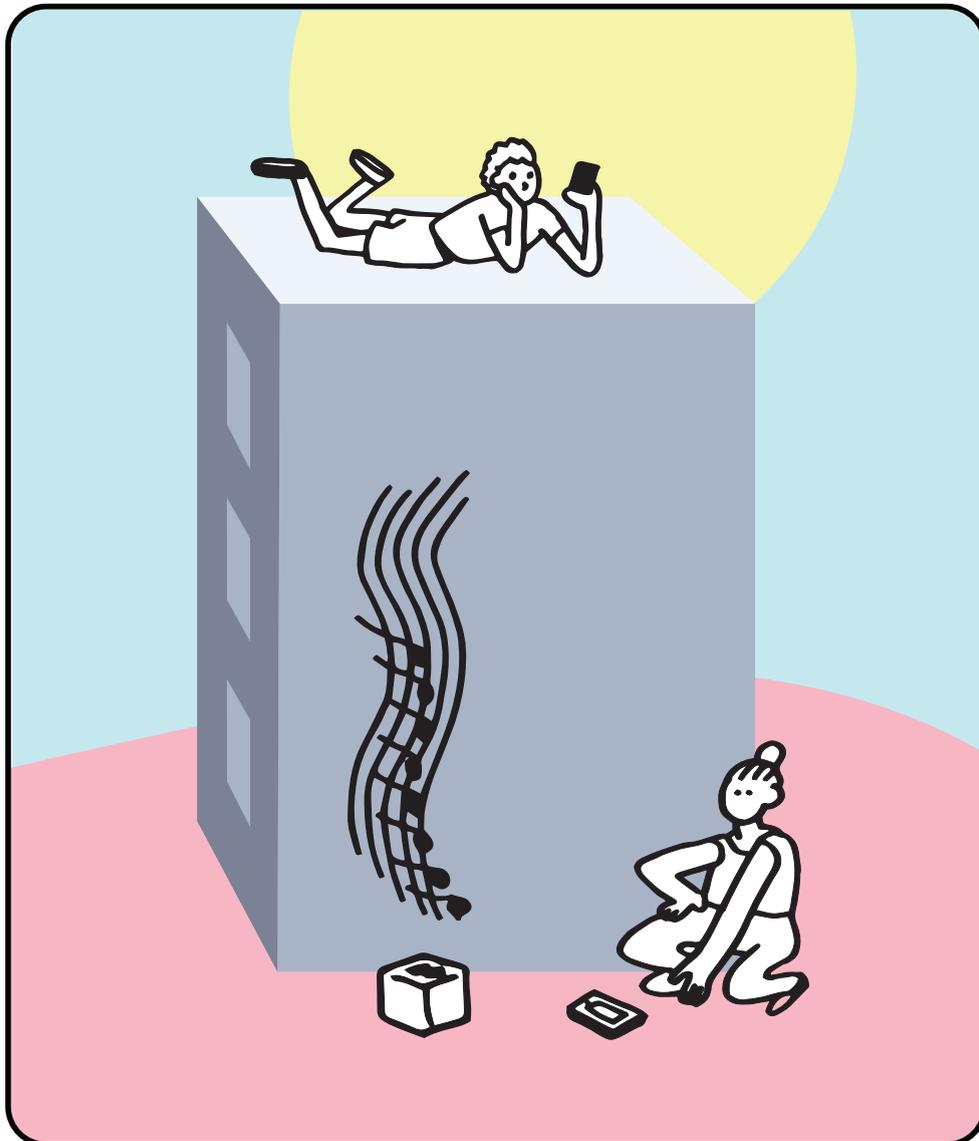


1 haut-parleur bluetooth



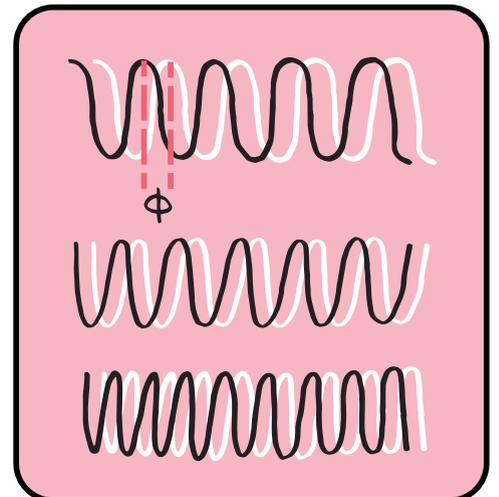
Capteur : **micro**

2 smartphones



Posez le haut-parleur en bas du bâtiment, et émettez une note en continu. Lancez des enregistrements sur les smartphones, l'un en haut, l'autre en bas. Comparez les enregistrements pour déterminer le déphasage quand la fréquence de la note émise varie.

$v$  = vitesse du son,  $f$  = fréquence,  $\Phi$  = différence de phase en radian



*L'analyse des résultats n'est pas immédiate et demande une certaine technicité.*



Précision : haute



Difficulté : haute

# N°46.

# Déphasage latéral

## Formule

$$H = \frac{\pi f}{v} \frac{1}{\frac{\Delta\Phi}{\Delta d^2}}$$

## Matériel

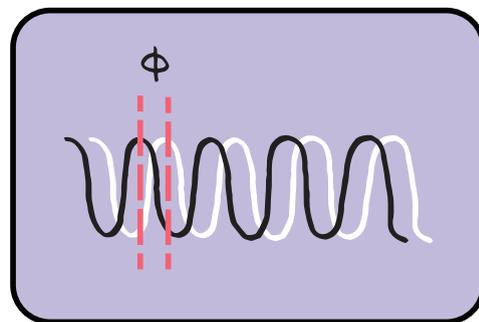
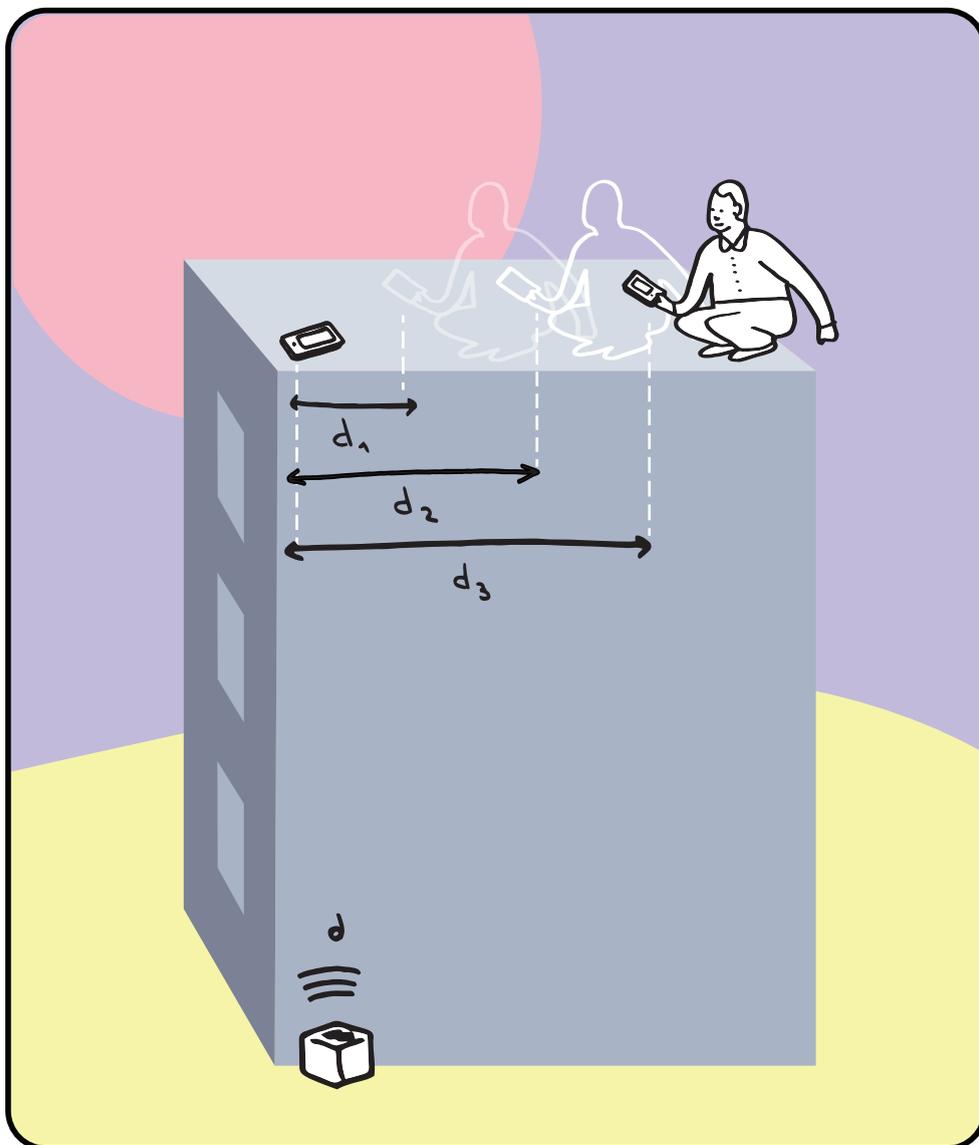


1 haut-parleur bluetooth



Capteur : **micro**

2 smartphones



Posez le haut-parleur en bas du bâtiment, et émettez une note continue. Lancez des enregistrements sur les smartphones placés en haut du bâtiment à la verticale du haut-parleur. Déplacez l'un des smartphones latéralement. Comparez les enregistrements pour déterminer le déphasage entre le son enregistré par les smartphones.

$v$  = vitesse du son,  $f$  = fréquence,  
 $\Phi$  = différence de phase en radian,  
 $d$  = distance entre les smartphones

La formule est valable pour  $d \ll H$



Précision : moyenne



Difficulté : moyenne

# N°47. Interférences acoustiques

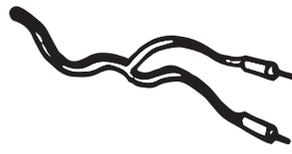
## Formule

$$H = \frac{2df}{v}$$

## Matériel



2 haut-parleurs

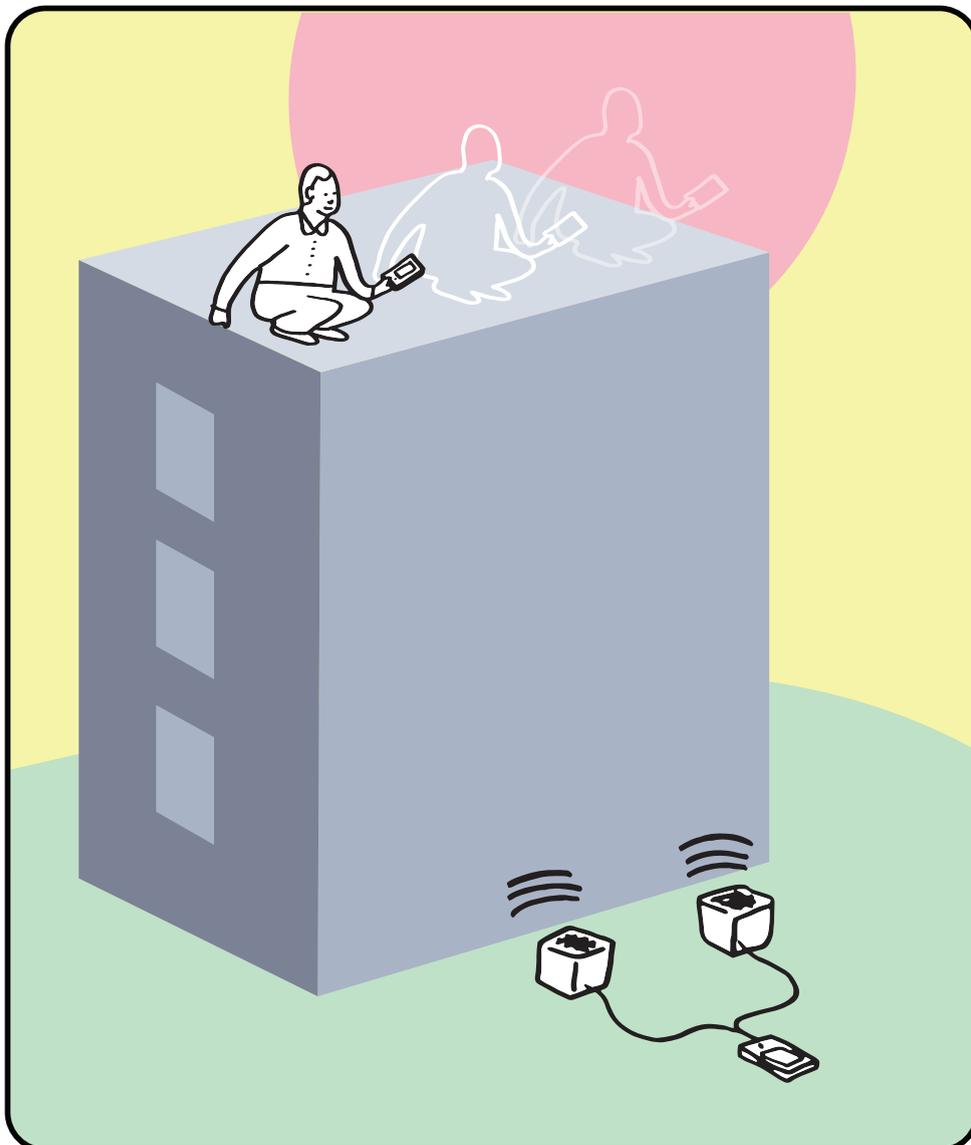


1 dédoubleur  
de prise jack

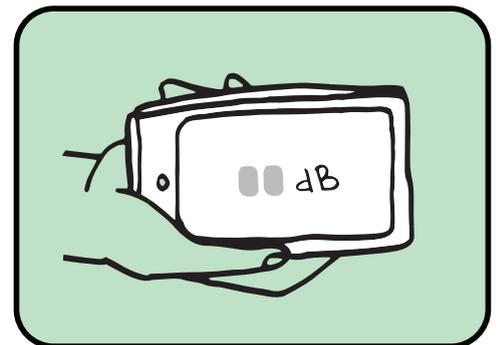


Capteur :  
micro

2 smartphones



En reliant les deux haut-parleurs à un smartphone avec le dédoubleur de prise jack, posez les au sol séparés d'une certaine distance, et émettez la même note continue sur les deux appareils.. À la verticale, utilisez un smartphone pour déterminer la distance entre deux minimums d'intensité sonore.



$v$  = vitesse du son,  $f$  = fréquence,  $l$  = distance entre les haut-parleurs,  $d$  = distance entre les deux minimums

la formule est valable pour  $d \ll H$  et  $l \ll H$



Précision : haute



Difficulté : basse

# N°48.

# Résonnance d'un tube

## Formule

$$H = \frac{v}{2f}$$

## Matériel

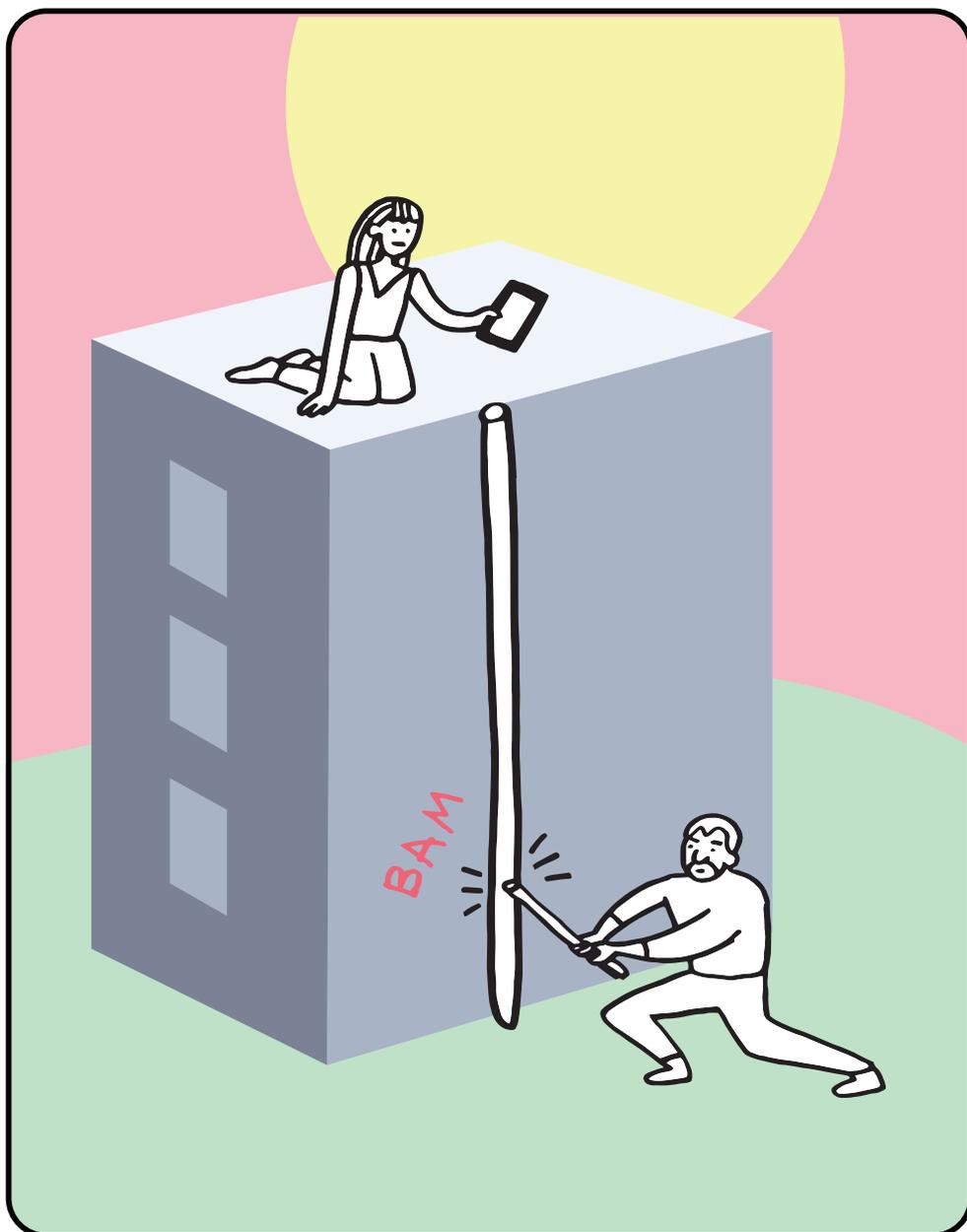


un long tube de la  
hauteur de bâtiment

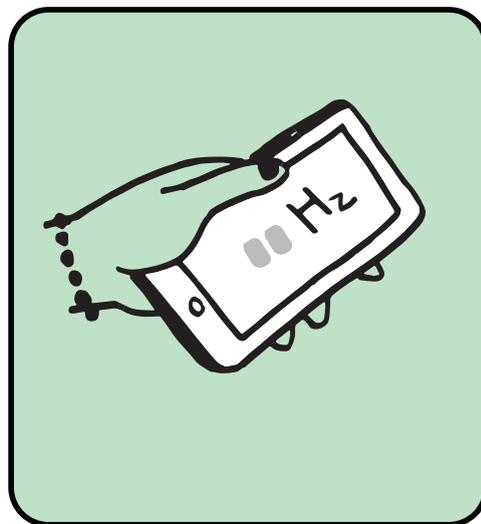


Capteur : **micro**

1 smartphone



Trouvez un tube rigide de la même longueur que la hauteur du bâtiment. Déterminez la note qui peut se propager dans le tube.



v = vitesse du son, f = fréquence



Précision : moyenne



Difficulté : basse

# N°49. Intensité sonore

## Formule

$$H \propto \frac{1}{\sqrt{I}}$$

## Matériel

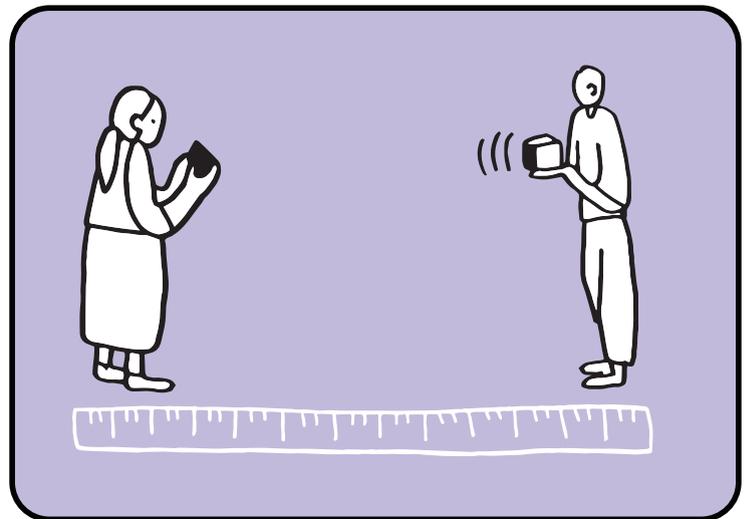
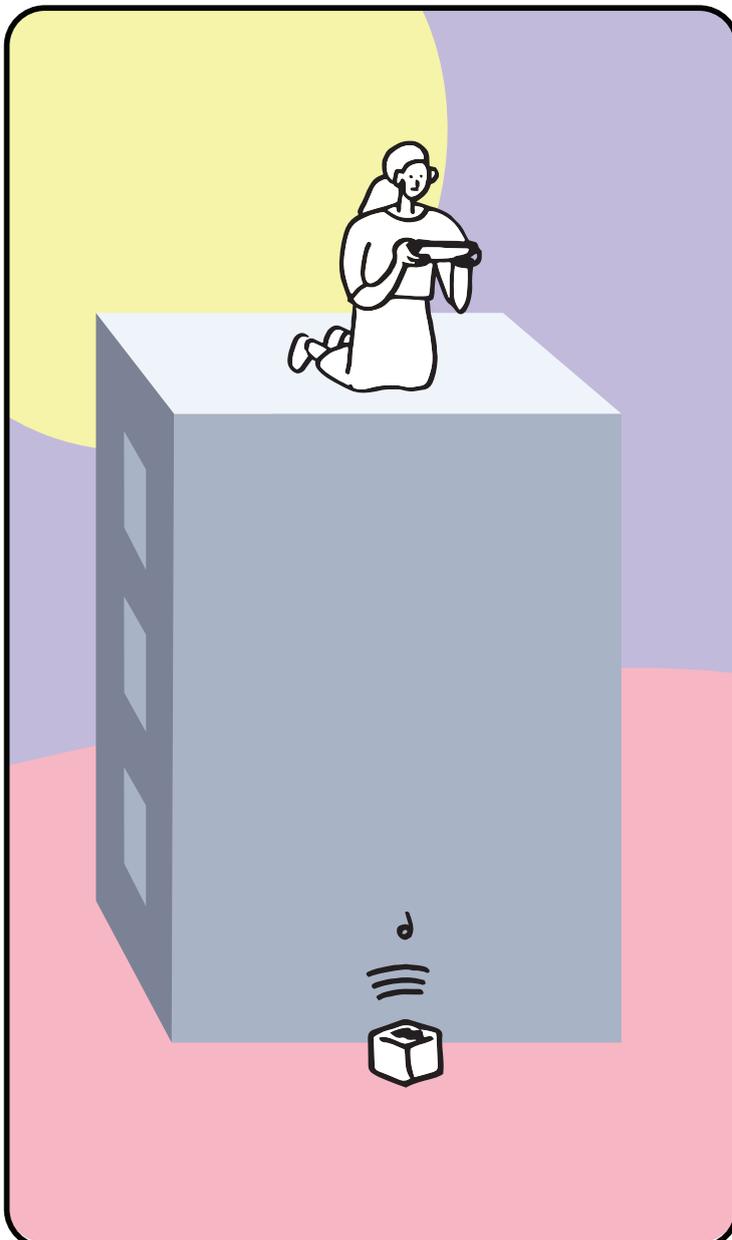


1 haut-parleur



Capteur : **micro**

1 smartphone



Installez le haut-parleur en bas du bâtiment, et mesurez l'intensité sonore en haut. Coupez le son pour déterminer le bruit ambiant. L'intensité varie en  $1/R^2$ , et doit être calibrée auparavant.

$I$  = intensité sonore



Précision : moyenne



Difficulté : basse

# N°50. Intensité lumineuse

## Formule

$$H \propto \frac{1}{R^2}$$

## Matériel

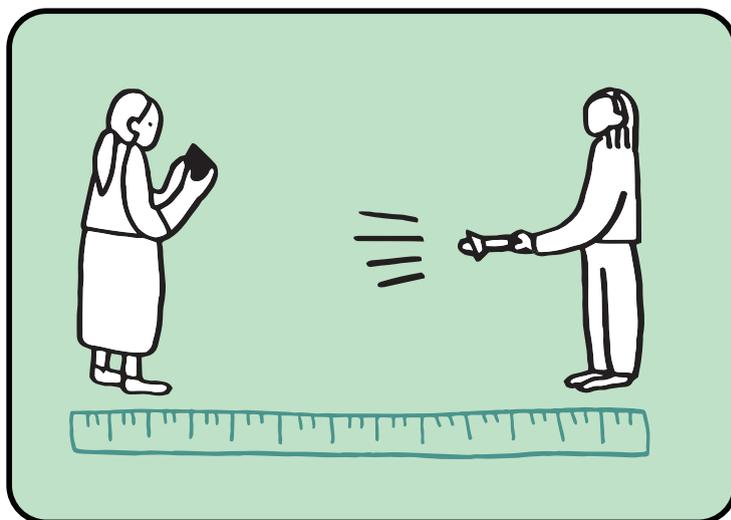
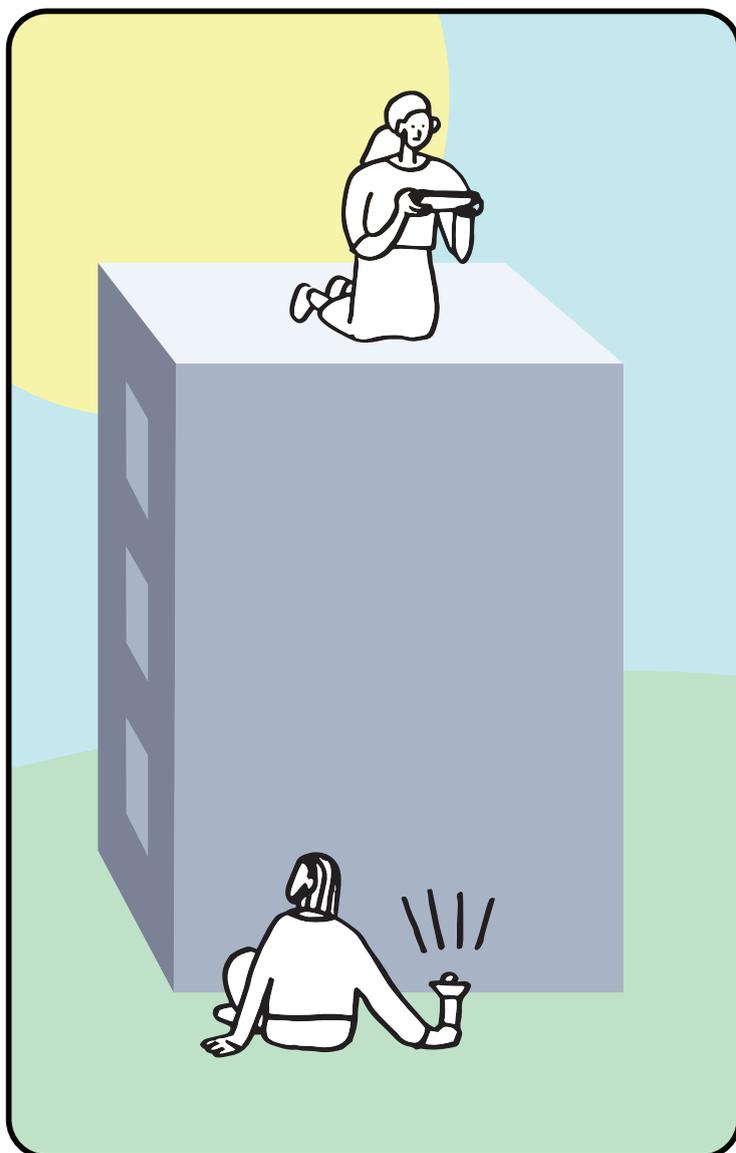


1 lampe



Capteur :  
capteur de lumière

1 smartphone



Installez la lampe en bas du bâtiment, et mesurez l'intensité lumineuse en haut. Éteignez la lumière pour déterminer la lumière ambiante. L'intensité reçue varie en  $1/R^2$ , et doit être calibrée auparavant.

$I$  = intensité lumineuse

*Fonctionne mieux le soir ou la nuit.*



Précision : minimale



Difficulté : basse

# N°51. Intensité du wifi

## Formule

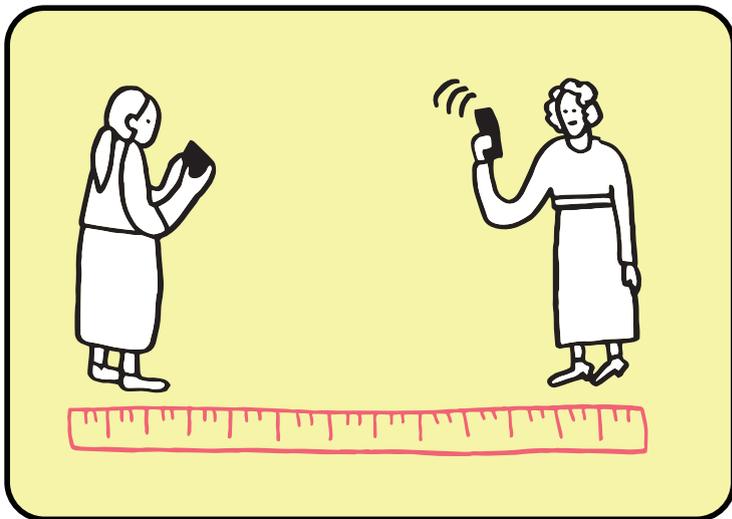
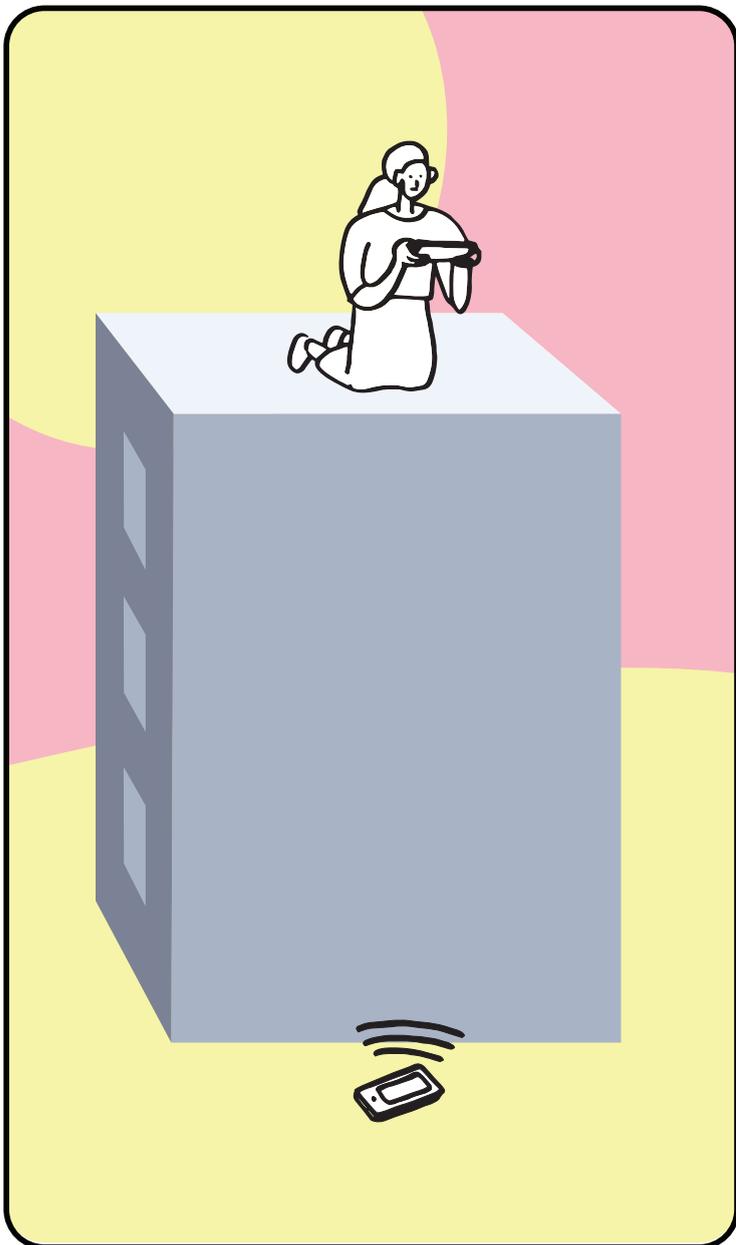
$$H \propto \frac{1}{\sqrt{I}}$$

## Matériel



Capteur :  
**antenne wifi**

2 smartphones



Installez un smartphone en configuration hotspot en bas du bâtiment, et mesurez l'intensité du wifi en haut du bâtiment. Sans perturbation, l'intensité d'une onde électromagnétique varie en  $1/R^2$ , et doit être calibrée auparavant.

$I$  = intensité du wifi



Précision : minimale



Difficulté : basse

# N°52. Champ magnétique

## Formule

$$H \propto \frac{1}{\sqrt[3]{B}}$$

## Matériel

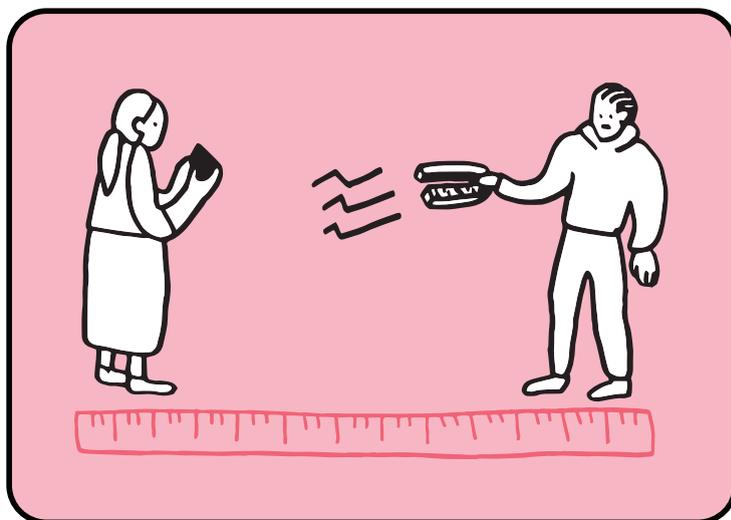
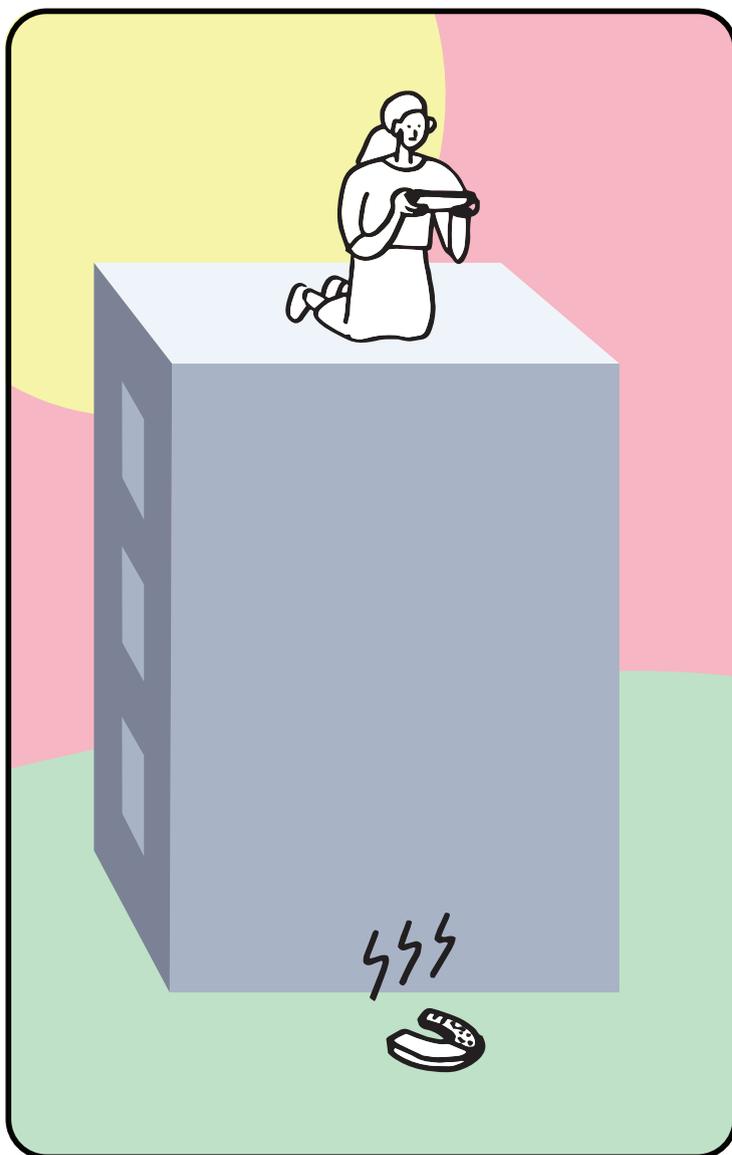


1 aimant



Capteur :  
**magnétomètre**

1 smartphone



Installez l'aimant en bas du bâtiment, et mesurez le champ magnétique en haut. L'intensité du champ magnétique varie en  $1/R^3$ , et doit être calibrée auparavant.

B = champ magnétique

Attention : la manipulation d'aimants puissants est dangereuse.



Précision : haute



Difficulté : impossible

# N°53.

# Radioactivité

## Formule

$$H \propto \frac{1}{\sqrt{I}}$$

## Matériel



1kg de plutonium

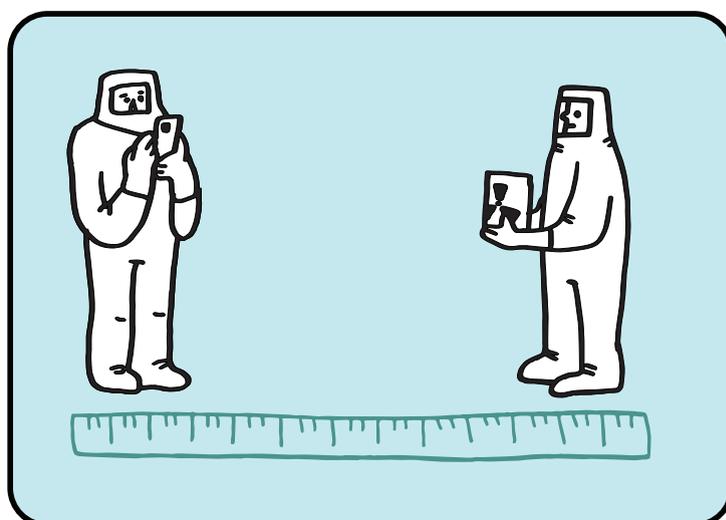
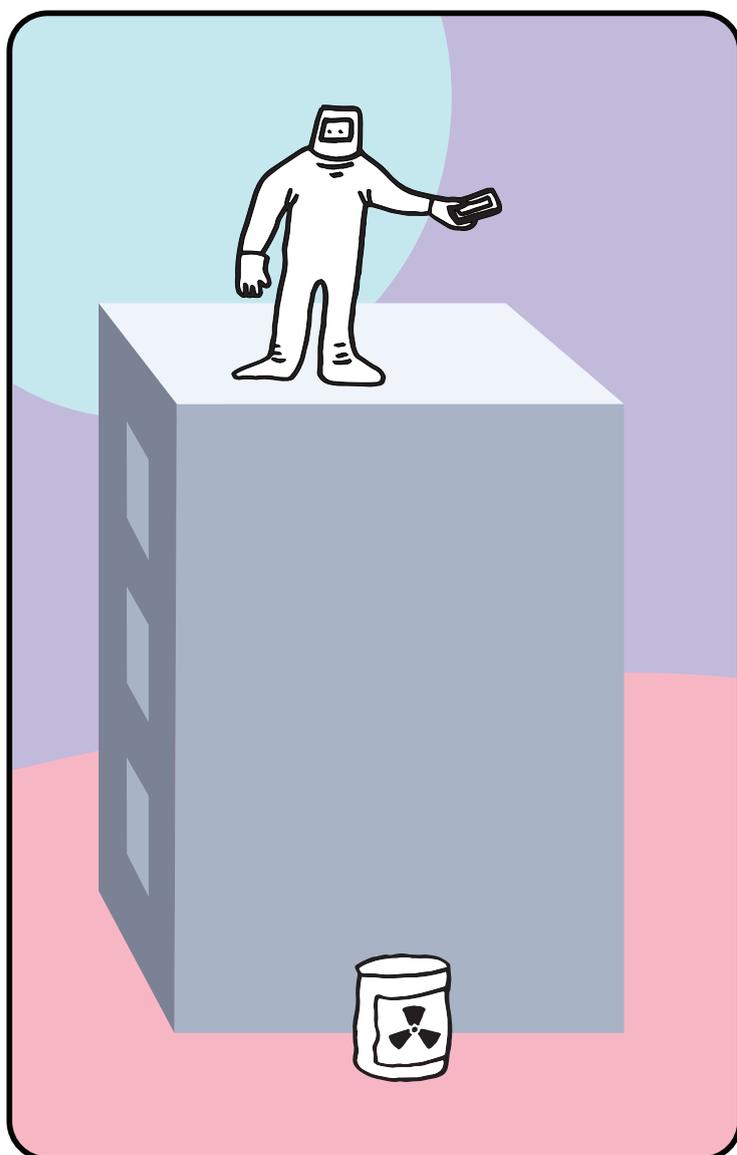


scotch noir

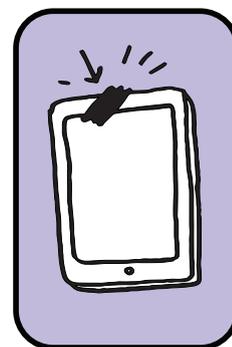


1 smartphone

Capteur :  
capteur CCD



Transformez votre smartphone en compteur Geiger avec le scotch noir. Installez le plutonium en bas du bâtiment, et mesurez la radioactivité en haut. L'intensité radioactive varie en  $1/R^2$ , et doit être calibrée auparavant.



I = intensité radioactive

*Cette méthode fonctionne en théorie, mais est trop dangereuse pour être réalisée.*



Précision : haute



Difficulté : basse

# N°54. Nombre de pixels

## Formule

$$H \propto \frac{1}{\sqrt{N}}$$

## Matériel

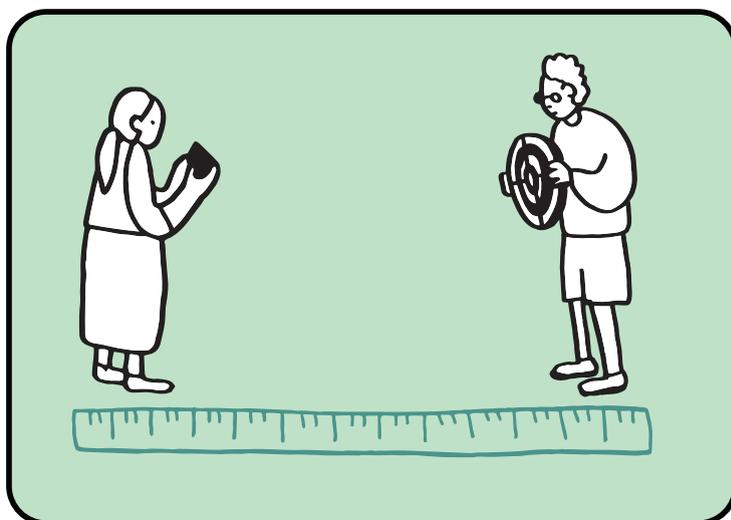
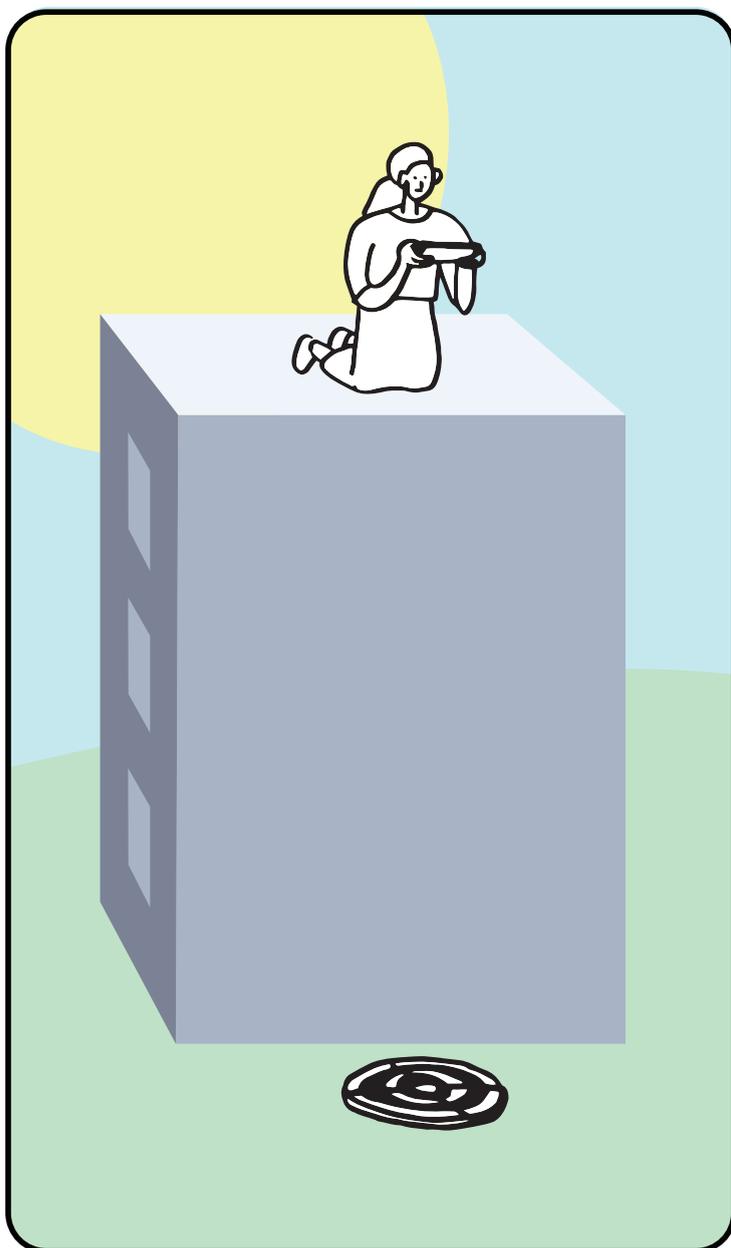


une cible



Capteur :  
**caméra**

1 smartphone



Installez la cible en bas du bâtiment, et prenez là en photo du haut du bâtiment. Le nombre de pixels représentant la cible sur la photo varie en  $1/R^2$ , et doit être calibré auparavant.

N = nombre de pixels



Précision : haute



Difficulté : haute

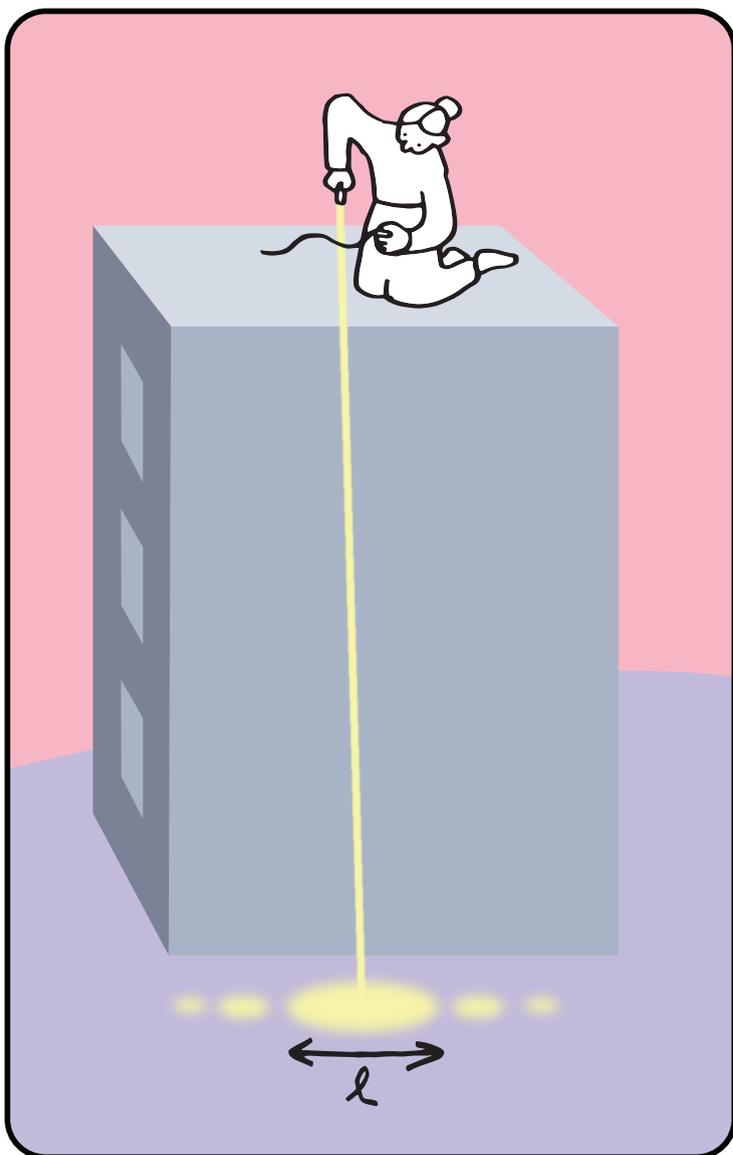
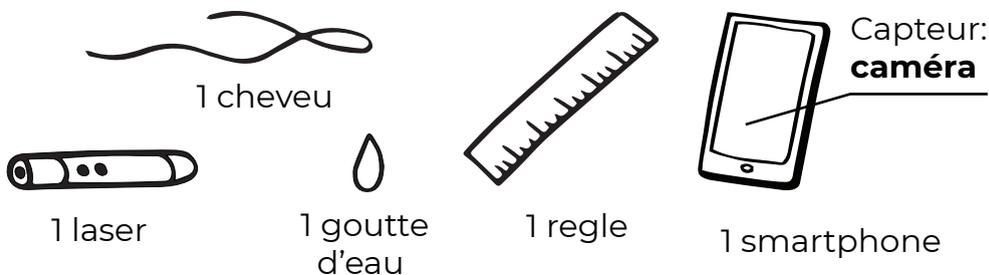
# N°55.

# Diffraction d'un cheveu

## Formule

$$H = \frac{ld}{2\lambda}$$

## Matériel



Du haut du bâtiment, éclairez le cheveu avec un laser vers le bas. Mesurez la tache de diffraction en bas du bâtiment. À l'aide d'une goutte d'eau posée sur la caméra, transformez votre smartphone en microscope, et mesurez le diamètre du cheveu.

$l$  = taille de la tache de diffraction,  
 $d$  = diamètre du cheveu,  
 $\lambda$  = longueur d'onde du laser

Attention : la manipulation d'un laser est dangereuse.



Précision : haute



Difficulté : haute

# N°56.

# Diffraction sur l'écran

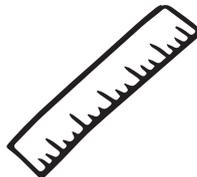
## Formule

$$H = \frac{lp}{\lambda}$$

## Matériel



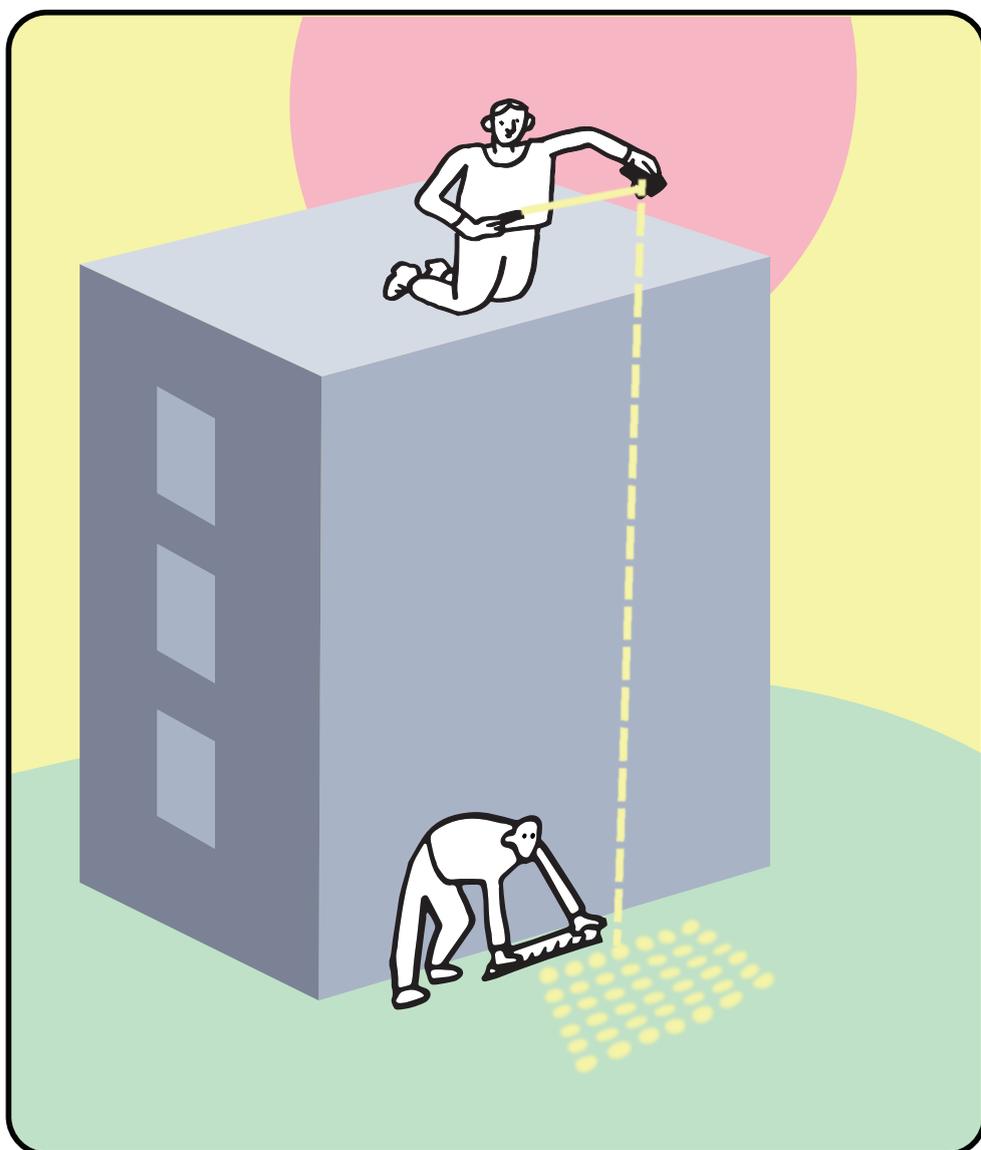
1 laser



1 règle



1 smartphone



Du haut du bâtiment, éclairez l'écran du smartphone avec le laser et projetez la figure de diffraction sur le sol. Mesurez la distance caractéristique de la figure. Déterminez la taille des pixels en comparant leur nombre et la taille de l'écran. (Certains écrans diffractent mieux que d'autres.)

$l$  = distance entre les taches de diffraction,  $p$  = taille d'un pixel,  $\lambda$  = longueur d'onde du laser

Attention : la manipulation d'un laser est dangereuse.



Précision : nulle



Difficulté : basse

# N°57. Petit pendule

## Formule

$$H = \frac{T_2 - T_1}{2\pi} \sqrt{\frac{GM}{L}}$$

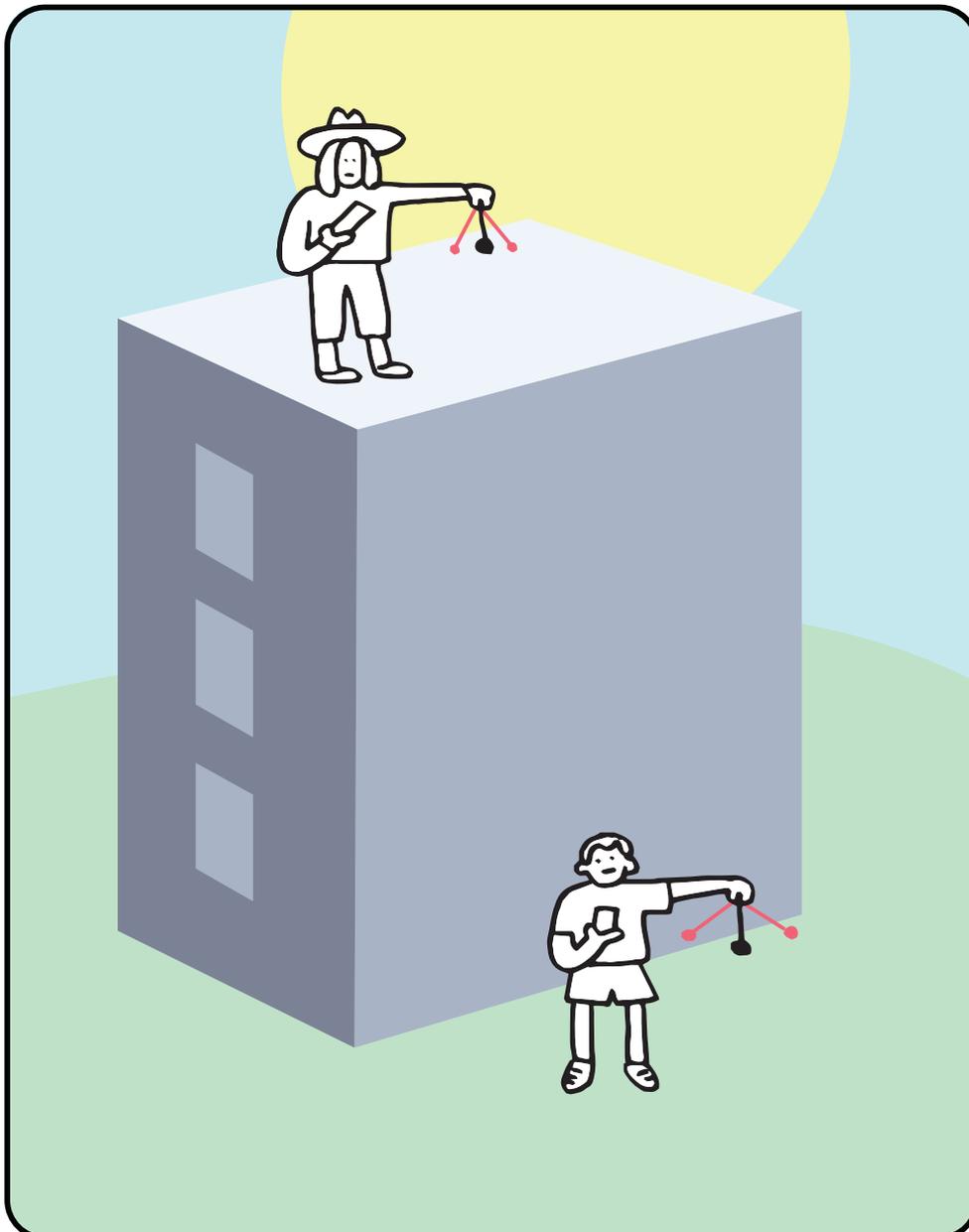


1 corde



1 smartphone

Capteurs:  
**chronomètre, caméra, accéléromètre, gyroscope, magnétomètre, capteur de lumière, capteur de proximité, micro**



Avec votre smartphone, fabriquez un pendule, et mesurez sa période quand il est installé en bas puis en haut du bâtiment, en utilisant le capteur de votre choix. La différence des périodes permet de déterminer la hauteur si la mesure est suffisamment précise.

$T_2$  et  $T_1$  = périodes en bas et en haut du pendule,  $L$  = longueur du pendule,  $G$  = constante universelle de gravitation,  $M$  = masse de la Terre



Précision : nulle



Difficulté : minimale

# N°58. Variation de gravité

## Formule

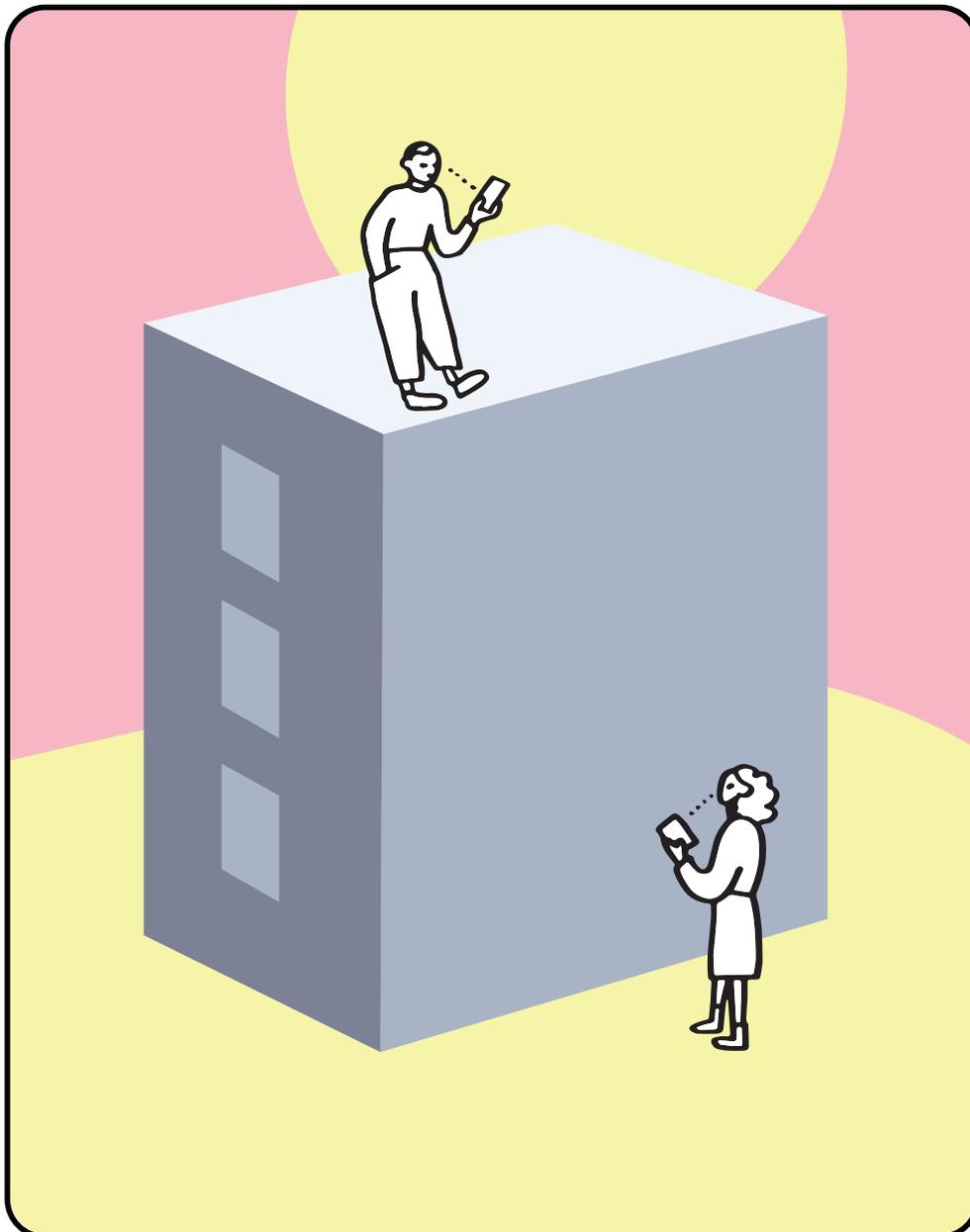
$$H = \frac{R}{2} \frac{g_2 - g_1}{g_2}$$

## Matériel

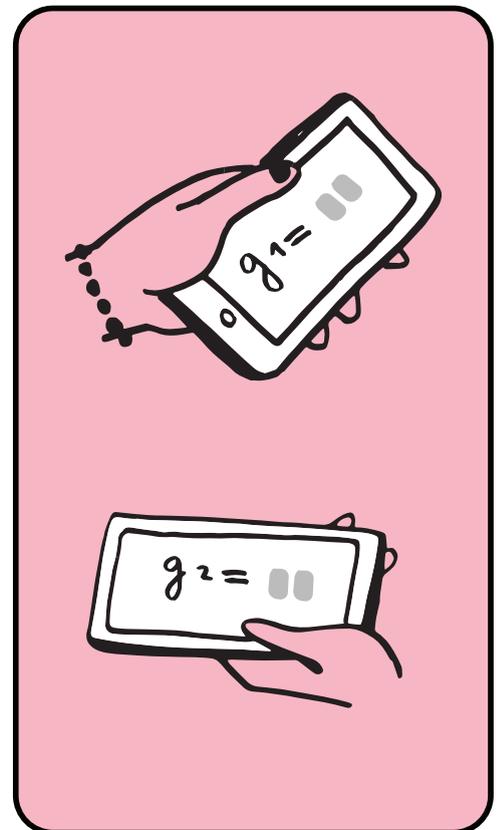


Capteur :  
**accéléromètre**

1 smartphone



Mesurez la gravité en haut et en bas du bâtiment avec l'accéléromètre. La variation de la gravité dépend de la hauteur.



R = rayon de la Terre,  
 $g_1$  et  $g_2$  = gravité en haut et en bas du bâtiment



Précision : nulle



Difficulté : minimale

# N°59. Magnétisme Terrestre

## Formule

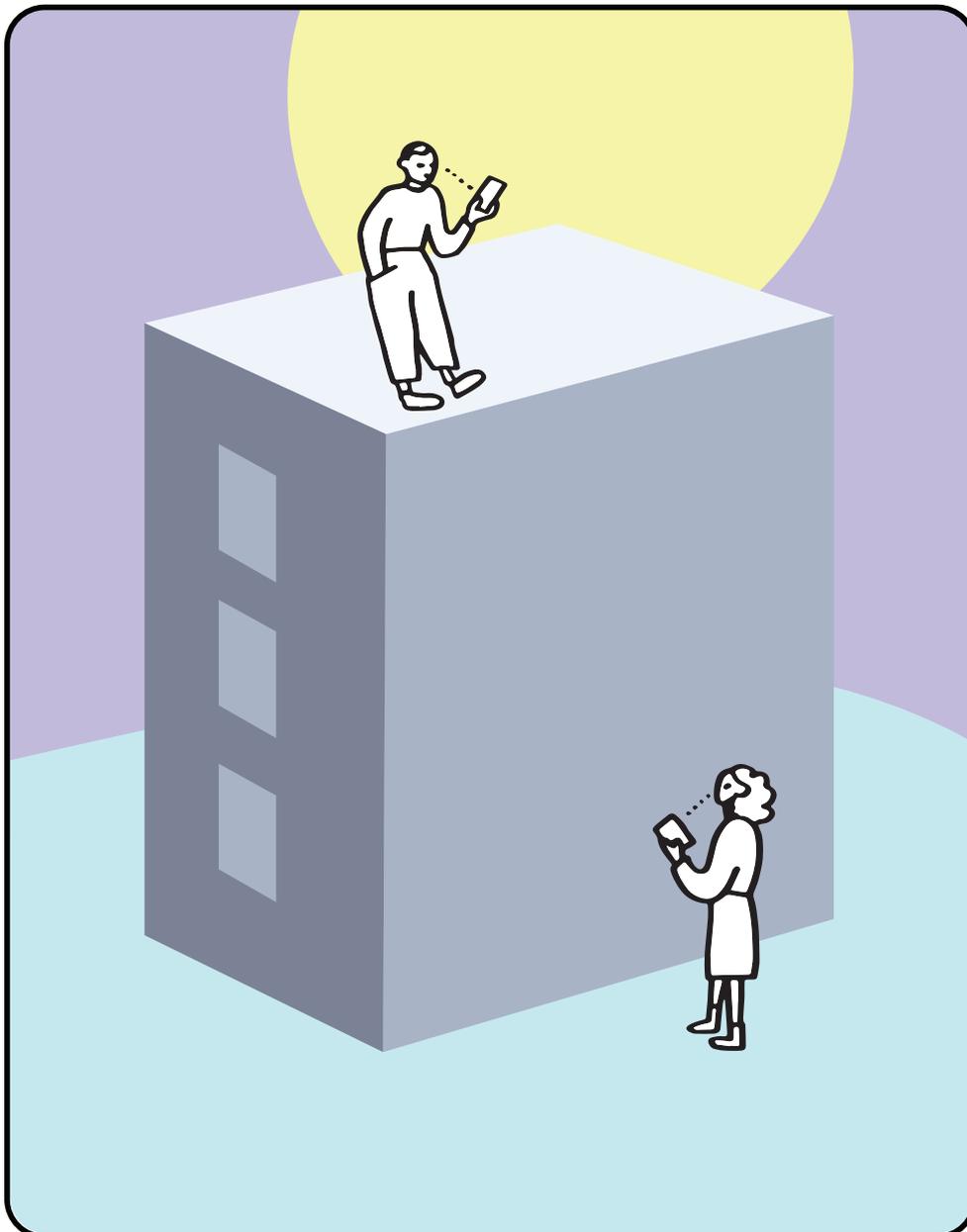
$$H = \frac{R}{2} \frac{B_2 - B_1}{B_2}$$

## Matériel

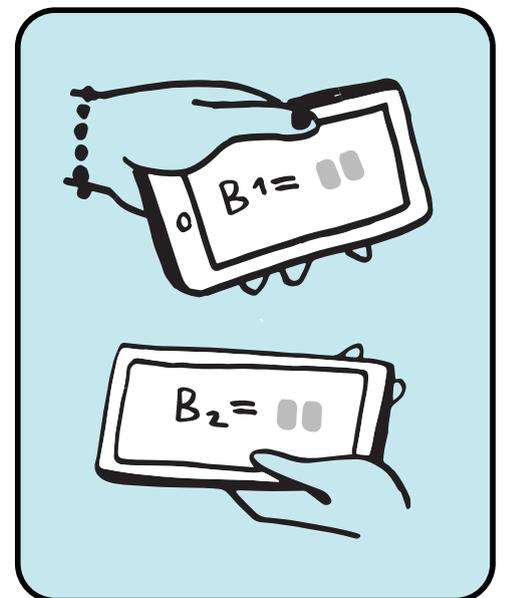


Capteur :  
**magnétomètre**

1 smartphone



Mesurez le champ magnétique en haut et en bas du bâtiment. En supposant que le champ magnétique de la Terre est celui d'un dipôle et que le bâtiment ne produit ou ne contient aucun champ magnétique, la hauteur peut être déterminée.



R = rayon de la Terre,  $B_1$  et  $B_2$  = champ magnétique terrestre en bas et en haut du bâtiment.



Précision : nulle



Difficulté : minimale

# N°60. Relativité générale

## Formule

$$H = \frac{c^2}{g} \frac{\delta t}{t}$$

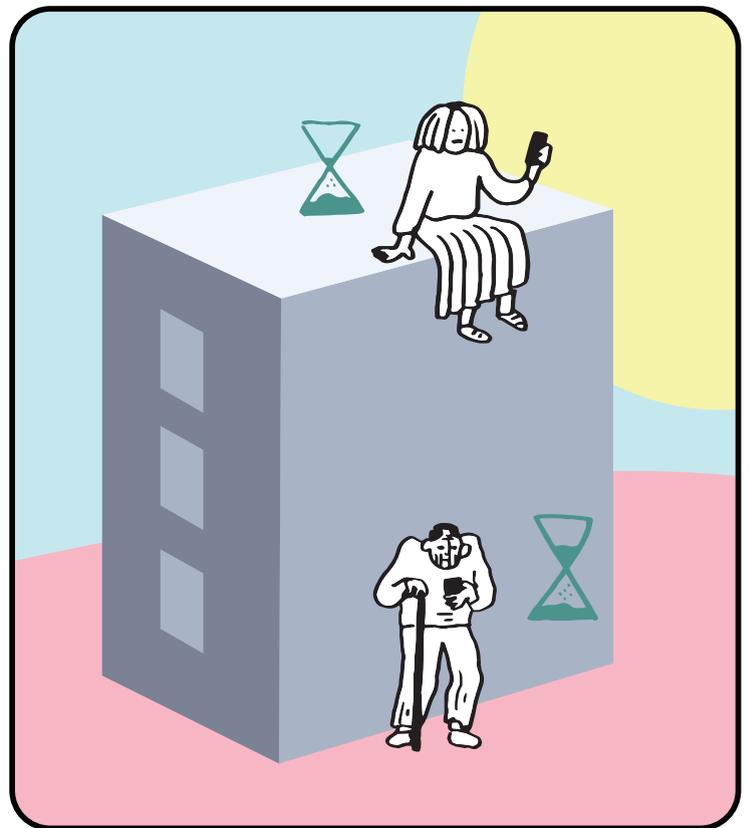
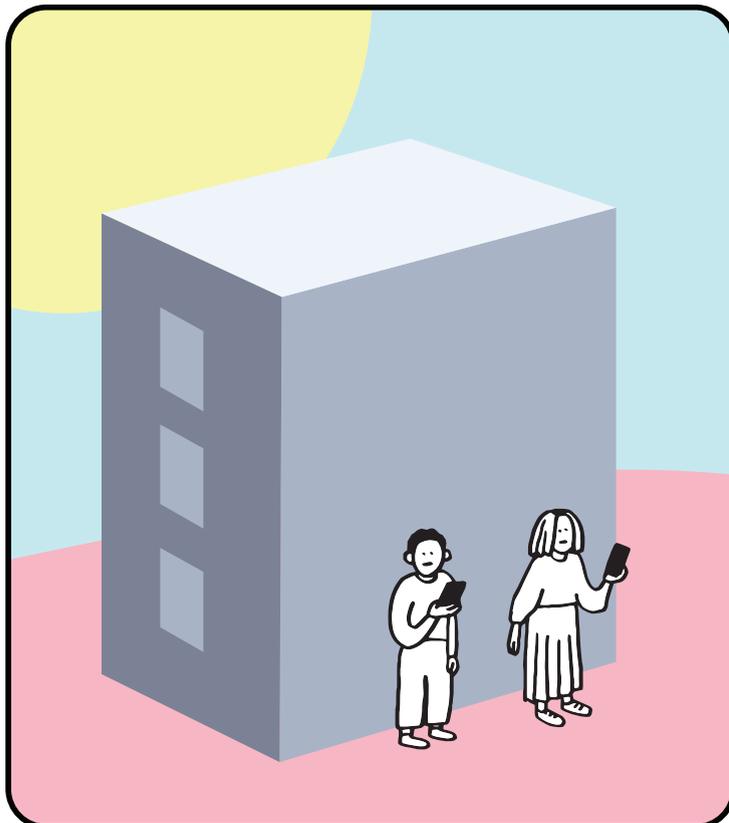
## Matériel



Capteur :  
**chronomètre**

2 smartphones

En bas du bâtiment, lancez les deux chronomètres, puis montez l'un des smartphones en haut du bâtiment. Attendez un certain temps, puis redescendez. Mesurez la différence de synchronisation entre les deux chronomètres due à la relativité générale.



$c$  = vitesse de la lumière,  
 $g$  = pesanteur,  
 $\delta t$  = différence entre les  
deux chronomètres,  
 $t$  = durée de l'expérience

*L'effet de la vitesse (paradoxe des jumeaux) est négligeable devant l'effet de la hauteur dans cette situation.*



Précision: maximale



Difficulté: minimale

# N°61.

# L'architecte

## Formule

$H = H$

## Matériel



Capteur :  
**téléphone**

1 smartphone



Téléphonez à l'architecte du bâtiment, et demandez-lui la hauteur.

Ce projet a été imaginé par Frédéric Bouquet (Université Paris-Saclay) et Giovanni Organtini (Sapienza Università di Roma, Italie).

La physique : Frédéric Bouquet, Giovanni Organtini, Julien Bobroff

La vidéo, les photos, les gif : Amel Kolli

Les illustrations et le graphisme : Anna Khazina

Ce projet a été porté par l'équipe « La Physique Autrement » de l'Université Paris-Saclay et du CNRS. Il a bénéficié du soutien de l'IDEX Paris-Saclay et de la Chaire « La Physique Autrement » portée par la Fondation Paris-Sud et soutenue par le groupe Air Liquide.