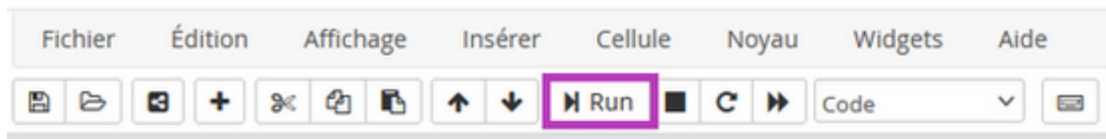


Incertitude-type sur la mesure de l'intensité du champ de pesanteur g

A- Présentation et utilisation d'un notebook Jupyter

Un notebook Jupyter est composé de deux types de cellules :

- des cellules contenant du texte qu'il est nécessaire de lire pour suivre correctement les consignes ;
- des cellules contenant du code Python qu'il est nécessaire d'exécuter **dans l'ordre d'apparition**. Pour exécuter une cellule sélectionnée (encadrée en vert), il faut cliquer sur le bouton **Run** dans le bandeau supérieur ou utiliser la combinaison de touches **Ctrl+Entrée**.



Sur la gauche d'une cellule contenant du code Python, il y a l'indication `In []`

- `In []` signifie que la cellule n'a pas été exécutée ;
- `In [*]` signifie que la cellule est en cours d'exécution. Soit il faut une action de votre part (saisie d'une valeur dans un Input, soit il faut donc patienter quelques secondes pour que tout le code s'exécute ;
- `In [n]` signifie que la cellule a été exécutée au rang n .

Aide à la programmation:

- Vous disposez d'une [aide](#) à la programmation en Python.
- Ne modifier que les parties du code contenant **--- A COMPLETER ---**

B - Calcul de l'intensité du champ de pesanteur g :

L'étude du mouvement du smartphone, lors de sa chute libre sans vitesse initiale, selon un axe vertical (Oz) dirigé vers le bas, nous a conduit à déterminer l'équation horaire de sa trajectoire:

$$z = \frac{1}{2}gt^2$$

Vous avez mesuré Δt la durée de la chute libre et h la hauteur de cette chute.

1. Noter ces valeurs dans la cellule suivante.

```
In [1]: # ----- A COMPLETER -----
        Δt = 9.10 - 8.51 # en secondes
        h = 1.68 # en m
```

1. Ecrire une partie de programme qui calcule et renvoie la valeur de l'intensité du champ de pesanteur g

```
In [2]: # ----- A COMPLETER -----
g = 2*h/dt**2      # Valeur de g calculée en m/s²
print("g = ", round(g, 3), "m.s⁻²")
```

$g = 9.652 \text{ m.s}^{-2}$

C - Incertitude-type sur g : $u(g)$

Le programme suivant permet de calculer l'incertitude-type $u(g)$ à partir de celle sur Δt : $u(\Delta t)$ et de celle sur h : $u(h)$. Pour cela il emploie la formule:

$$\left(\frac{u(g)}{g}\right)^2 = \left(\frac{u(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{2u(\Delta t)}{\Delta t}\right)^2$$

On rappelle que l'incertitude-type sur la mesure d'une grandeur X obtenue par une mesure unique est reliée à **la demi-étendue** des valeurs possibles pour cette mesure a par la formule:

$$u(X) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Remarque: C'est à cette demi-étendue que l'on fait référence quand on dit que l'on réalise une mesure avec une précision de $\pm a$.

1. En analysant les méthodes de mesures que vous avez employées, réaliser une estimation de $u(\Delta t)$ et de $u(h)$. Il faut justifier les choix opérés et noter ces valeurs dans la cellule suivante.

L'expression du résultat d'une mesure doit respecter les règles suivantes:

- L'incertitude-type s'écrit avec deux chiffres significatifs
- La valeur de la mesure s'écrit en faisant en sorte que sa dernière décimale soit à la même position que celle de l'incertitude-type.

1. Exécuter la cellule suivante et noter correctement l'expression du résultat de votre mesure.

```
In [3]: # ---- PARTIE A COMPLETER -----

u_dt = 0.01/3**0.5      # Incertitude-type u(Δt) en ms
u_h = 0.01/3**0.5      # Incertitude-type u(h) en m

# -----FIN DE LA PARTIE A COMPLETER -----
# Incertitude-type sur g
u_g = g * ((u_h/h)**2 + (2*u_dt/dt)**2)**0.5

#Ecriture du résultat
print("u(g) = {:.4f} m/s²".format(u_g))
```

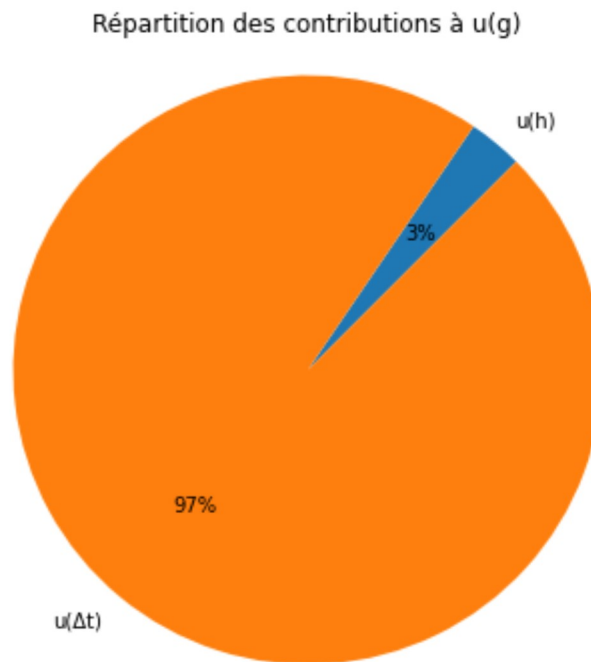
$$u(g) = 0.1918 \text{ m/s}^2$$

Répartitions des contributions à l'incertitude-type $u(g)$:

1. En analysant le diagramme qui s'affiche lorsque vous exécutez la cellule suivante, proposer une amélioration du dispositif de mesure qui permettrait de diminuer l'incertitude-type $u(g)$.

```
In [4]: #Calculs des contributions à la variance de u(g)
pourcent_u_h=(g*u_h/h)**2/u_g**2*100
pourcent_u_Dt=(2*g*u_Dt/Dt)**2/u_g**2*100

# Représentation graphique
import matplotlib.pyplot as plt
name = ['u(h) ', 'u(Dt) ']
data = [pourcent_u_h, pourcent_u_Dt]
plt.figure(figsize=(8,6))
plt.title("Répartition des contributions à u(g)".format(u_g))
plt.pie(data, labels=name, autopct='%1.0f%%', startangle=45)
plt.axis('equal')
plt.show()
```



D- Validation de la mesure

Pour évaluer la justesse d'une mesure, on compare le résultat de cette mesure X_{mes} d'incertitude $u(X)$ avec une valeur de référence X_{ref} en calculant le z-score z :

$$z = \frac{|X_{mes} - X_{ref}|}{u(X)}$$

On pourra dire que le résultat de la mesure est compatible avec la valeur de référence avec un niveau de confiance de 95% si $z \leq 2$.

1. Dans la cellule suivante, écrire un programme qui affiche la valeur du z-score et indique si votre mesure est compatible avec la valeur de référence ou non.

In [5]:

```
# ---- A COMPLETEUR -----
z = (9.81 - g)/u_g
if z < 0:
    z = -z
print('z = ', round(z,1))
if z <= 2:
    print('La mesure est validée.')
else:
    print("La mesure n'est pas validée.")
```

z = 0.8

La mesure est validée.

1. Maintenant que tout ou presque est automatisé, vous pouvez re-faire plusieurs essais pour tester la reproductibilité de votre protocole de mesure.

Quelques résultats:

Avec smartphone

Δt (s)	$\Delta t \pm a$ (s)	h (m)	h \pm a (m)	g (m/s ²)	u(g)	z	$\frac{u(g)}{g}$
1.950 - 1.300	0.01	2.01	0.01	9.52	0.20	0.9	2.1 %
9.10 - 8.51	0.01	1.68	0.01	9.65	0.19	0.8	2.0 %

Avec ESP32 + accéléromètre

Δt (s)	$\Delta t \pm a$ (s)	h (m)	h \pm a (m)	g (m/s ²)	u(g)	z	$\frac{u(g)}{g}$
1.944 - 1.304	0.005	2.005	0.01	9.77	0.093	0.5	0.95%
1.698 - 1.151	0.005	1.475	0.01	9.86	0.11	0.4	1.1%
1.337 - 0.745	0.004	1.745	0.01	9.958	0.084	1.8	0.84%

In []: