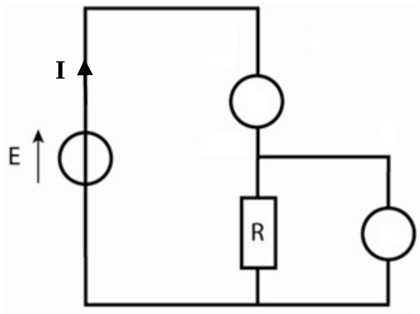
TP Physique 05 **BCPST 1C**

Déterminations expérimentales de la résistance d'un conducteur ohmique

*Le but de ce TP est de déterminer la valeur de la résistance **R** d'un conducteur ohmique de différentes manières.*

I- MESURE A PARTIR DU TRACE DE LA CARACTERISTIQUE DU CONDUCTEUR OHMIQUE

1) Le montage expérimental et les mesures



La caractéristique tension-courant d'un dipôle, c'est la courbe représentant la tension **U** entre ses bornes en fonction de l'intensité **I** du courant qui le traverse.

Pour tracer expérimentalement cette courbe, on utilisera un générateur de tension continue **E** réglable (dont on fera varier la valeur entre **– 5 V** et **+ 5 V**), de deux multimètres, du conducteur ohmique de résistance **R** inconnue et de fils de connexion. L'ensemble est agencé comme indiqué sur le montage ci-contre.

✍**1-** Compléter le schéma de ce montage en indiquant :
- où se trouvent l'ampèremètre et le voltmètre ;
- la flèche de tension **U** aux bornes du conducteur ohmique en convention récepteur ;
- où doivent se situer les bornes {**mA** ; **COM**} de l'ampèremètre et les bornes {**V** ; **COM**} du voltmètre pour que les valeurs affichées par ces appareils soient effectivement **I** et **U**.

☞ *Pour commencer, réaliser le montage sans le voltmètre et sans allumer le générateur.*
☞ *Rajouter le voltmètre dans un second temps.*

Appeler le professeur pour validation ou en cas de difficulté

✍**2-** On dispose d'un GBF comme générateur : à l'aide de la Fiche Technique 03 « *Le Générateur Basse Fréquence* », procéder aux réglages indiqués ci-dessous.

☞ *Appuyer sur le bouton* 9 *du GBF puis tourner le bouton* 17 *pour qu'il s'affiche* « **DC** » *en haut à droite de l'écran.*
☞ *Appuyer sur le bouton* 12 *du GBF puis tourner le bouton* 17 *pour qu'il s'affiche* « **5,0** » *en bas à gauche de l'écran.*

Dans la suite, la tension délivrée par le générateur variera entre – 5 V et + 5 V ; de plus, l'ensemble des mesures expérimentales nécessitera d'utiliser un ***unique calibre*** pour le voltmètre et un ***unique calibre*** pour l'ampèremètre.

☞ *Choisir le meilleur calibre pour le voltmètre et le noter ci-contre :* ________________________________
☞ *Appuyer sur le bouton* 12 *du GBF puis tourner le bouton* 17 *pour faire varier la tension indiquée par le GBF (valeur affichée en bas à gauche de l'écran) entre* **– 5** V *et* **+ 5 V**.
☞ *Observer alors la valeur affichée sur l'ampèremètre et en déduire le meilleur calibre de celui-ci. Le noter ci-contre :* ________________________________

Appeler le professeur pour validation ou en cas de difficulté

☞ *Afin de tracer la caractéristique demandée, choisir une dizaine de valeurs de* **E** *régulièrement réparties sur l'intervalle* [– 5 V ; + 5 V] *puis rassembler les valeurs de* **U** *et de* **I** *mesurées par les multimètres dans le tableau ci-dessous (préciser également les unités).*

E (en)										
U (en)										
I (en)										

2) Tracé de la caractéristique

On souhaite tracer le graphique **U = f(I)** à l'aide des mesures précédentes. Pour cela, nous allons utiliser une programmation Python disponible sur le lien suivant, envoyé par mail par votre professeur :

https://colab.research.google.com/drive/1_oyl6lB5mURV0wNOy6XKHT9Go3la6w4N

💻 *Compléter le fichier Python sur ce lien et dans les différents cadres ci-dessous en lisant attentivement les différentes consignes qui suivent.*

➡ **1ère étape : Enregistrement du fichier dans votre Google Drive**

Dans l'onglet "Fichier", cliquez sur "Enregistrer une copie dans Google Drive". Vous pouvez alors retrouver le fichier copié dans la partie "Colab Notebooks" de votre Google Drive et vous pourrez aussi modifier le fichier à souhaits.

➡ **2ème étape : Programme PYTHON pour tracer la caractéristique U = f(I)**

# Importation des bibliothèques utiles :	
……………………………………………………………	# Pour faire des calculs, des tableaux
……………………………………………………………	# Pour tracer des graphiques
# Tableau des différentes valeurs de tensions U et d'intensité du courant électrique I :	
U = ………………………………………………………..	# Tableau des différentes valeurs de U (en V)
I = ………………………………………………………..	# Tableau des différentes valeurs de I (en A)
N = ………………………………………………………..	# Formule qui calcule le nombre de valeurs de U dans le tableau précédent.
# Tracé du graphique U = f(I) :	
……………………………………………………………	# Choix des axes du graphique et du style de points
……………………………………………………………	# Titre de l'axe des abscisses
……………………………………………………………	# Titre de l'axe des ordonnées
……………………………………………………………	# Titre du graphique
……………………………………………………………	# Commande pour afficher le graphique

✍**3-** Exécuter le programme Python puis commenter la disposition des points sur le graphique : que dire de l'allure de la courbe tracée ? Que peut-on en conclure ? Quelle loi de la physique le conducteur ohmique étudié vérifie-t-il ?

3) Modélisation par une régression linéaire

Afin de vérifier que les points expérimentaux obtenus peuvent effectivement être décrits par une loi affine, il convient de réaliser une ***régression linéaire***. C'est une technique très utilisée en Sciences, qui permet de valider (ou d'invalider) une loi dans un premier temps, puis de déterminer des valeurs expérimentales de grandeurs en l'exploitant dans un second temps.

Lire la fiche ANNEXE traitant de la *Régression Linéaire*

Cette modélisation nécessite de calculer les *incertitudes* u(I) et u(U) sur l'intensité du courant et sur la tension électrique. On rappelle que l'*incertitude* **u(X)** de mesure de la grandeur **X** par un multimètre est donnée par la relation : $\boxed{\mathbf{u(X)} = \dfrac{\textbf{précision}}{\sqrt{3}}}$ où la *précision* dépend du multimètre utilisé et du calibre choisi pour chacun.

On admettra que pour les multimètres dont vous disposez et pour les calibres choisis, les précisions indiquées sur les notices des appareils sont les suivantes :

➔ **Multimètre MX 5060** : # Ampèremètre : 0,8 % de la lecture + 25 digits
Voltmètre : 0,05 % de la lecture + 25 digits

➔ **Multimètre FI 2803 MT** : # Ampèremètre : 0,5 % de la lecture + 3 digits
Voltmètre : 0,3 % de la lecture + 2 digits

➔ **Multimètre GDM 8135** : # Ampèremètre : 0,2 % de la lecture + 1 digit
Voltmètre : 0,1 % de la lecture + 1 digit

*Rappel : le « **DIGIT** » d'un appareil à affichage numérique est **la plus petite valeur affichable** par celui-ci pour un calibre donné.*
Par exemple, si un voltmètre indique **0,036 V**, *le digit vaut* **0,001 V**.

✍**4-** Connaissant le multimètre utilisé pour mesurer I et U, écrire la formule permettant de calculer :
- l'incertitude-type u(I) sur l'intensité du courant mesurée ;
- l'incertitude-type u(U) sur la tension mesurée.

💻 *Compléter la partie « Modélisation par une régression linéaire » du fichier Python précédent ainsi que dans les différents cadres ci-dessous en respectant les consignes de la fiche ANNEXE et la réponse à la question* **4-**.

# Régression linéaire	
p = ………………………………………………………	# Régression linéaire de U en fonction de I
U_reg = …………………………………………………	# Equation de la droite de régression linéaire en fonction de la pente p[0] et de l'ordonnée à l'origine p[1]
# Expression des incertitudes u(I) et u(U) sur l'intensité et la tension :	

```
u_I = ………………………………………………………     # Formule permettant de calculer u(I) en fonction des valeurs de I (voir la notice).
u_U = ………………………………………………………     # Formule permettant de calculer u(U) en fonction des valeurs de U (voir la notice).

# Superposition des points expérimentaux et de la droite de régression linéaire :
…………………………………………………………….     # Représentation de la droite de régression linéaire U_reg = f(I)
…………………………………………………………….     # Affichage des barres horizontales d'incertitude
…………………………………………………………….     # Affichage des barres verticales d'incertitude
plt.xlabel('I (en A)')     # Titre de l'axe des abscisses
plt.ylabel('U_reg (en V)')     # Titre de l'axe des ordonnées
plt.title('Représentation de U en fonction de I et droite de régression linéaire')     # Titre du graphique
plt.grid()     # Affichage d'une grille
plt.show()     # Affichage du graphique
```

✍**5-** Exécuter le programme Python puis commenter le graphique obtenu : la régression linéaire valide-t-elle le modèle affine ?

4) Détermination de la valeur de R

La proportionnalité entre U et I étant validée, on peut réaliser une étude statistique des différentes mesures expérimentales précédentes pour déterminer une valeur expérimentale de R avec son incertitude-type u(R).

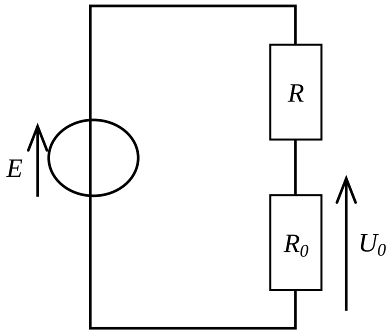
💻 *Compléter la partie « Modélisation par une régression linéaire » du fichier Python précédent ainsi que dans les différents cadres ci-dessous pour accéder à la valeur expérimentale de R avec son incertitude.*

```
# Calcul de la résistance R pour chaque couple de mesure {I, U} :
R = ………………………………………………………     # Ecrire la formule permettant de calculer R en fonction de I et de U

# Calcul de la valeur moyenne, de l'écart-type et de l'incertitude-type de R :
R_moy = …………………………………………………     # Formule pour calculer la valeur moyenne des différentes valeurs de R
ecart_R = ………………………………………………..     # Formule pour calculer l'écart-type des différentes valeurs de R
u_R = ……………………………………………………..     # Formule pour calculer l'incertitude-type sur la moyenne de R

# Affichage de la valeur moyenne et de l'incertitude-type de R :
print('Valeur moyenne de R (en Ohm) = ', …………….)     # Affiche la valeur moyenne de R
print('Incertitude type sur R (en Ohm) = ', …………….)     # Affiche l'incertitude-type sur R
```

✍**6-** Proposer une écriture du résultat expérimental de cette première mesure de résistance, notée $\mathbf{R_1}$ (valeur accompagnée de son incertitude $\mathbf{u(R_1)}$ exprimée avec un nombre de chiffres significatifs raisonnable et une unité).

II- Mesure indirecte a l'aide d'un pont diviseur de tension

La valeur de la résistance R peut être déterminée de façon indirecte en mesurant la tension électrique U_0 aux bornes d'un autre conducteur ohmique de résistance R_0 connue placée en série avec la résistance R. Pour cela, on branche les conducteurs ohmiques de résistances respectives R et R_0 en série avec un générateur délivrant une tension continue E ≈ 5 V. Puis, à l'aide de deux voltmètres, on mesure la tension exacte E délivrée par le générateur et la tension U_0 aux bornes du conducteur ohmique de résistance R_0.



✍**7-** Compléter le schéma du circuit ci-contre en indiquant comment brancher les deux voltmètres.

✍**8-** Rappeler l'expression de U_0 en fonction de E, R et R_0. En déduire l'expression de R en fonction de U_0, E et R_0.

☝ *Sans allumer le générateur, réaliser ce montage avec un conducteur ohmique de résistance* $\mathbf{R_0}$ = …………………… .

Appeler le professeur pour validation !

✋ *Allumer le générateur, réaliser les mesures attendues puis éteindre le générateur.*

✍**9-** Noter le nom du multimètre utilisé pour déterminer chaque tension, le calibre choisi et les valeurs de **E** et de $\mathbf{U_0}$ mesurées.

✍**10-** A l'aide des extraits de notice des multimètres (voir au-dessus de la question **4-**), déterminer les précisions **p(E)** et $\mathbf{p(U_0)}$ de ces mesures et en déduire les incertitudes-types **u(E)** et $\mathbf{u(U_0)}$.

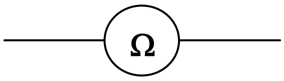
✍**11-** En déduire une deuxième valeur de la résistance R (notée $\mathbf{R_2}$) en l'accompagnant de son incertitude $\mathbf{u(R_2)}$ exprimée avec un nombre de chiffres significatifs raisonnable et une unité (on négligera l'incertitude sur la valeur de $\mathbf{R_0}$).

<u>Rappel</u> : Formule des incertitudes composées

Somme	$G = X + Y$	$u(G) = \sqrt{u^2(X) + u^2(Y)}$
Différence	$G = X - Y$	
Produit	$G = X \times Y$	$u(G) = G \times \sqrt{\left(\frac{u(X)}{X}\right)^2 + \left(\frac{u(Y)}{Y}\right)^2}$
Rapport	$G = \frac{X}{Y}$	
Relation affine	$G = a \times X + b$	$u(G) = \lvert a \rvert \times u(X)$

III- MESURE DIRECTE A L'AIDE D'UN OHMMETRE

C'est finalement la méthode la plus simple par laquelle nous terminons ! Elle consiste à déterminer la valeur de la résistance inconnue à l'aide d'un ohmmètre dont le symbole est le suivant.



Les deux bornes COM et V de l'ohmmètre doivent être placées de part et d'autre du conducteur ohmique ; quant au choix du calibre, on procède comme pour un ampèremètre ou pour un voltmètre : on commence en général par le plus grand disponible, puis on le diminue jusqu'à ce que la mesure devienne impossible : le meilleur calibre est alors celui immédiatement supérieur.

L'incertitude **u(R)** sur cette méthode de mesure est donnée par la relation : **u(R) =** $\frac{\textbf{précision}}{\sqrt{3}}$ où la précision dépend du multimètre utilisé et du calibre choisi pour chacun :

➔ **<u>Multimètre MX 5060</u>** utilisé en tant qu'ohmmètre : 0,2 % de la lecture + 20 digits ;

➔ **<u>Multimètre FI 2803 MT</u>** : utilisé en tant qu'ohmmètre : 0,5 % de la lecture + 2 digits.

✋ *Réaliser le montage puis la mesure en choisissant le meilleur calibre sur l'ohmmètre.*

✍**12-** Noter le nom du multimètre utilisé, le calibre choisi et la troisième valeur de résistance $\mathbf{R_3}$ mesurée.

✍**13-** Déterminer la précision $\mathbf{p(R_3)}$ de cette mesure et en déduire l'incertitude-type $\mathbf{u(R_3)}$.

✍**14-** Proposer une écriture du résultat expérimental de cette troisième mesure $\mathbf{R_3}$ en l'accompagnant de son incertitude $\mathbf{u(R_3)}$ exprimée avec un nombre de chiffres significatifs raisonnable et une unité.

✍**15-** Comparer $\mathbf{R_1}$ avec $\mathbf{R_3}$ puis $\mathbf{R_2}$ avec $\mathbf{R_3}$.

ANNEXE : Principe de la REGRESSION LINEAIRE

Imaginons qu'un modèle théorique prédise que deux grandeurs physiques **x** et **y** sont reliées par une fonction affine s'écrivant mathématiquement sous la forme **y = f(x) = ax + b** ; on rappelle que dans cette écriture, **a** est la pente (ou coefficient directeur) et **b** l'ordonnée à l'origine.

Imaginons d'autre part qu'on dispose expérimentalement de plusieurs couples de valeurs **{x_n ; y_n}**. Pour vérifier si ces mesures sont en accord avec le modèle théorique affine, on va réaliser une régression linéaire.

◆ 1ère étape : Tracé de la « meilleure droite »

- On porte les différents couples de valeurs **{x_n ; y_n}** sur le graphique **y = f(x)** :

Si ces points ne semblent pas alignés, on ne trace pas de droite de régression linéaire (mais d'autres modèles pourraient convenir comme des paraboles, des exponentielles …)

Si ces points semblent alignés, on trace une droite de régression linéaire en choisissant la « meilleure droite » : il s'agit de celle qui passe au plus près des points expérimentaux : cette droite doit passer par un maximum de points expérimentaux et, si des points expérimentaux ne sont pas sur cette droite, il doit y avoir autant de points expérimentaux au-dessus de celle-ci qu'en-dessous.

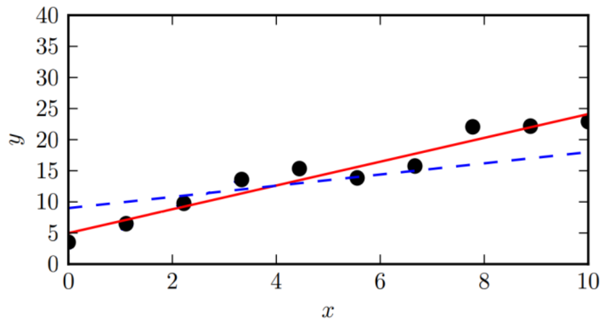


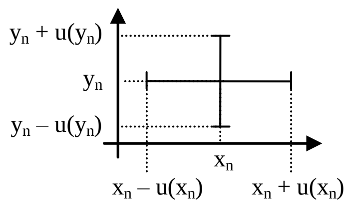
Figure 1 – Illustration de la « meilleure droite » de régression linéaire
La droite en traits pleins est celle qui passe au plus près des points noirs.
La droite pointillée n'est pas convenable car il y a plus de points expérimentaux au-dessus de celle-ci qu'en-dessous.

python Pour tracer la ***droite de régression linéaire* y = f(x)** à partir de couples de valeurs **{x_n ; y_n}**, il faut écrire les lignes de programme ci-dessous :

- **p = np.polyfit(X,Y,1)** # Ligne de programme qui crée un polynôme de degré 1 (donc de type **y = ax + b**).
- **y_reg = p[0]*x + p[1]** # Ligne de programme qui calcule les valeurs de y selon le modèle de la régression linéaire, **p[0]** représentant le coefficient directeur de la droite de régression linéaire et **p[1]** son ordonnée à l'origine.
- **plt.plot(x, y_reg,'r:')** # Ligne de programme qui affiche la droite de régression linéaire **y_reg = f(x)** sous la forme d'une droite pointillée rouge (r:).

◆ 2ème étape : Validation (ou invalidation) du modèle affine

Le but de cette étape est de savoir si la droite tracée dans la 1ère étape est valide ou non. Pour cela, il faut tenir compte du fait que toutes les valeurs expérimentales **x_n** et **y_n** sont respectivement entachées d'une incertitude **u(x_n)** et **u(y_n)**.



On va alors remplacer chaque point expérimental **{x_n ; y_n}** par une croix constituée d'une ***barre d'incertitude horizontale*** tracée entre **x_n – u(x_n)** et **x_n + u(x_n)** et d'une ***barre d'incertitude verticale*** tracée entre **y_n – u(y_n)** et **y_n + u(y_n)**.

On superpose ensuite la droite de régression linéaire tracée précédemment à l'ensemble des croix associées à chaque point expérimental. **La régression linéaire sera validée si la droite qui lui est associée intercepte au moins une des deux barres d'incertitude pour TOUS les points expérimentaux**.

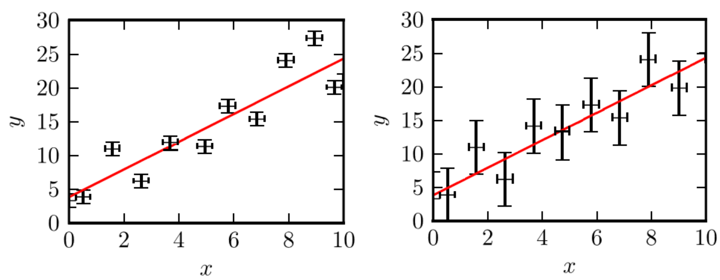


Figure 2 – Validation (ou invalidation) de la régression linéaire.
La régression linéaire de gauche n'est pas validée car trop peu de points expérimentaux ont leurs barres d'incertitudes interceptées par la droite de régression linéaire.
La régression linéaire de droite est validée car tous les points expérimentaux ont au moins une de leur barre d'incertitude interceptée par la droite de régression linéaire.

python Pour afficher les ***barres d'incertitude horizontale et verticale*** sur chaque point expérimental **{x_n ; y_n}**, il faut écrire les lignes de programme ci-dessous :

- **u_x = ………** # Ligne de programme qui indique comment calculer l'incertitude-type **u(x)** sur l'abscisse X.
- **u_y = ………** # Ligne de programme qui indique comment calculer l'incertitude-type **u(y)** sur l'ordonnée Y.
- **plt.errorbar(x, y, xerr = 2*u_x, fmt = 'b,')** # Ligne de programme qui trace la **barre d'incertitude horizontale de largeur 2 u(x)** pour chaque point expérimental.
- **plt.errorbar(x, y, yerr = 2*u_y, fmt = 'b,')** # Ligne de programme qui trace la **barre d'incertitude verticale de largeur 2 u(y)** pour chaque point expérimental.