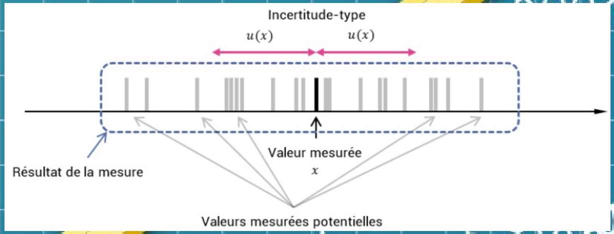
Utilisation de Python en 2nde et 1ère spécialité pour le traitement des incertitudes de mesure.

Clément CABANAC, Lycée Pablo Neruda, Saint Martin d'Hères

GEPHYX, 5-6 Juillet 2023



Que dit le BO sur le incertitudes ?

2nde

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type. Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes. **Capacité numérique** : Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur.
Incertitude-type.	Expliquer qualitativement la signification d'une incertitude-type et l'évaluer par une approche statistique.
Écriture du résultat. Valeur de référence.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.

1ère SPÉ

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type. Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes. **Capacité numérique** : Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur.
Incertitude-type.	Définir qualitativement une incertitude-type. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
Écriture du résultat. Valeur de référence.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.

Terminale SPÉ

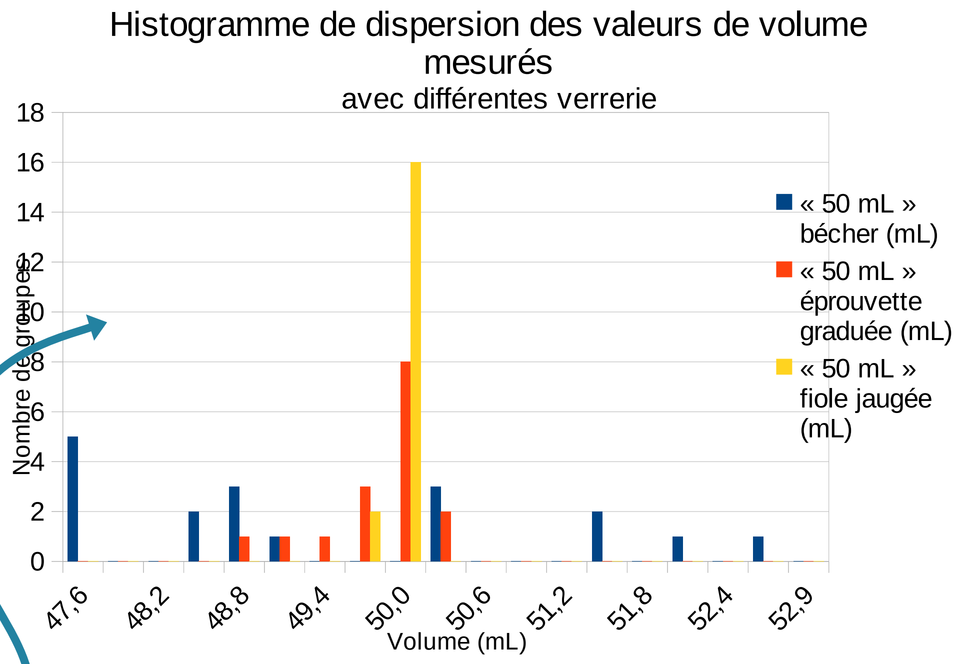
Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type. Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes. **Capacité numérique** : Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur ou d'un langage de programmation.
Incertitude-type.	Définir qualitativement une incertitude-type. Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une approche statistique (évaluation de type A). Procéder à l'évaluation d'une incertitude-type par une autre approche que statistique (évaluation de type B).
Incertitudes-types composées.	Évaluer, à l'aide d'une formule fournie, l'incertitude-type d'une grandeur s'exprimant en fonction d'autres grandeurs dont les incertitudes-types associées sont connues. **Capacité numérique** : Simuler, à l'aide d'un langage de programmation, un processus aléatoire illustrant la détermination de la valeur d'une grandeur avec incertitudes-types composées.
Écriture du résultat. Valeur de référence.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure. Comparer, le cas échéant, le résultat d'une mesure m_{mes} à une valeur de référence m_{ref} en utilisant le quotient $\frac{\vert m_{mes}-m_{ref}\vert}{u(m)}$ où $u(m)$ est l'incertitude-type associée au résultat.

Que dit le BO sur le incertitudes ?

2^{nde}	$1^{ère}$ SPÉ	Terminale SPÉ
Faire comprendre : 1 mesure de X = série de valeurs obtenues • **Tracé d'histogramme** • Calcul de moyenne $\overline{X}$, (écart-type s(X)) • Approche qualitative de u($\overline{X}$) • Comparaison <u>qualitative</u> avec valeur de référence	Idem 2^{nde} , avec en + : • Distinction entre approche statistique de mesure de X (type « A ») et une seule valeur accessible de X (type « B ») • Écriture du résultat • Comparaison <u>qualitative</u> avec valeur de référence (z-score éventuellement même si Terminale normalement)	Idem $1^{ère}$ Spé, avec en + : • Incertitudes composées u(A(X,Y)). (Utilité en pratique ? Voir diapos en +...) • Simulation numérique de la série des valeurs de A(X,Y) obtenues connaissant u(X) et u(Y) par tirage Monte-Carlo des valeurs de X et de Y. • Comparaison <u>quantitative</u> avec référence : Z-score.

En 2nde : histogrammes !

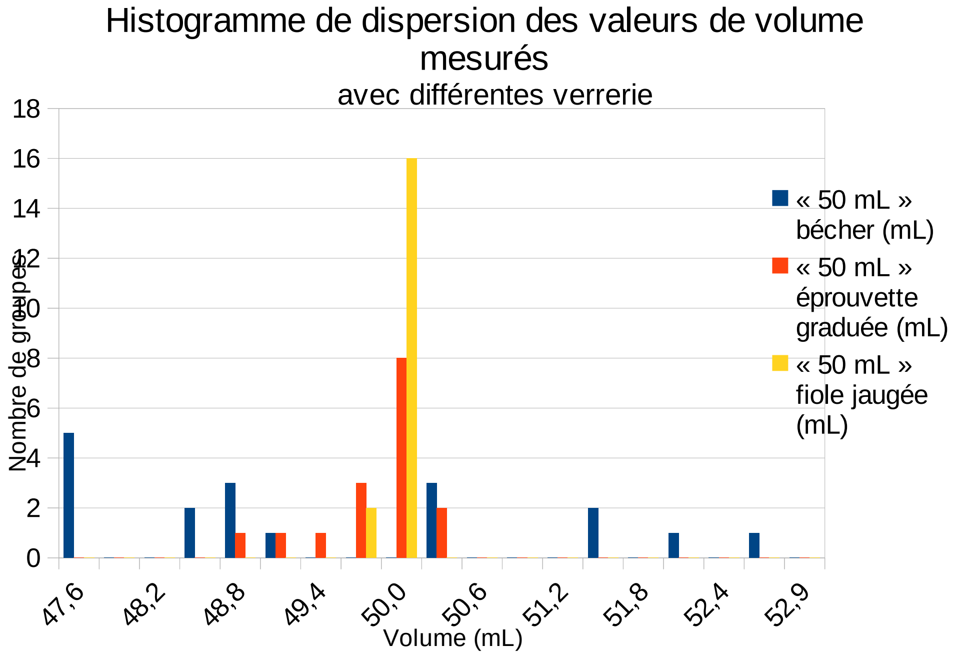
- Exemples d’activité : TP Verrerie
- Bécher/éprouvette/fiole jaugée : 50 mL
- 2 prises de mesures pour chaque type de verrerie par binôme.
- Mise en commun classe
- Histogramme : utilisation d’un tableur ?



En 2nde : histogrammes !

- Inconvénient tableur :
  - Sous Libreoffice : utilisation de la fonction fréquence pas aisée avec élèves...

  - Sous Excel, plus facile mais choix des *classes* de rangement de l'histogramme à faire à la main (sous Libreoffice aussi).
  - Diagramme en bâton représenté



Sous Python : facile !

- Les deux seules bibliotèques utiles : numpy (toutes les fonctions pour le calcul numérique) et matplotlib (pour le tracé de courbes, graphes, histogrammes).
- LA ligne de code :

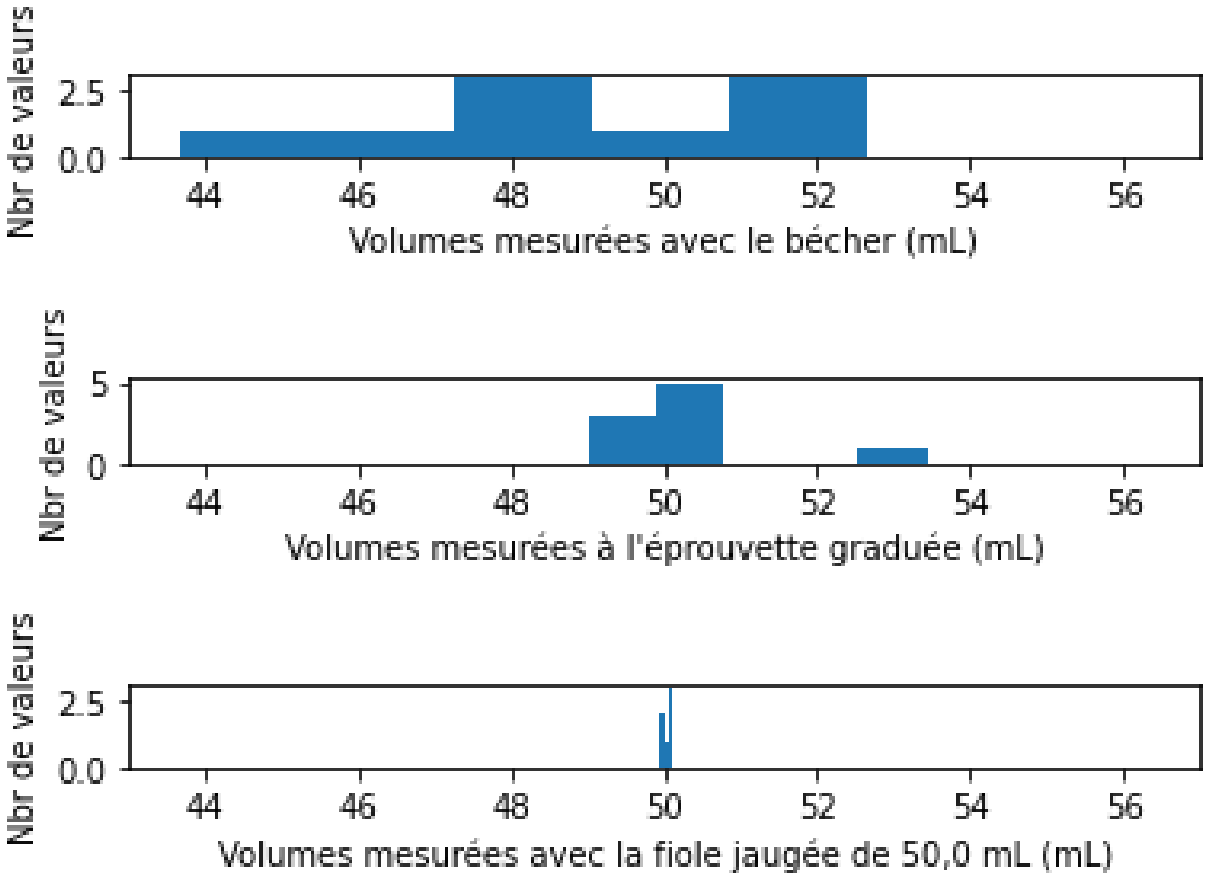
`plt.hist(X,bins='`*`rice`*`')`

- Exemple :

```
V_bechers = np.array([48.77,52.41,51.45,50.21,46.71,43.43,48.78,48.44,51.28])
V_eprouv = np.array([49.75,49.13,49.94,49.61,49.80,53.18,49.87,48.75,50.20])
V_fiolej = np.array([49.73,49.84,49.78,49.80,49.72,49.74,49.82,49.70,49.78])
plt.hist(V_bechers,bins = 'rice')
plt.hist(V_eprouv,bins = 'rice')
plt.hist(V_fiolej,bins = 'rice')
plt.show()
```

Sous Python : facile !

Résultats :



Que demander aux élèves ?

- Donner le code prérempli !!!
- Compléter seulement :
  - Les valeurs de volume obtenues à insérer :

    ```
    V_bechers = np.array([...,...,...]) # A COMPLETER
    ```
  - Eventuellement l'argument de plt.hist :

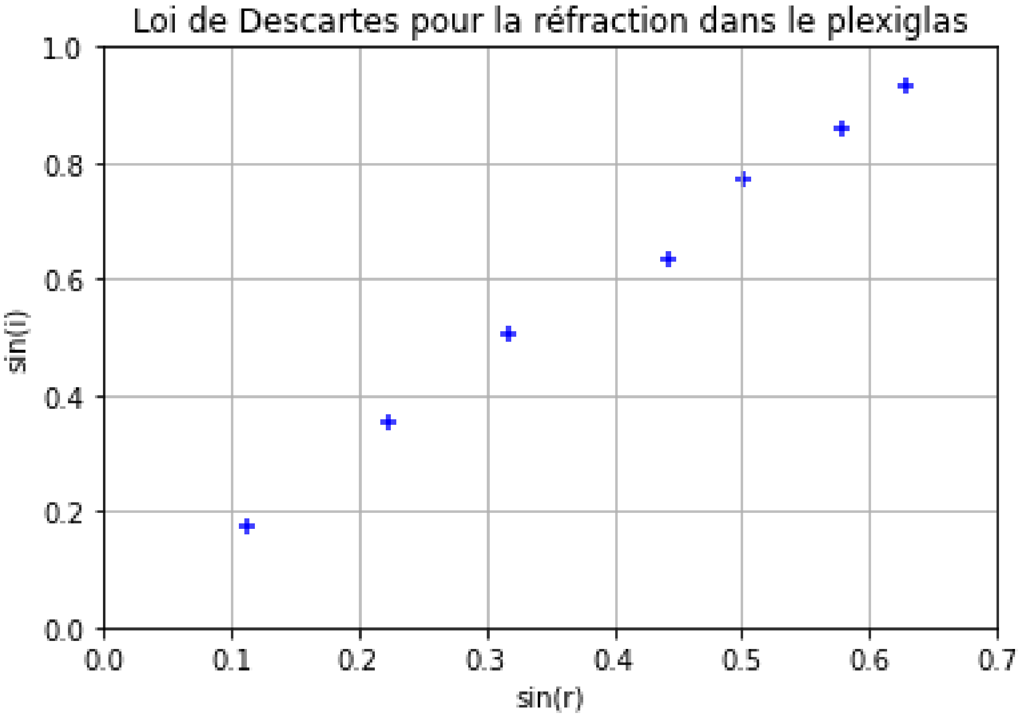
    ```
    plt.hist(...,bins = 'rice') # A COMPLETER
    ```
  - Noms des axes
- Comparaison avec valeurs de référence : tracé d'une droite verticale dans l'histogramme
- Introduction qualitative de l'incertitude-type comme largeur « typique » de l'histogramme.

Autre exemple en 2nde : TP « réfraction »

TP classique : mesure angle de réfraction *r* et angle d'incidence *i*, air/plexiglas.

- Tracé de sin(*i*) = f(sin(*r*)) : simple avec Python ou sur papier millimétré
- Attention : pavé dans le mare du professeur de PC de lycée…

```
plt.scatter(sin_r,sin_i,c="blue, marker='+')
```



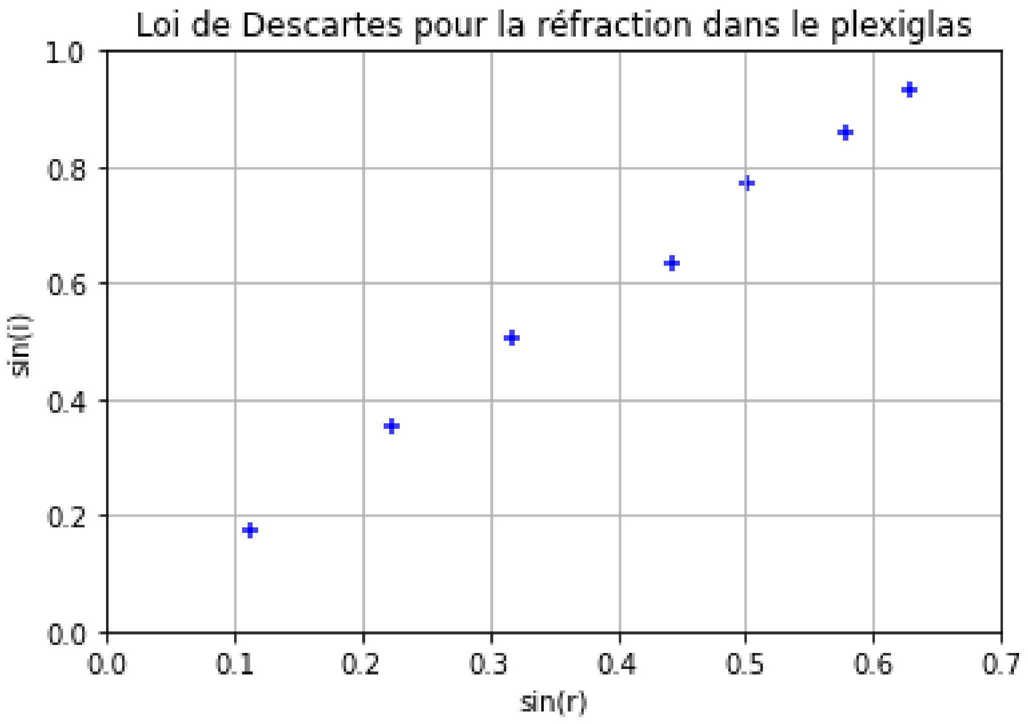
Autre exemple en 2nde : TP « réfraction »

TP classique : mesure angle de réfraction *r* et angle d'incidence *i*, air/plexiglas.

- Tracé de sin(*i*) = f(sin(*r*)) : simple avec Python ou sur papier millimétré
- Attention : pavé dans le mare du professeur de PC de lycée...

Régression linéaire pas au programme du lycée !!!

```
plt.scatter(sin_r,sin_i,c="blue, marker='+')
```

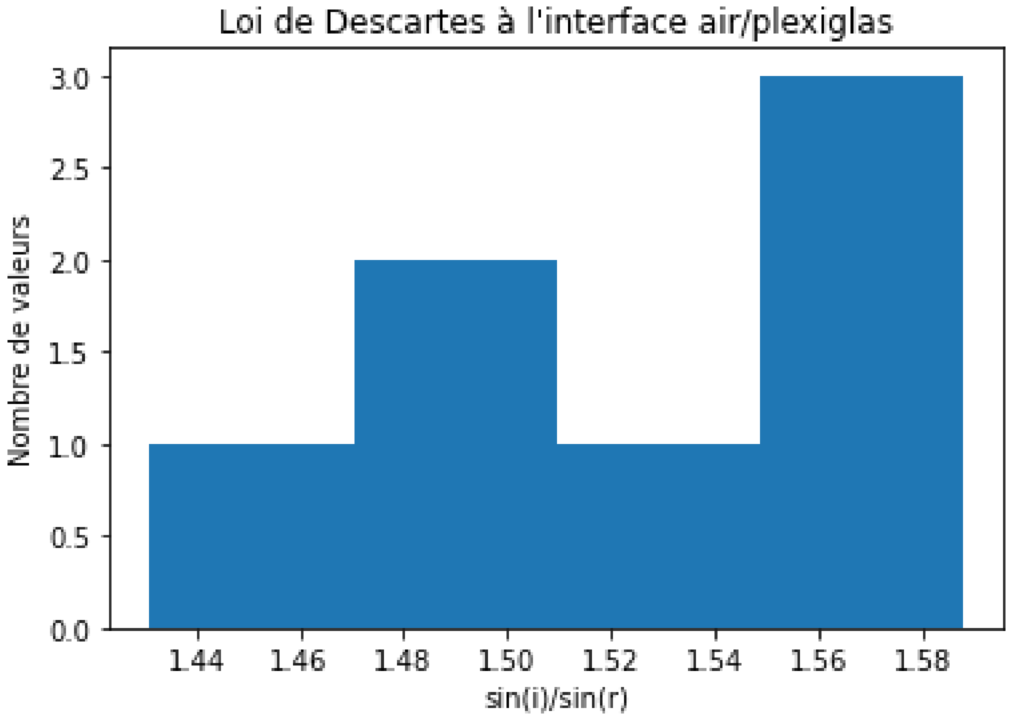


Autre exemple en 2nde : TP « réfraction »

<u>Raison principale</u> : incertitude sur coefficient directeur + ordonnée à l'origine ?

- Certains logiciels le font mais boîte noire
- Beaucoup plus simple : pour loi linéaire : tracer histogramme de Y/X, ici sin(i)/sin(r)
- Comparaison avec valeur de référence en traçant ligne verticale ($n_{plexiglas}$ = 1,51)

```
plt.hist(sin_i/sin_r,bins='rice')
```

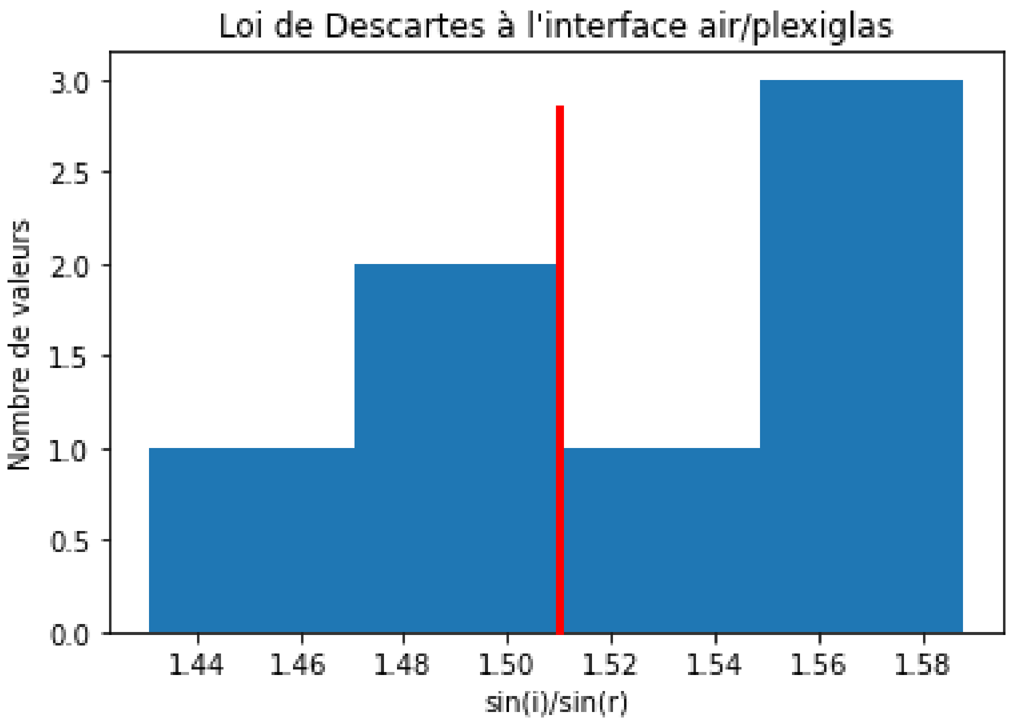


Autre exemple en 2nde : TP « réfraction »

<u>Raison principale</u> : incertitude sur coefficient directeur + ordonnée à l'origine ?

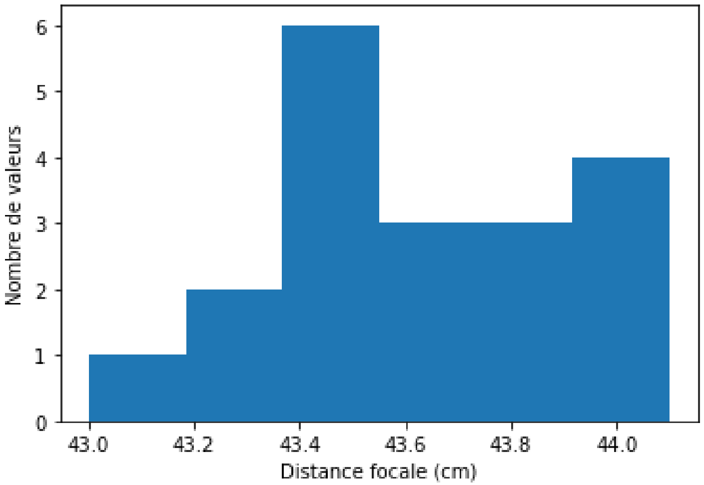
- Certains logiciels le font mais boîte noire
- Beaucoup plus simple : pour loi linéaire : tracer histogramme de Y/X, ici sin(i)/sin(r)
- Comparaison avec valeur de référence en traçant ligne verticale ($n_{plexiglas}$ = 1,51)

```
plt.hist(sin_i/sin_r,bins='rice')
```



En 1ère Spé : TP focométrie

- Prétexte : mesure de distance focale par autocollimation pour aborder incertitudes niveau première.
- 2 parties : type B puis type A
- Pour incertitude type A, utilisation de Python pour calculer, sur 20 valeurs indépendantes :
  - Distance focale moyenne : $\overline{f'}$: `Moyenne = np.average(valeurs_f_prim)`
  - Écartype sur les 20 valeurs : ***s(f')*** : `Ecartype = np.std(valeurs_f_prim,ddof=1)`
  - Incertitude type sur la valeur moyenne : `incert = Ecartype/np.sqrt(20)`



$$u(\overline{f'}) = \frac{s(f')}{\sqrt{20}}$$

```
La valeur moyenne de la distance focale vaut :  43.636842105263156
cm
avec un écart-type de :  0.30949874585240345  cm
L'incertitude-type sur la valeur moyenne de f' vaut :
0.07100388191174761  cm
```

En 1ère Spé : TP focométrie

Que demande-t-on aux élèves ?

- Code prérempli !!!
- Entrée des 20 valeurs de f' :

```
valeurs_f_prim = np.array([ ..., ... ,…]) # A COMPLETER
```

- Entrée des arguments dans le calcul de la moyenne et de l'écart-type :
  - `Moyenne = np.average(...) # A COMPLETER`
  - `Ecartype = np.std(...,ddof=1) # A COMPLETER`
- Ecriture du résultat (chiffres significatifs adéquats))

```
La valeur moyenne de la distance focale vaut :  43.636842105263156
cm
avec un écart-type de :  0.30949874585240345  cm
L'incertitude-type sur la valeur moyenne de f' vaut :
0.07100388191174761  cm
```

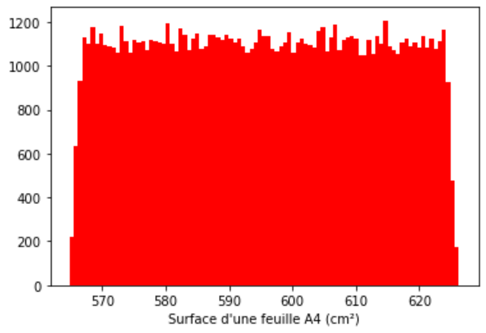
En 1ère Spé : autres TPs

- TP *champ dans un condensateur* :
  - Mesure de tensions U et distances d aux plaques différentes.
  - Estimation d’une dizaine de valeurs de $E = U/d$
  - Avec Python, calcul de $\overline{E}$, s(E), puis u($\overline{E}$).
- TP *« mesure » de la constante de Planck* : mal nommé. Mais :
  - Avec LED de différentes couleurs, tracé de caractéristiques $I = f(U)$
  - Tension de seuil minimale U_0 nécessaire pour émission d’un photon d’énergie $h\nu \rightarrow e.U_0 = h.\nu \rightarrow h = e.U_0/\nu$.
  - 6 LED, 6 valeurs de U_0 et donc 6 « valeurs » de h.
  - Python : $\overline{h}$, s(h), puis u($\overline{h}$).
  - Calcul du z-score

Bilan :

- Python outil « couteau suisse » à (presque) tout faire
- Facile de traiter ensemble de données à la volée grâce aux numpy.array.
- Retour élève plutôt bons : ils ne sont pas déstabilisés (rappel : programmation en Scratch au collège), au contraire du traitement avec tableurs !!!
- En Terminale, très facile de simuler des incertitudes composées (de même ordre de grandeurs, cf après):

```
largeur = np.random.uniform(19.05,21.05,100000)
hauteur = np.random.uniform(29.65,29.75,100000)
surface_A4 = largeur*hauteur
```

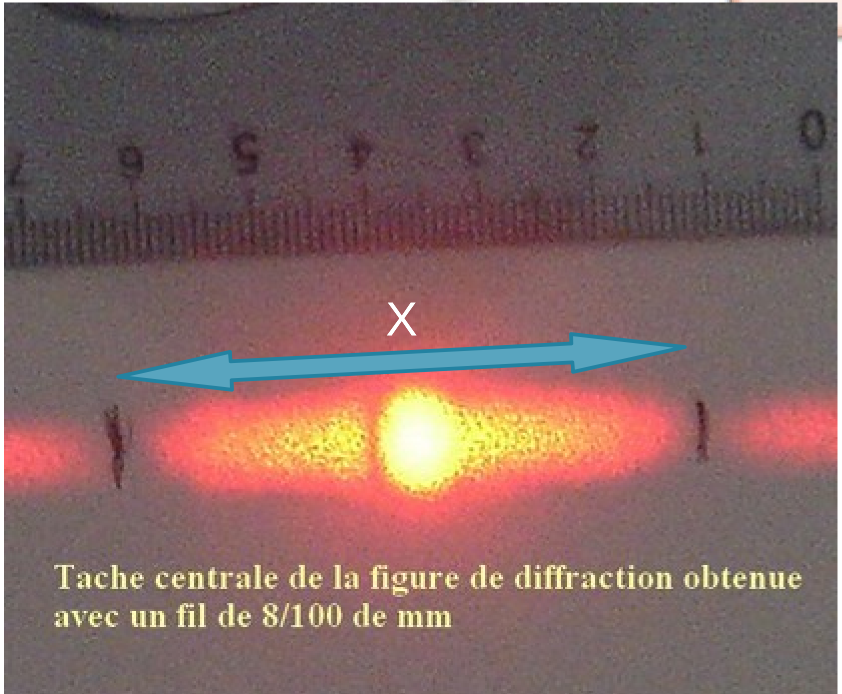


- Très adapté pour les calculs d'incertitudes, tracé de graphes, etc.

Merci !

Utilité des incertitudes composées en Terminale ?

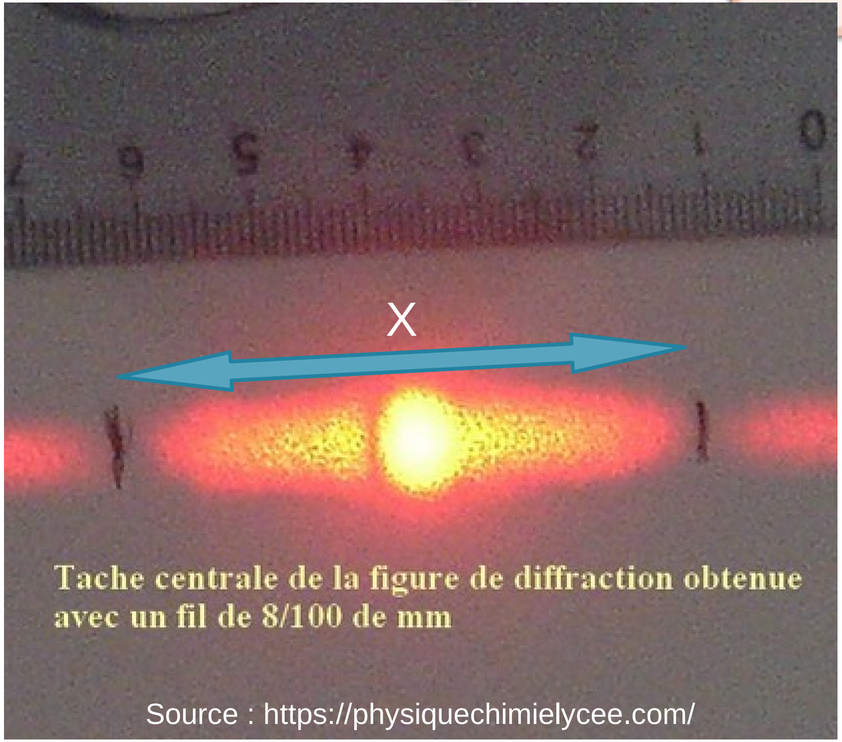
- Exemple : $$X=2\frac{\lambda\cdot d}{a}\Leftrightarrow a=\frac{\lambda\cdot d}{2X}$$
- Normalement, BO : $$\frac{u(a)}{a}=\sqrt{\left(\frac{u(X)}{X}\right)^2+\left(\frac{u(d)}{d}\right)^2}$$
- En pratique :
  - $X\simeq qqs\ \ cm,\ u(X)=2-3\,mm$
    $d\simeq qqs\ \ m,\ u(d)\simeq 1\,mm$
    $$\Rightarrow\frac{u(X)}{X}\simeq 10\,\%\ \ ;\ \ \frac{u(d)}{d}\simeq 0{,}1\,\%$$
    $$\sqrt{\left(\frac{u(X)}{X}\right)^2+\left(\frac{u(d)}{d}\right)^2}\simeq\ldots 10\,\%\,!$$



Source : https://physiquechimielycee.com/

Utilité des incertitudes composées en Terminale ?

- Exemple : $$X = 2\frac{\lambda \cdot d}{a} \Leftrightarrow a = \frac{\lambda \cdot d}{2X}$$
- Normalement, BO : $$\frac{u(a)}{a} = \sqrt{\left(\frac{u(X)}{X}\right)^2 + \left(\frac{u(d)}{d}\right)^2}$$
- En pratique :
  - $$X \simeq qqs\ \ cm,\ u(X) = 2-3\,mm$$ $$d \simeq qqs\ \ m,\ u(d) \simeq 1\,mm$$ $$\Rightarrow \frac{u(X)}{X} \simeq 10\,\%\ \ ;\ \ \frac{u(d)}{d} \simeq 0{,}1\,\%$$ $$\sqrt{\left(\frac{u(X)}{X}\right)^2 + \left(\frac{u(d)}{d}\right)^2} \simeq \ldots 10\,\%\,!$$



UNE DES DEUX GRANDEURS MESURÉES A UNE INCERTITUDE RELATIVE BIEN PLUS GRANDE !

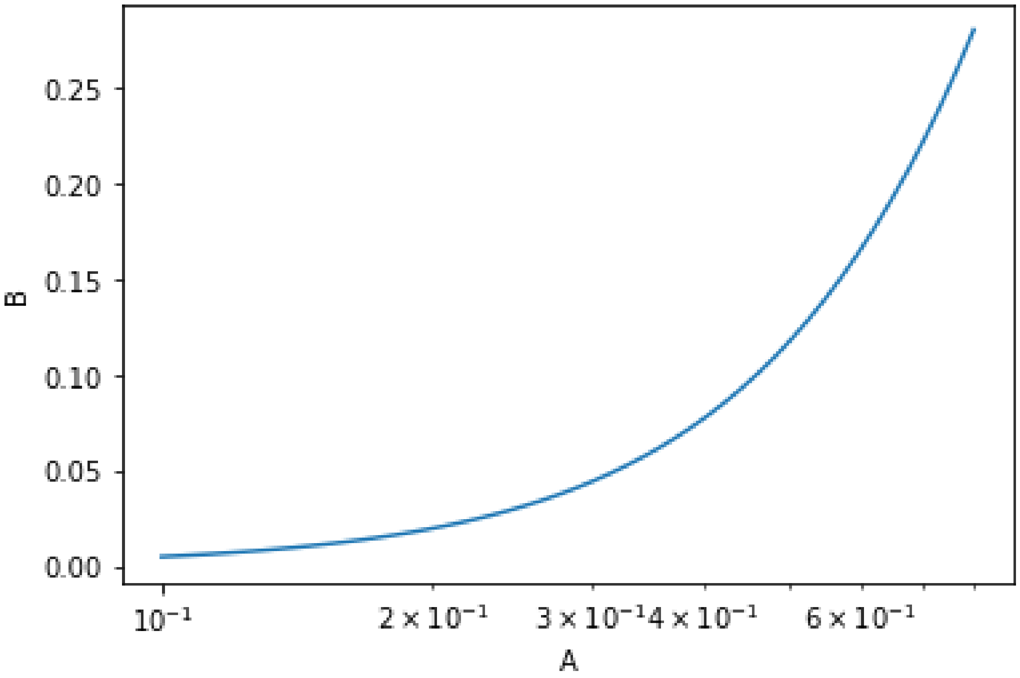
Utilité des incertitudes composées en Terminale ?

- Généralisation à l'aide de... Python !
- Evaluation de la différence entre valeur calculée avec la « formule » donnée et celle obtenue simplement avec l'incertitude relative la plus grande.
- Evaluation et tracé de :

$$B=f(A)=\sqrt{1+A^2}-1$$

(A = rapport des incertitudes relatives de deux grandeurs mesurées X et Y)

A	50 %	25 %	10 %	5 %
B	12 %	3 %	0,5 %	0,1 % !!!



Utilité des incertitudes composées en Terminale ?

- Généralisation à l'aide de... Python !
- Evaluation de la différence entre valeur calculée avec la « formule » donnée et celle obtenue simplement avec l'incertitude relative dominante :
- Evaluation et tracé de :

$$B=f(A)=\sqrt{1+A^2}-1$$

(A = rapport des incertitudes relatives de deux grandeurs mesurées X et Y)

A	50 %	25 %	10 %	5 %
B	12 %	3 %	0,5 %	0,1 % !!!

<u>Proposition</u> de message aux élèves :
« Si l'incertitude-type relative d'une grandeur *Y* est inférieure à 1/4 de celle d'une grandeur *X*, alors on pourra considérer la contribution de *Y* à l'incertitude relative totale sur une grandeur Z(X,Y) comme négligeable »