CHAPITRE 1

Introduction mes-ncin.1 [1 - B. Ischi 08-09]

1. Aperçu historique mes-ncin.2

mes-ncin.3 Selon l'étymologie, la physique, du grec *physikos*, constitue la science de la nature. Elle a pour but l'étude des propriétés de la matière et des lois qui la régissent, c'est-à-dire de l'ensemble des phénomènes du monde qui nous entoure. Cette définition est large, elle englobe d'autres sciences, comme la chimie ou la biologie, et la frontière, souvent floue, entre la physique et ces autres disciplines est déterminée par la nature des phénomènes étudiés. En raison de la complexité des phénomènes naturels, les physiciens et physiciennes se sont toujours limités aux systèmes les plus simples possible pour être en mesure d'énoncer des principes généraux.

mes-ncin.4 Pour finir ce préambule, citons quelques faits qui ont marqué l'histoire de la physique et qui illustrent la diversité des chemins menant aux grands bouleversements de la physique. Ils seront commentés pendant le cours.

- 1687 Newton publie les *Principia mathematica* qui contiennent la théorie de la gravitation.
- 1814 Fresnel effectue des expériences de diffraction et développe la théorie ondulatoire de la lumière.
- 1865 Maxwell propose les lois fondamentales de l'électrodynamique.
- 1885 Balmer découvre une loi empirique qui régit les fréquences des raies dans le spectre de l'hydrogène.
- 1905 Einstein pose les principes de la théorie de la relativité restreinte.
- 1916 Einstein pose les principes de la théorie de la relativité générale.
- 1965 Découverte accidentelle du rayonnement fossile de l'univers (à 4109 MHz) par Arno Penzias et Robert Wilson des Bell Telephones Laboratories.
- 1986 Alex Müller et Georg Bednorz du Laboratoire de recherches IBM à Rüschlikon en Suisse découvrent le premier supraconducteur à haute température critique.
- 200? Découverte du boson de Higgs au CERN ?
- 20?? Vous ?

2. Mesures et précision mes-ncin.5

mes-ncin.6 L'observation d'un phénomène en physique est généralement quantitative, elle se fait par la mesure de plusieurs grandeurs physiques.

mes-ncin.7 Les grandeurs physiques que nous allons considérer en mécanique, dériveront toutes des trois grandeurs fondamentales suivantes:

(1) la longueur
(2) la masse
(3) le temps

mes-ncin.8 Pour chaque grandeur, il faut définir un étalon de mesure, l'unité. Une longueur se mesure en mètres (**m**), une masse se mesure en kilogrammes (**kg**) et un temps se mesure en secondes (**s**). Les définitions précises de ces unités sont données par le Bureau international des Poids et Mesures à Sèvres près de Paris.

mes-ncin.9 Ce système d'unités s'appelle le **système international d'unités** ou **SI**. Par ailleurs, les préfixes les plus souvent employés pour les diverses puissances de 10 et leurs symboles sont donnés dans le tableau 1.

Préfixe	Symbole	Facteur	Préfixe	Symbole	Facteur
déca	da	10^1	déci	d	10^{-1}
hecto	h	10^2	centi	c	10^{-2}
kilo	k	10^3	milli	m	10^{-3}
méga	M	10^6	micro	μ	10^{-6}
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
téra	T	10^{12}	pico	p	10^{-12}
péta	P	10^{15}	femto	f	10^{-15}

Tableau 1. Puissances de 10

mes-ncin.10 Lorsqu'on effectue la mesure d'une grandeur physique, en raison de la précision limitée des appareils de mesure que l'on utilise, celle-ci comporte nécessairement une incertitude. Par exemple, avec une règle graduée au millimètre, on trouve pour la largeur d'une feuille A4: 21.0 cm $\pm$ 1 mm, ce qui signifie que la largeur de la feuille est certainement comprise entre 20.9 cm et 21.1 cm.

mes-ncin.11 Nous noterons le résultat d'une mesure de la manière suivante:

$$(g \ \pm \ \triangle g) \cdot 10^n \ \text{ unités}$$

où g, **le résultat**, et n, sont des nombres entiers et $\triangle g$, **l'incertitude absolue**, est un chiffre non nul, c'est-à-dire $\triangle g = 1, 2 \cdots$ ou 9. Par exemple, pour la largeur d'une feuille A4, cela donne

$$l = 210 \ \pm \ 1 \text{ mm}$$

mes-ncin.12 Le nombre de chiffres qui composent g s'appelle le nombre de **chiffres significatifs**. Plus le nombre de chiffres significatifs est grand, meilleure est la précision de la mesure. Pour avoir une information plus directe quant à la précision d'une mesure, il est parfois plus commode d'exprimer l'incertitude comme fraction du résultat. Cette information s'appelle **l'incertitude relative**, nous l'écrirons avec un seul chiffre non nul en arrondissant au chiffre supérieur. Ainsi, pour la largeur d'une feuille A4, cela donne

$$l = 210 \text{ mm } \pm \frac{1}{210} \cdot 100 \ \% \ \simeq 210 \text{ mm } \pm 0.5 \ \%$$

mes-ncin.13 Lorsqu'une grandeur physique dérive de plusieurs grandeurs mesurées, on aimerait savoir quelle est l'incertitude sur celle-ci. Par exemple, pour mesurer l'aire d'une feuille A4, on mesure sa longueur et sa largeur chacune avec une incertitude de 1 mm. Pour connaître l'incertitude sur l'aire, on procède comme suit:

(1) On sait que l'aire de la feuille est certainement plus grande que l'aire calculée par

$$\text{Aire}_{\text{min}} = (\text{longueur} - 1\text{ mm}) \cdot (\text{largeur} - 1\text{ mm})$$

et plus petite que l'aire calculée par

$$\text{Aire}_{\text{max}} = (\text{longueur} + 1\text{ mm}) \cdot (\text{largeur} + 1\text{ mm})$$

(2) On écrit le résultat comme[1]

$$\text{Aire} = \text{longueur} \cdot \text{largeur} \ \pm \ \frac{\text{Aire}_{\text{max}} - \text{Aire}_{\text{min}}}{2}$$

mes-ncin.14 De manière générale, on a les règles suivantes: considérons deux résultats de mesures g_1 et g_2.

(1) L'incertitude relative sur le produit $g_1 \cdot g_2$ ou le quotient $\frac{g_1}{g_2}$ est donnée par la somme des incertitudes relatives.
(2) L'incertitude absolue sur la somme $g_1 + g_2$ (où, dans ce cas, g_1 et g_2 ont les mêmes unités) est donnée par la somme des incertitudes absolues.

3. Analyse des mesures **mes-ncin.15** [1 - B. Ischi 23-24]

mes-ncin.16 En physique expérimentale, on est souvent amené à mesurer une grandeur en fonction d'une autre. Pour comparer les mesures et la théorie, on trace alors souvent un graphique avec des fenêtres d'incertitudes. Voici un code *Octave* qui peut être modifié puis utilisé pour analyser des mesures:

```
clear
clf
#Mesures (exemple)
Amax=[1,2.1,3.1,4.1];
Amin=[0.9,1.9,2.9,3.9];
Bmax=[1.6,0.76,0.62,0.57];
Bmin=[1.4,0.74,0.60,0.55];
#Transformations (exemple: la théorie dit que B=1/A^2+c)
xmax=Amin.^(-2);
xmin=Amax.^(-2);
ymax=Bmax;
ymin=Bmin;
#Graphique des fenêtres d'incertitude
l=length(Amax);
hold("on")
for n=1:l
 plot([xmin(n),xmax(n),xmax(n),xmin(n),xmin(n)],[ymin(n),ymin(n),ymax(n),ymax(n),ymin(n)],"r")
endfor
grid("on")
xlabel("1/A^2 [unités]")
ylabel("B [unités]")
axis([0 1.4 0 1.6])
x=0:0.1:1.4;
#Droite la moins raide passant par toutes les fenêtres
n1=2;
n2=4;
x2=xmin(n2);
y2=ymax(n2)
x1=xmax(n1);
y1=ymin(n1);
```

[1] Remarquons que, Aire− $\triangle$Aire= $\text{Aire}_{\text{min}} - \triangle\text{longueur} \cdot \triangle\text{largeur}$ et Aire+ $\triangle$Aire= $\text{Aire}_{\text{max}} - \triangle\text{longueur} \cdot \triangle\text{largeur}$

```
pmin=(y2-y1)/(x2-x1)
plot(x,pmin*(x-x1)+y1,"b")
#Droite la plus raide passant par toutes les fenêtres
n1=1;
n2=4;
x2=xmax(n2);
y2=ymin(n2)
x1=xmin(n1);
y1=ymax(n1);
pmax=(y2-y1)/(x2-x1)
plot(x,pmax*(x-x1)+y1,"g")
hold("off")
print the_graphique_trop_bien_qui_donne_un_6.png
```

Son exécution donne le graphique de la figure 1.

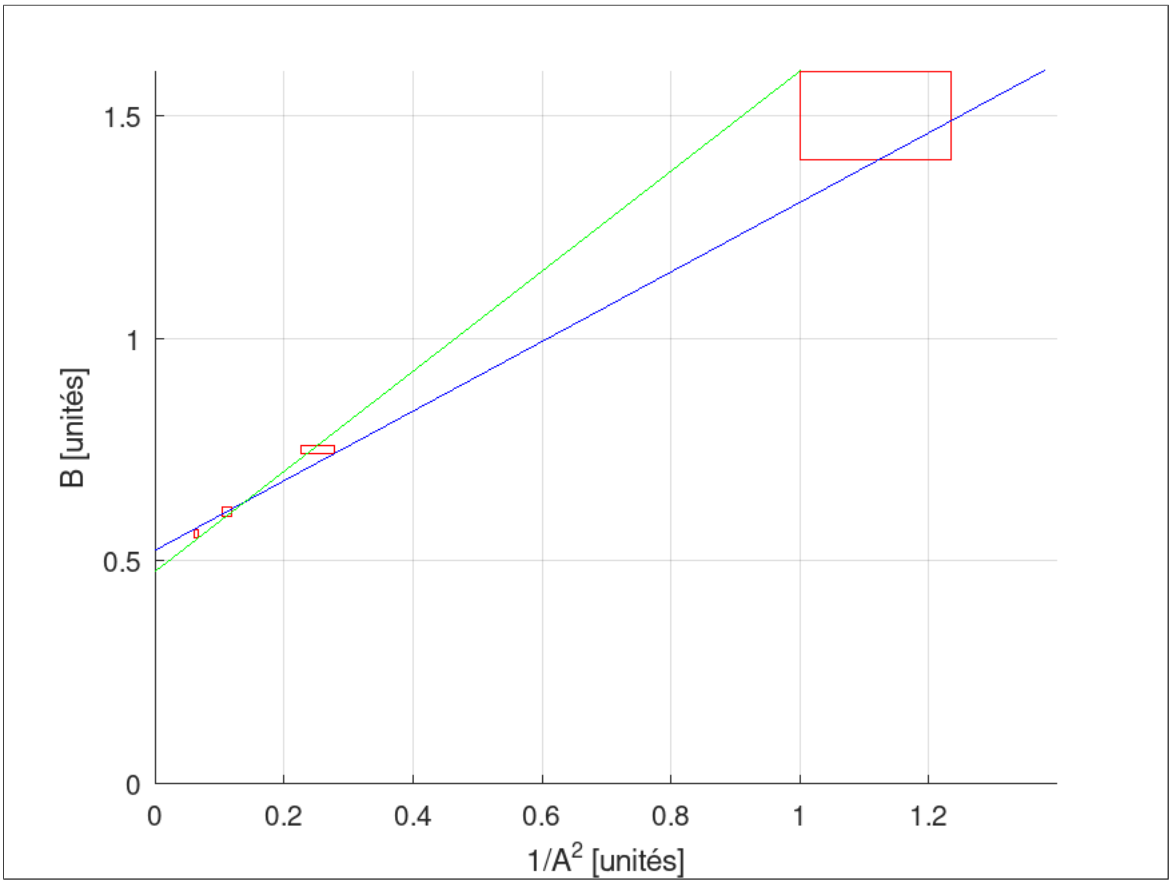

FIGURE 1. Un graphique avec des fenêtres d'incertitude.

mes-ncin.17 [1 - B. Ischi 24-25] Voici un code *Python3* qui peut-être utilisé pour analyser des données expérimentales:

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
#Mesures
xmin=[1.5,2.4,3.5,4.5]
xmax=[1.7,2.8,3.8,4.8]
ymin=[2.3,5.6,8.9,12.0]
ymax=[2.5,6.7,9.3,12.5]
#Affichage fenêtres
l=len(xmin)
```

```python
for n in range(0,l):
    plt.plot([xmin[n],xmax[n],xmax[n],xmin[n],xmin[n]],[ymin[n],ymin[n],ymax[n],ymax[n],ymin[n]],color="b")
#Droites
x1M=1.7
y1M=2.3
x2M=4.5
y2M=12.5
pmax=(y2M-y1M)/(x2M-x1M)
print("Pente max: ",pmax)
#
x1m=1.5
y1m=2.5
x2m=4.8
y2m=12
pmin=(y2m-y1m)/(x2m-x1m)
print("Pente min: ",pmin)
#
x=np.arange(0,5.1,0.1)
plt.plot(x,pmax*(x-x1M)+y1M,color="r")
plt.plot([x1M,x2M],[y1M,y2M],'s',color="r")
plt.plot(x,pmin*(x-x1m)+y1m,color="g")
plt.plot([x1m,x2m],[y1m,y2m],'s',color="g")
#Axes, légende, etc...
plt.xlabel('x=? [unités SVP]')
plt.ylabel('y=? [unités SVP]')
plt.title('Titre graphique')
plt.text(0,11,"Pente max:"+str(np.round(pmax,2))+" [unités SVP]")
plt.text(0,10,"Pente min:"+str(np.round(pmin,2))+" [unités SVP]")
#plt.axis('scaled')
major_xticks=np.arange(0,5,1)
minor_xticks=np.arange(0,5,0.5)
major_yticks=np.arange(0,13,1)
minor_yticks=np.arange(0,13,0.5)
plt.xlim(0,5)
plt.ylim(0,13)
plt.xticks(major_xticks)
plt.xticks(minor_xticks,minor=True)
plt.yticks(major_yticks)
plt.yticks(minor_yticks,minor=True)
plt.grid(which='minor', alpha=0.25)
plt.grid(which='major', alpha=1)
plt.savefig("graphique.png")
plt.show()
```

L'exécution de ce script donne le graphique de la figure 2.

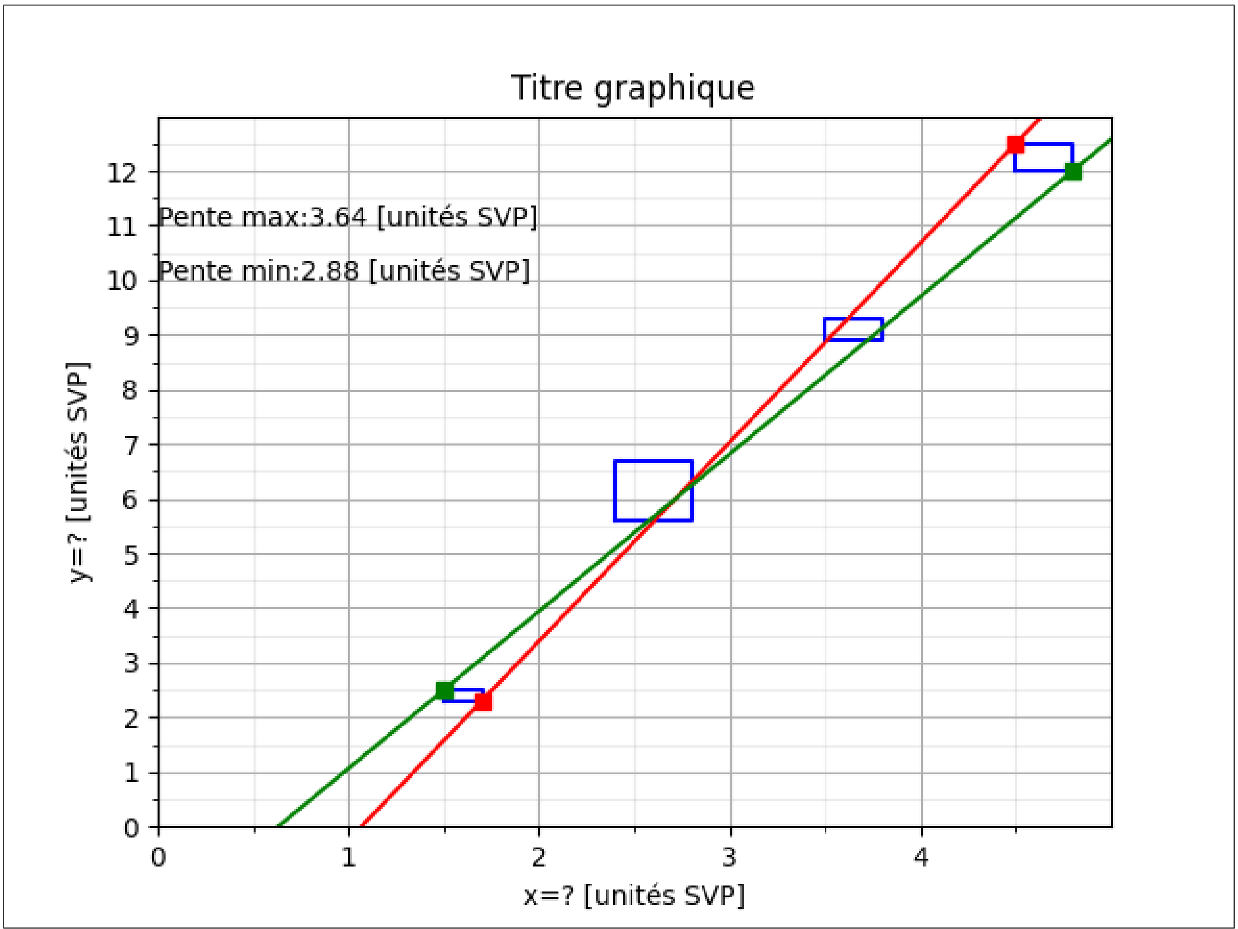

FIGURE 2. Graphique obtenu avec le code *Python3*