

Quels objectifs pédagogiques en
travaux pratiques de physique?

Quelle progression sur la licence?

D'où je parle ...

- Thèse en physique statistique expérimentale en 2012
- Master Histoire, Philosophie et Didactique des sciences
- Travaux en didactique de la physique depuis
 - Incertitudes de mesure en enseignement
 - Mathématiques pour la physique

Notre programme aujourd'hui

- Les objectifs des TPs
- Les objectifs liés aux travaux pratiques
- Une progression sur la licence ?

Quel objectif pour les travaux pratiques de physique ?



Goals of the Introductory Physics Laboratory^{a)}

American Association of Physics Teachers

Summary of Introductory Physics Laboratory Goals

(A detailed discussion of these goals is printed below)

- I. The Art of Experimentation:** The introductory laboratory should engage each student in significant experiences with experimental processes, including some experience designing investigations.
- II. Experimental and Analytical Skills:** The laboratory should help the student develop a broad array of basic skills and tools of experimental physics and data analysis.
- III. Conceptual Learning:** The laboratory should help students master basic physics concepts.
- IV. Understanding the Basis of Knowledge in Physics:** The laboratory should help students to understand the role of direct observation in physics and to distinguish between inferences based on theory and on the outcomes of experiments.
- V. Developing Collaborative Learning Skills:** The laboratory should help students develop collaborative learning skills that are vital to success in many lifelong endeavors.

Many of the goals are not explicit in traditional laboratory programs. However, the American Association of Physics Teachers believes that laboratory programs should be designed with these five fundamental goals in mind.

Experimental and analytical skills

Scientific Abilities (Revised July 2014)

[Ability to represent information in multiple ways](#)

[Ability to design and conduct an observational experiment](#)

[Ability to design and conduct a testing experiment](#)

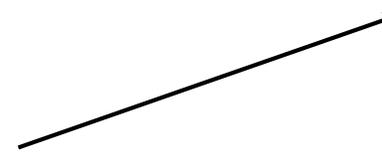
[Ability to design and conduct an application experiment](#)

[Ability to communicate scientific ideas](#)

[Ability to collect and analyze experimental data](#)

[Ability to evaluate models, equations, solutions, and claims](#)

<https://sites.google.com/site/scientificabilities/rubrics>



Scientific Ability	
G1	Is able to identify sources of experimental uncertainty
G2	Is able to evaluate specifically how identified experimental uncertainties may affect the data
G3	Is able to describe how to minimize experimental uncertainty and actually do it
G4	Is able to record and represent data in a meaningful way
G5	Is able to analyze data appropriately

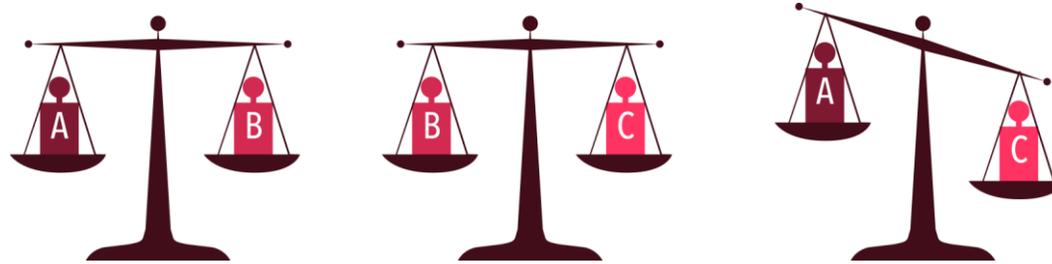
Les deux approches des
incertitudes de mesure

Petit préambule... Pourquoi des incertitudes de mesure

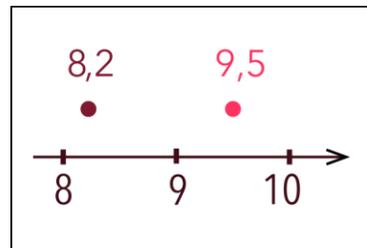
- Réponse de mes étudiants :
 - Euh ...
 - Parce que c'est demandé
 - Pour avoir le CAPES
 - Parce qu'en physique il faut le faire

Pourquoi des incertitudes de mesure ?

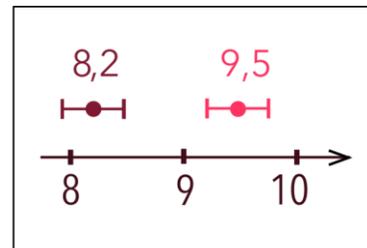
- Réponse 1 : parce qu'elles existent !!!



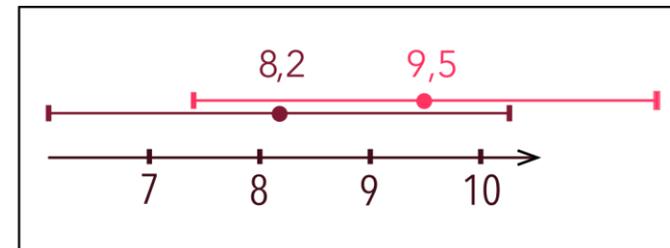
- Réponse 2 : parce qu'elles sont nécessaires pour faire des comparaisons



a) On ne peut rien dire



b) Les valeurs sont différentes



c) Les valeurs ne sont pas différentes

Est-ce qu'on en fait tout le temps ? Même pendant qu'on manipe en recherche ?

- Qu'en dites-vous ?
- Dans les articles que vous publiez ?

	Simple	Approché	Incertitude
Nombre isolé	2.8 μm	around 0.8 \AA	39.7 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$
Borne	more than 120°C	smaller than $\sim 1 \text{ TeV}$	> 35 (30) GeV
Intervalle	300–500 ns	about 5 to 10 min	115–130 (110–145) GeV

	Simple (\emptyset)	Approché (\sim)	Incertitude (\pm)	Total
Point	1517	337	132	1986
Borne	284	19	4	307
Intervalle	200	44	4	248
<i>Total</i>	<i>2001</i>	<i>400</i>	<i>140</i>	<i>2541</i>

Conclusions sur l'usage des incertitudes

- On ne donne pas **toujours** l'incertitude associée à une mesure, mais on en a toujours l'ordre de grandeur (# chiffres significatifs)
- En TP, la demander quand c'est nécessaire
 - ~~Expériences qualitatives~~
 - Test des hypothèses d'un modèle
 - Comparer des méthodes de mesures
 - Suivre un livre de recettes pour apprendre une technique
 - Comparer une grandeur à une ou plusieurs grandeurs de référence

Ok on doit en faire, mais
comment ?

Deux approches qui coexistent ...

Test de personnalité de l'incertitude

Lorsque vous entendez l'expression « erreur de mesure » :

- Vous corrigez immédiatement votre interlocuteur
- Où est le problème?

Lorsque vous entendez l'expression « valeur vraie » :

- Vous levez les yeux au ciel
- Où est le problème?

Ce qui est important quand on estime des incertitudes c'est de :

- Prendre le moins de risque possible
- Faire un « best estimate »

Lorsque vous entendez « propagation des incertitudes », vous pensez aussitôt à :

- Une différentiation logarithmique
- Des dérivées partielles

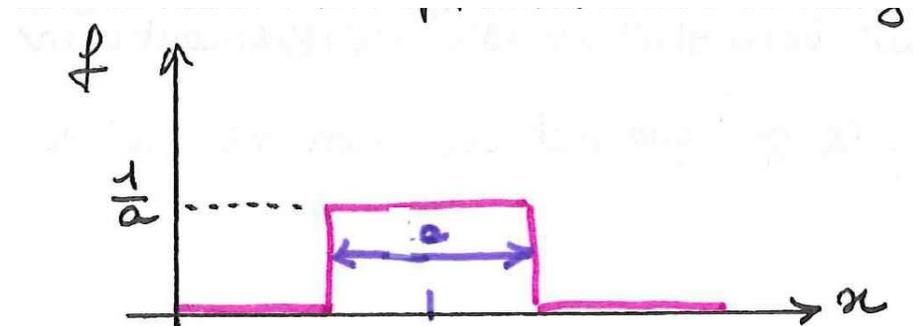
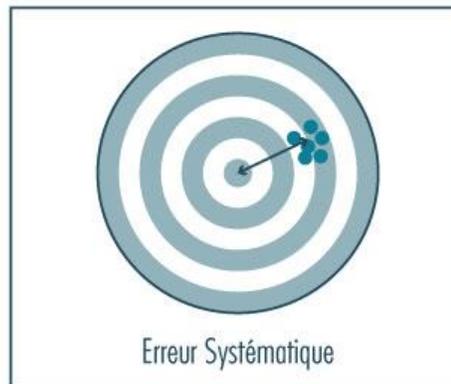
Lorsque vous combinez des incertitudes :

- Vous summez les carrés
- Vous summez les valeurs absolues



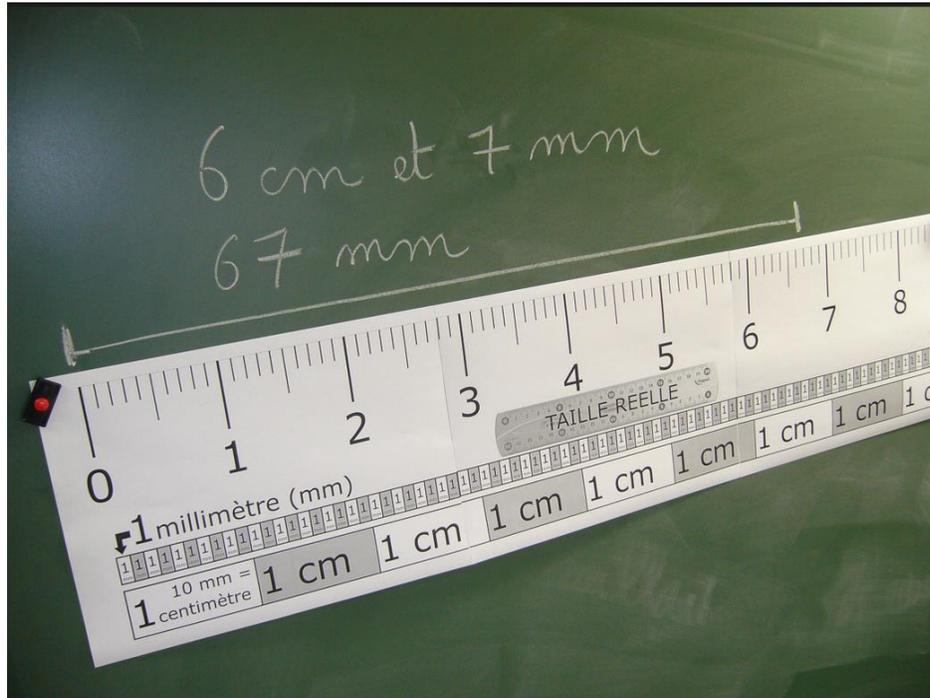
Deux approches différentes

	Approche classique	Approche métrologie
Incertitude associée à une source d'incertitude		
Ce que l'on estime pour chaque source d'incertitude	L'erreur de mesure (parfois appelée incertitude de mesure) est définie comme l'écart possible entre la mesure et la valeur vraie	L'incertitude type est définie comme la racine carrée du moment d'ordre 2 de la fonction distribution de probabilité modélisant la variable aléatoire M



Différents types de mesure

Mesure directe



Mesure indirecte



1. Faire la liste des différentes sources d'incertitude et estimer leur ordre de grandeur

Mesure de la longueur du fil du pendule	
Source d'incertitude	Ordre de grandeur (en cm)
Lecture à la règle (position du zéro et dernière graduation)	10^{-1}
Règle déformée ou mal imprimée	10^{-1}
Définition de la position du centre de masse de la masselotte	10^{-1}
Allongement du fil au cours de l'oscillation	10^{-2}

2) Rechercher si certaines incertitudes sont négligeables, ou au contraire dominant

- Dans notre exemple l'incertitude liée à l'allongement du fil est négligeable devant les autres sources d'incertitudes.

3) Estimer précisément les incertitudes qu'il faudra prendre en compte dans le calcul

	Approche classique	Approche métrologie
Une lecture analogique	Dans les deux cas l'estimation a une part subjective qui dépend de la dextérité et de l'expérience de la personne qui fait les mesures	
	En général ΔM vaut une demi-graduation. $\Delta M = a/2$	M est modélisée par une variable aléatoire dont la fonction distribution de probabilité est un triangle dont la base vaut en général une graduation $u(M) = a/2r(3)$
Une lecture numérique	ΔM vaut un demi digit. $\Delta M = a/2$	M est modélisée par une variable aléatoire dont la fonction distribution de probabilité est un heavyside dont la base vaut en général une graduation $u(M) = a/2r(3)$

3) Estimer précisément les incertitudes qu'il faudra prendre en compte dans le calcul

<p>Une donnée constructeur</p>	<p>ΔM vaut la moitié de l'erreur annoncée par le constructeur $\Delta M = a/2$</p>	<p>On suppose que le constructeur a donné une incertitude élargie, et si rien n'est spécifié, que la fonction distribution de probabilité associée est une gaussienne. $u(M) = a/2$</p>
<p>Les limites d'un objet, ou sa largeur naturelle</p>	<p>ΔM vaut la moitié de l'intervalle dans lequel la mesure pourrait se trouver $\Delta M = a/2$</p>	<p>Au choix de l'expérimentateur.trice : modélisation avec une fonction distribution de probabilité rectangle, triangle ou normale selon le phénomène $u(M) =$ ou $u(M) =$</p>
<p>La variabilité d'un phénomène</p>	<p>σ correspond à l'écart-type de la série de mesures successives</p> <p>$\Delta M = \sigma/r(N-1)$ $u(M) = \sigma/r(N-1)$</p>	

Dans le cas de la mesure du fil du pendule à la règle

Lecture à la règle Position du zéro	J'estime ma capacité de résolution à une demi graduation	
	$\Delta M = 0,5 \text{ mm}$	$u(M) = \frac{0,5}{2\sqrt{6}} \text{ mm}$
Dernière graduation	$\Delta M = 0,5 \text{ mm}$	$u(M) = \frac{0,5}{2\sqrt{6}} \text{ mm}$

<p>Règle déformée ou mal imprimée</p>	<p>Il ne me paraît pas raisonnable que ma règle diffère de plus d'1 mm d'une règle « étalon »</p>	<p>Les erreurs d'impression de règle n'ont a priori pas de raison de suivre une loi différente d'une loi gaussienne. Je suppose qu'avec une probabilité de 95 % la règle ne diffère pas de plus d'un mm d'une règle étalon</p>
	<p>$\Delta M = 0,5 \text{ mm}$</p>	<p>$u(M) = \frac{0,5}{2} \text{ mm}$</p>

Définition de la position du centre de masse de la masselotte

Il ne me parait pas raisonnable de me tromper de plus de 2 mm sur la position du centre de masse de la masselotte

Je suppose une fonction distribution de probabilité triangle de largeur $a = 2 \text{ mm}$

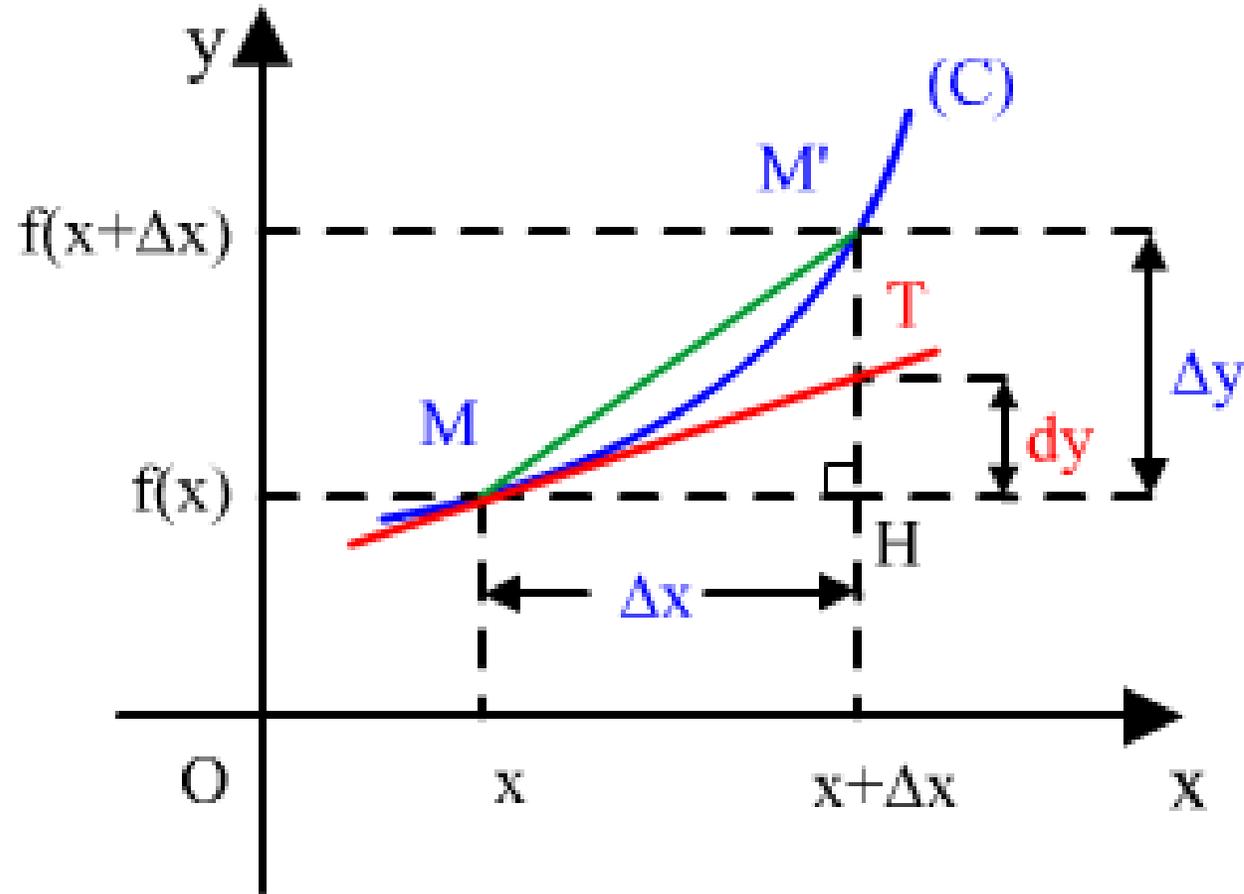
$$\Delta M = 1 \text{ mm}$$

$$u(M) = \frac{1}{2\sqrt{3}} \text{ mm}$$

4) Combiner les différentes incertitudes pour obtenir l'incertitude sur le résultat de la mesure

Incertitude sur une mesure directe		
	Approche classique	Approche métrologie
Comment on combine les différentes sources d'incertitudes	$\Delta M = \Delta M_1 + \dots + \Delta M_n$	$(u(M))^2 = (u_1(M))^2 + \dots + (u_n(M))^2$
Comment on écrit le résultat final	$M = M_0 \pm \Delta M$	$M = M_0 \pm 2 u(M) ; (k=2, \text{IC à } 99\%)$

5) Le cas d'une mesure indirecte : forme différentielle



5) Le cas d'une mesure indirecte : forme différentielle

Incertitude sur une mesure indirecte $M = f(a,b)$	
Différenciation logarithmique + valeurs absolues	Forme différentielle + somme des carrés (on retrouve la différenciation logarithmique)
Forme différentielle + somme des valeurs absolues	Forme différentielle + somme des carrés

<https://framemo.org/EPU>

- Objectif : avoir une liste un peu complète d'objectifs pédagogiques liés à l'estimation des incertitudes de mesure en TP
- Moyen : partir des fascicules de TP
 - Quelles tâches sont liées aux incertitudes de mesure? Quelles erreurs fréquentes? Quels objectifs pédagogiques du coup?
- Temps 2 : classer L1, L2, L3, M