

Mesure et incertitudes

• Classe de première STI2D

Contenus et progression

[...] Le premier domaine permet de poursuivre la sensibilisation des élèves, commencée en seconde, au rôle de la mesure pour approcher et quantifier les phénomènes physiques et chimiques, suivre leur évolution dans le temps, observer leurs discontinuités, élaborer des modèles et délimiter leurs domaines de validité, ainsi qu'à l'importance de présenter chaque résultat final d'une mesure avec la mention de l'incertitude-type et de l'unité associées. Les notions sont introduites en s'appuyant sur les thématiques abordées dans les trois autres domaines et dans une logique de progressivité, à l'occasion de travaux pratiques, mais aussi de façon récurrente lors d'exercices et de résolutions de problèmes tout au long du cycle terminal.

Mesure et incertitudes

Notions et contenu	Capacités exigibles
Grandeurs et unités. Système international d'unités.	<ul style="list-style-type: none">- Distinguer les notions de grandeur, valeur et unité.- Citer les sept unités de base du système international.
Sources d'erreurs. Variabilité de la mesure d'une grandeur physique. Justesse et fidélité. Dispersion des mesures, incertitude-type sur une série de mesures. Écriture d'un résultat. Valeur de référence.	<ul style="list-style-type: none">- Identifier les principales sources d'erreurs lors d'une mesure.- Exploiter des séries de mesures indépendantes (histogramme, moyenne et écart-type) pour comparer plusieurs méthodes de mesure d'une grandeur physique, en termes de justesse et de fidélité.- Procéder à une évaluation par une approche statistique (type A) d'une incertitude-type.- Estimer une incertitude-type sur une mesure unique.- Exprimer un résultat de mesure avec le nombre de chiffres significatifs adaptés et l'incertitude-type associée et en indiquant l'unité correspondante.- Discuter de la validité d'un résultat en comparant la différence entre le résultat d'une mesure et la valeur de référence d'une part et l'incertitude-type d'autre part.

Repères pour l'enseignement

Le professeur insiste sur l'importance d'associer une unité à chaque résultat de mesure ou de calcul.

L'incertitude-type rend compte de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur physique.

La valeur attendue, si elle existe ou si elle est issue de l'exploitation d'un modèle, est appelée valeur de référence.

On indique que l'écart maximal raisonnable entre le résultat d'une mesure et une valeur de référence peut être évalué en nombre d'incertitudes-types. L'évaluation de cet écart peut contribuer à délimiter le domaine de validité d'un modèle.

Liens avec les mathématiques

L'écart-type est étudié en classe de seconde.

La fluctuation d'échantillonnage est abordée dans le programme de mathématiques des enseignements communs.

• Classe de première STL

Mesure et incertitudes

La pratique de laboratoire conduit à confronter les élèves à la conception, la mise en œuvre et l'analyse critique de protocoles de mesures. Évaluer l'incertitude d'une mesure, caractériser la fiabilité et la validité d'un protocole, sont des éléments essentiels de la formation dans la série sciences et technologies de laboratoire. Ces notions, transversales au programme de physique-chimie, sont abordées en prenant appui sur le contenu de chacun des modules des enseignements de spécialité du programme du cycle terminal.

En complément du programme de la classe de seconde générale et technologique, celui de la classe de première STL introduit l'identification des sources d'erreurs ainsi que les notions de justesse et fidélité d'une mesure. L'approche statistique et l'évaluation de l'incertitude associée (type A) sont complétées par l'introduction de la notion de répétabilité. L'évaluation de type B d'une incertitude-type est abordée dans le cas d'une mesure effectuée avec un instrument de mesure dont les caractéristiques sont données.

La différence entre le résultat d'une mesure et la valeur de référence, si elle existe, est appréciée en l'évaluant en nombre d'incertitudes-types.

Notions et contenu	Capacités exigibles
Sources d'erreurs.	- Identifier les principales sources d'erreurs lors d'une mesure.
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	- Exploiter des séries de mesures indépendantes (histogramme, moyenne et écart-type) pour comparer plusieurs méthodes de mesure d'une grandeur physique, en termes de justesse et de fidélité.
Justesse et fidélité.	- Procéder à une évaluation de type A d'une incertitude-type.
Dispersion des mesures, incertitude-type sur une série de mesures.	- Procéder à une évaluation de type B d'une incertitude-type pour une source d'erreur en exploitant une relation fournie et/ou les notices constructeurs.
Incertitude-type sur une mesure unique.	- Exprimer un résultat de mesure avec le nombre de chiffres significatifs adaptés et l'incertitude-type associée.
Expression du résultat.	- Discuter de la validité d'un résultat en comparant la différence entre le résultat d'une mesure et la valeur de référence d'une part et l'incertitude-type d'autre part.
Valeur de référence.	Capacités numériques : À l'aide d'un tableur ou d'un programme informatique : - traiter des données expérimentales ; - représenter les histogrammes associés à des séries de mesures.
Notion mathématique : écart-type d'une série statistique (programme de la classe de seconde).	

Cette proposition de séance de travaux pratiques a pour objectif de préparer les autres travaux pratiques des trois grands domaines du programme qui seront proposés au long du cycle terminal.

A la suite de l'énoncé figure donc une série de situations de travaux pratiques non exhaustive permettant de remobiliser les notions, ainsi qu'un exemple détaillé.

MESURES DE LONGUEURS ET DE MASSES

Cette séance a pour objectif de montrer sur des prises de mesures simples les conséquences en termes d'incertitudes de la résolution de l'instrument de mesure et des défauts de fidélité.

1. Mesures de longueurs

1.1. Échantillon à étudier

- ✓ Choisir un pavé droit ou parallélépipède rectangle.
- ✓ Notez la nature de son matériau (aluminium, fer, laiton...).

1.2. Mesures à effectuer

a. Instruments

On utilise ici des pieds à coulisse au 1/10 de mm, 1/20 de mm, 1/50 de mm et un palmer au 1/100 de mm.

b. Mesures

Pour que les résultats présentent de l'intérêt, les mesures doivent être réalisées dans des conditions approchées. Il ne faut donc pas se contenter de dix lectures, mais il faut reposer le solide entre deux essais successifs et reprendre le processus de mesure au début dans chaque nouvel essai.

- ✓ Mesurer dix fois de suite une des dimensions (notée x_1) du solide choisi avec chacun des instruments dont on dispose.
- ✓ Mesurer les deux autres dimensions (notées x_2 et x_3) dix fois de suite avec le pied à coulisse au 1/50 de mm.
- ✓ Rassembler les résultats dans un tableau.

1.3. Évaluation des incertitudes sur les mesures

Observer chaque série de mesures.

- ✓ Pour chaque instrument, évaluer l'incertitude type due à la résolution de l'appareil :

$$u_B(x_i) = \frac{\Delta}{\sqrt{12}}$$

- ✓ De même, évaluer l'incertitude type de type A due aux défauts de fidélité :

$$u_A(x_i) = \frac{\sigma_{x-1}}{\sqrt{n}}$$

- ✓ Première : pour un même instrument, comparer les deux incertitudes-types obtenues, afin de trouver celle qui a le plus fort poids. Ne garder par la suite que cette dernière incertitude-type pour chaque instrument.

Ou : Terminale : Évaluer l'incertitude composée.

- ✓ Écrire le résultat final pour chaque mesure, avec le nombre de chiffres significatifs convenables.

Conclusion sur ce travail

En tenant compte

- ♦ d'une part la qualité des instruments que l'on a utilisé,
 - ♦ d'autre part de l'aspect du solide étudié,
- essayer de déterminer les causes probables des défauts de fidélité observés.

2. Mesures de masses

Nous utilisons deux balances électroniques mono plateau :

- l'une de portée 1 kg et de résolution 0,1 g;
- l'autre de portée de 100 g et de résolution 0,1 mg.

- ✓ Répéter plusieurs fois la pesée avec le pavé droit utilisé précédemment. Dresser un tableau des mesures par balance.
- ✓ Quelle conclusion pouvez-vous apporter pour chacune des deux balances ?
- ✓ Pour chaque balance, évaluer l'incertitude type due à la résolution de l'appareil :

$$u_B(x_i) = \frac{\Delta}{\sqrt{12}}$$

- ✓ De même, évaluer l'incertitude type de type A due aux défauts de fidélité :

$$u_A(x_i) = \frac{\sigma_{x-1}}{\sqrt{n}}$$

- ✓ Première : pour un même instrument, comparer les deux incertitudes-types obtenues, afin de trouver celle qui a le plus fort poids. Ne garder par la suite que cette dernière incertitude-type pour chaque instrument.

Ou : Terminale : Évaluer l'incertitude composée.

- ✓ Écrire le résultat final pour chaque mesure, avec le nombre de chiffres significatifs convenables.

3. Masse volumique de l'échantillon

- ✓ Calculer la masse volumique ρ de l'objet en indiquant clairement les résultats choisis pour effectuer ce calcul.
- ✓ Calculer l'incertitude sur ρ .
- ✓ Écrire le résultat avec le nombre de chiffres significatifs convenable.

SITUATIONS DE TRAVAUX PRATIQUES PERMETTANT DE REMOBILISER LES NOTIONS (STI2D)

L'énergie et ses enjeux

Les conversions et les chaînes énergétiques. Stockage de l'énergie.	- Évaluer ou mesurer une quantité d'énergie transférée, convertie ou stockée.
--	---

Énergie chimique

Pouvoir calorifique d'un combustible (en kJ.kg^{-1})	- Mettre en oeuvre une expérience pour déterminer le pouvoir calorifique d'un combustible.
--	--

Énergie électrique

Tension électrique, intensité électrique. Grandeurs périodiques : valeur moyenne, valeur efficace, composante continue et composante alternative. Grandeurs sinusoïdales.	- Mesurer la valeur moyenne d'une tension électrique, d'une intensité électrique dans un circuit. - Mesurer la valeur efficace d'une tension électrique, d'une intensité électrique dans un circuit.
---	---

Énergie interne

Température.	- Mesurer des températures.
--------------	-----------------------------

Énergie mécanique

Mouvement rectiligne : vitesse moyenne. Vitesse. Accélération.	- Mesurer des vitesses et accélérations dans le cas d'un mouvement rectiligne.
--	--

Énergie transportée par la lumière

Puissance transportée par la lumière, irradiance. Lumière émise par un laser. Protection contre les risques associés à l'utilisation d'un laser.	- Utiliser un appareil pour déterminer ou mesurer une irradiance (ou éclairement énergétique, en W.m^{-2}) : pyranomètre, solarimètre, etc.
Conversion photovoltaïque.	- Effectuer expérimentalement le bilan énergétique et déterminer le rendement d'un panneau photovoltaïque

Propriétés des matériaux et organisation de la matière

Propriétés des matériaux : électriques, thermiques, mécaniques, optiques, magnétiques et chimiques. Cycle de vie d'un matériau.	- Déterminer ou mesurer quelques caractéristiques physiques de matériaux (résistivité électrique, résistance thermique surfactive, indice de réfraction, etc.).
Masses molaires atomique et moléculaire. Concentration d'un soluté (en g.L ⁻¹ ou en mol.L ⁻¹).	- Déterminer une concentration d'un soluté dans une solution à partir du protocole de préparation de celle-ci ou à partir de mesures expérimentales.

Notion d'onde

Ondes périodiques. Ondes sinusoïdales. Période. Longueur d'onde. Relation entre période, longueur d'onde et célérité.	- Définir et déterminer (par une mesure ou un calcul) les grandeurs physiques caractéristiques associées à une onde périodique.
--	--

Ondes sonores

Propriétés, propagation des ondes sonores et ultrasonores. Phénomène de réflexion. Intensité et puissance acoustiques.	- Déterminer ou mesurer les grandeurs physiques associées à une onde sonore ou ultrasonore : célérité, période, amplitude, fréquence et longueur d'onde. - Évaluer la célérité du son dans quelques milieux : air, eau, métal. - Déterminer des distances à partir de la propagation d'un signal avec ou sans réflexion.
---	--

EXEMPLE DE TRAVAUX PRATIQUES PERMETTANT DE REMOBILISER LES NOTIONS

Activité expérimentale : Etude d'une pompe à eau d'un camping-car

Objectifs :

- Vérifier la valeur du débit volumique indiqué sur la pompe par le constructeur et la vitesse moyenne d'écoulement.
- Déterminer l'ordre de grandeur du rendement de la pompe.



On dispose d'un jerrican rempli d'eau, d'un **bidon gradué** de **5000 mL** et d'un chronomètre.

1) Proposer un protocole permettant de mesurer le débit volumique de vidange du jerrican, ainsi que la vitesse moyenne de montée du niveau du liquide dans le bidon.

2) Réaliser l'expérience 5 fois et mettre les résultats dans un tableau.

N°essai	1	2	3	4	5
Débit volumique $Dv (L \cdot min^{-1})$					

Pour le dernier essai, relever à l'aide d'une marque au crayon, le repère du niveau avant et après la vidange sur le bidon gradué ainsi que l'intensité moyenne du courant qui alimente la pompe (sur l'affichage de l'alimentation)

3) Déterminer la valeur moyenne du débit \overline{Dv} volumique :

Calculer l'incertitude de mesure ΔDv que l'on assimilera à l'incertitude-type de répétabilité $u(Dv)$. On utilisera la relation ci-dessous :

$$\Delta m = u(m) = \frac{1}{\sqrt{n}} \times \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (m_k - \bar{m})^2} \quad Dv = \overline{Dv} \pm \Delta Dv$$

Comparer l'encadrement du débit volumique obtenu à l'indication du constructeur.

Conclure.

Source : Y. Gueguen, professeur au lycée Vauvenargues à Aix-en-Provence

ANNEXE : PROGRAMME DE SECONDE

En classe de seconde, l'objectif principal est de sensibiliser l'élève, à partir d'exemples simples et démonstratifs, à la variabilité des valeurs obtenues dans le cadre d'une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique. L'incertitude-type fournit alors une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à la grandeur physique.

Les activités expérimentales proposées visent aussi à sensibiliser l'élève à l'influence de l'instrument de mesure et du protocole choisi sur la valeur de l'incertitude-type.

Lorsque cela est pertinent, la valeur mesurée sera comparée avec une valeur de référence afin de conclure qualitativement à la compatibilité ou à la non-compatibilité entre ces deux valeurs.

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.
Incetitude-type.	Expliquer qualitativement la signification d'une incetitude-type et l'évaluer par une approche statistique.
Écriture du résultat.	Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.
Valeur de référence.	Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.