

Débat d'étudiants autour des incertitudes.

Hemour Simon, Fanny Poinssotte, Lionel Bastard

simon.hemour@minatec.inpg.fr, fanny.poinssotte@phelma.grenoble-inp.fr,

lionel.bastard@phelma.grenoble-inp.fr

PHELMA, Minatec – Grenoble INP, 3 parvis Louis Néel, BP 257, 38016 Grenoble, France

RESUME : En tant que scientifiques, d'abord au cours de leurs études puis dans leur vie professionnelle, nos élèves seront amenés à présenter des résultats d'expériences qu'ils ont réalisées et à analyser les résultats de manipulations réalisées par d'autres. Pour cela deux capacités sont indispensables : tout d'abord, il faut savoir transmettre l'information scientifique, c'est à dire faire un compte-rendu clair et complet d'une série d'expériences en présentant le protocole expérimental, les résultats obtenus et leur exploitation, de manière claire. Il est ici indispensable de comprendre l'importance des modèles choisis et des appareils de mesure sélectionnés. Ensuite et cela va de paire, il faut être capable de fournir un résultat numérique exploitable et avoir un regard critique sur la valeur obtenue. Pour cela il faut aborder la notion d'incertitude liée à une mesure ou au calcul d'une grandeur ; il faut être sensible aux différentes causes d'erreurs et d'incertitudes et donc accorder le juste poids aux mesures réalisées. C'est dans ce double objectif (apprentissage de la démarche scientifique et sensibilisation aux incertitudes) que nous avons mis en place une séance de travaux pratiques qui s'adresse à tout élève commençant un cursus scientifique. Elle vise tout d'abord à sensibiliser à la notion d'incertitude, à donner les outils mathématiques permettant de les évaluer correctement et ensuite à fournir les bases permettant de rédiger correctement un compte-rendu de travaux pratiques ou tout document scientifique.

Mots clés : rédaction, compte-rendu scientifique, notion d'incertitude, débat scientifique, détermination d'un protocole expérimental, modélisation, hypothèses de validité d'un modèle, autoévaluation.

INTRODUCTION

Présenter correctement un résultat scientifique nécessite un apprentissage. Être capable d'identifier un problème scientifique, de décrire le protocole expérimental mis en place pour le résoudre et enfin présenter les résultats obtenus, de manière critique, en évaluant l'influence des conditions expérimentales, des appareils de mesure utilisés etc. sont des qualités que doit avoir tout étudiant en science.

Par ailleurs la notion d'incertitude liée à un résultat d'expérience est une notion capitale souvent mal assimilée par les étudiants. Le calcul de l'incertitude liée à une grandeur physique est trop souvent perçu comme difficile et fastidieux. Cependant acquérir les outils permettant de déterminer une incertitude de mesure, avoir un avis critique sur les différentes causes d'incertitudes qui peuvent intervenir dans une expérience et être capable d'estimer la précision d'un résultat scientifique et le crédit que l'on peut accorder au résultat expérimental obtenu est essentiel pour tout élève amené à réaliser des expériences en laboratoire, des montages ou des mesures et ce dans tous les domaines.

OBJECTIFS DU TP

Nous proposons à nos nouveaux étudiants (1ère année d'école d'ingénieur) une séance de travaux pratiques de 4h. Il s'agit de la première séance de l'année, elle introduit l'ensemble des travaux pratiques de leur cursus : ceux d'électronique, de physique et de matériaux.

Cette séance vise plusieurs objectifs pédagogiques :
- *présentation de résultats et comptes-rendus scientifiques* : l'un des objectifs de cette séance est de fournir aux étudiants des conseils de rédaction d'un compte-rendu scientifique et de leur donner une première occasion de les mettre en pratique. Afin de donner plus d'impact au résultat de ce premier compte-rendu, nous avons testé un système d'auto-évaluation, ou plutôt d'interévaluation des élèves entre eux : chacun corrigeant et notant la copie d'un de ses camarades.
- *évaluation d'une grandeur physique et notion d'incertitude* : un autre objectif de cette séance est de donner aux étudiants les outils nécessaires à l'estimation de l'incertitude liée à une mesure et au calcul de la propagation d'erreur sur une grandeur calculée. Les outils mathématiques introduits ici sont la recherche directe d'extrema, la différentielle totale et l'outil logarithmique.

Cette séance permet également d'aborder la notion de modèle en science, indispensable pour avoir un regard critique sur des résultats d'expérience. Les limites de validité du modèle utilisé sont souvent oubliées par nos étudiants. Il est donc important de souligner l'importance des hypothèses de travail et des conditions expérimentales choisies.

Le but de cette séance étant donc essentiellement pédagogique, il est astucieux de choisir comme support des expériences excessivement simples qui ne poseront aucune difficulté pratique aux étudiants.

1. DÉROULEMENT DE LA SEANCE

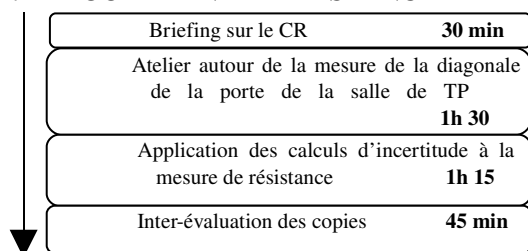


fig. 1 : déroulement de la séance

1.1 Introduction à la rédaction d'un compte-rendu scientifique.

Les 30 premières minutes sont consacrées à détailler les conseils de rédaction du compte-rendu [fig.1] (les élèves ont en préambule du livret de « travaux pratiques d'introduction », la feuille de conseils de rédaction d'un compte-rendu de travaux pratiques (T.P.)). Ces conseils serviront de base pour évaluer les copies en fin de T.P. Pour illustrer l'adéquation entre les consignes et l'évaluation, il est possible de montrer dès le début la grille de correction [fig.3] qui sera utilisée par la suite. L'objectif est de détailler nos attentes en matière de rédaction et de protocole expérimental pour établir une base solide sur laquelle vont reposer nos exigences de toute la première année.

1.2 Mesure de la diagonale d'une porte et débat scientifique.

L'originalité de cette partie est d'amener les élèves à découvrir ou redécouvrir eux même la notion d'incertitude autour d'une expérience simplissime. Un débat scientifique est ensuite organisé afin de voir émerger différentes idées sur les causes et les techniques de calcul d'incertitudes. Cet exercice rend les élèves demandeurs et disponibles pour l'activité suivante durant laquelle l'enseignant leur présentera les outils mathématiques utiles (différentielles totales, outil logarithmique etc.).

Cet atelier se déroule ainsi en plusieurs étapes: recherche d'un mode de mesure, expérience, report des résultats sous forme graphique, discussion autour de la propagation de l'erreur et enfin bilan (par l'enseignant) de l'atelier et des outils disponibles. Il occupe plus d'un tiers de la séance [fig.1].

Recherche d'un protocole expérimental

Le problème scientifique soumis aux élèves est le suivant : comment mesurer la diagonale du cadre d'une porte en n'utilisant aucun outil métrique (pas de règle, ni d'étalon de longueur). Toutes les idées sont les bienvenues. Il appartiendra ensuite à l'enseignant de discuter de chacune pour en évaluer la faisabilité (matériel disponible) et la pertinence. La solution la plus simple qui ressort invariablement (mais n'apparaît pas nécessairement la première) consiste à chronométrer le temps de chute d'un corps pour obtenir une image de la hauteur et d'utiliser un rapporteur pour évaluer l'angle et donc passer de la hauteur à la diagonale.

Les élèves peuvent par exemple utiliser des rapporteurs imprimés sur feuille A4 et le chronomètre de leur téléphone portable (ce sera la dernière fois que cet « intrus » sera toléré en salle de T.P. !)

Réalisation de l'expérience et report des résultats

La réalisation des mesures doit être rapide. L'intérêt est de collecter un grand nombre de mesures afin de pouvoir introduire des notions de statistique.

Chaque binôme reporte ses résultats au tableau sur un histogramme (nombre de mesures en fonction du temps de chute). L'ensemble des points forme une gaussienne. La discussion de ces résultats permet d'aborder 3 notions essentielles :

- l'incertitude de mesure [Il n'existe pas de réponse à la question « Quelle est-la vraie hauteur ? »] et ses causes.
- le modèle utilisé pour évaluer la diagonale [« Faut-il prendre en compte le poids de l'objet dans l'équation de sa chute, les frottements, la rotation de la terre etc. ? »] L'importance de la modélisation, la manière de construire un modèle, ses limites et ses hypothèses de validité peuvent être discutée ici.
- le calcul de la propagation d'une incertitude : [« Comment calculer l'incertitude sur la hauteur de la porte à partir de l'incertitude sur le temps de chute ? »]

La discussion autour des résultats obtenus par les étudiants se termine par la détermination de deux valeurs numériques données sous la forme $X+\Delta X$ et correspondant aux grandeurs mesurées (temps de chute et angle) accompagnées de leurs incertitudes de mesure. On pourra choisir par exemple pour X la valeur correspondant au maximum de la gaussienne d'occurrence et pour ΔX la largeur à mi hauteur de la gaussienne.

Débat scientifique autour de la propagation d'erreur

Cette partie est la plus conséquente. La méthode pédagogique qui nous semble la plus adaptée est le débat scientifique [5-6]. Un brainstorming ou une discussion avec toute la classe sont aussi appropriés.

Pour lancer le débat, il est utile de laisser un peu de temps à chacun pour calculer la diagonale de la porte à partir de LA mesure retenue précédemment pour le temps de chute et d'estimer l'incertitude (Δ_p) sur la hauteur puis sur la diagonale de la porte. Chacun peut ensuite annoncer son appartenance à une des catégories proposées par l'enseignant ($0\text{cm} < \Delta_p < 30\text{cm}$; $30\text{cm} < \Delta_p < 60\text{cm}$, ... , $2\text{m} < \Delta_p < 2,30\text{m}$). Les étudiants sont surpris de la disparité des résultats.

Afin de conduire au mieux ce type de débat, d'encourager la participation de chacun et de rendre les étudiants disponibles pour le bilan qui va suivre, il est très utile d'adapter l'organisation de la salle (mettre les élèves en cercle, essayer d'effacer la présence de l'enseignant). Au bout d'un moment, plusieurs propositions sont lancées et débattues. Dès que la discussion s'essouffle et que les idées intéressantes ont été proposées et exploitées, l'enseignant peut conclure.

Bilan du débat : proposition d'outils simples permettant de calculer l'erreur liée à une grandeur estimée.

Cette partie de la séance a la forme classique d'un cours introduisant des outils mathématiques utiles. L'enseignant reprend sa place au tableau pour résumer et compléter les idées avancées précédemment. Nous présentons en détails le principe et les intérêts de trois méthodes de calcul de propagation d'erreur (la recherche directe d'extrema, la différentielle totale et l'outil logarithmique). Si le débat scientifique a été efficace, cette activité peut être rapide.

2 APPLICATION À LA MESURE D'UNE RÉ-SISTANCE

Un sujet de travaux pratiques extrêmement simple [fig.2] est proposé aux étudiants : il s'agit de mesurer la valeur d'une résistance à l'aide d'un voltmètre et d'un ampèremètre. A priori l'étude de n'importe quel montage électronique permettrait de mettre en application les techniques de calcul présentées en début de séance. Le choix d'un montage simple, surtout en début d'année, permet de bien mettre l'accent sur l'évaluation des incertitudes de mesure et sur le calcul de propagation d'erreur sans ajouter d'autres problèmes théoriques.

Pour traiter ce sujet, l'étudiant doit utiliser les différentes notions présentées précédemment et attacher un soin tout particulier à la rédaction de son compte-rendu.

Un point rapide sur la détermination pratique de l'erreur liée à l'utilisation d'appareils de mesure (analogiques ou numériques) est souvent indispensable. Les élèves doivent avoir à leur disposition les documentations techniques de tous les appareils. Des notations comme [Resolution = $10\mu\text{A}$; Accuracy = $\pm 1,2\%$ of rdg ± 3 digits] leur deviendront familières.

Sujet : Mesure d'une résistance

1 OBJECTIF DU TP – NOTIONS ABORDÉES
Prise en compte des incertitudes dans les TP, écriture rigoureuse des résultats de mesure et des calculs théoriques et expérimentaux. Se servir des incertitudes pour valider un modèle ou une mesure.

2 PRÉSENTATION DU MATÉRIEL À DISPOSITION

-Deux résistances 5%	-Un ampèremètre
-Deux cavaliers	-Un voltmètre
-Deux pinces crocodile	-Une alimentation continue 15V

3 MESURES
Attention, faites bien apparaître le détail du calcul avant d'écrire le résultat !
Pour l'ensemble des mesures, vous utiliserez toujours le même ampèremètre (multimètre de table) et le même voltmètre (multimètre portable) de la façon suivante décrite en figure 1, R étant la résistance à mesurer.

- 1- Quelle est la valeur de V_G mesurée ? (détaillez la valeur du ΔV_G)
- Pour $R = 910 \Omega$ quelle est la valeur de I_{R1} mesurée ? (détaillez la valeur du ΔI_{R1})
- 2- A l'aide de la loi d'Ohm, déduisez R_1 .
- 3- Pour $R = 1300 \Omega$ mesurez I_{R2} puis déduisez-en R_2 .
- 4- Déduisez des questions précédentes la valeur de la résistance équivalente R_{eq} formée par R_1 en série avec R_2 .
- 5- Dans le même cas où $R = R_1$ en série avec R_2 , calculez la valeur de la tension V_{R2} aux bornes de R_2 .
- 6- Sur un graphique à une dimension, tracez les valeurs « constructeur » et expérimentales de R_1 , puis de R_2 et enfin de R_{eq} .
- 7- S'il vous reste du temps, mesurez les valeurs de R_1 , R_2 , R_{eq} directement à l'ohmmètre puis comparez les mesures aux valeurs précédentes.

fig 2 : Exemple de sujet distribué

Cette partie peut prendre entre 1h et 1h30 suivant le temps accordé à la rédaction [fig.1].

3 AUTO-ÉVALUATION DU COMPTE-RENDU SCIENTIFIQUE

Cette partie de la séance est essentielle. Elle vise deux objectifs principaux. Le premier objectif est général : permettre aux étudiants de bien comprendre ce que l'on peut attendre d'un compte-rendu d'expérience scientifique, en corrigeant avec eux, pas à pas ce qu'ils viennent de faire. Le second objectif est « scolaire » : en évaluant l'un de leur camarade, les étudiants sont

sensibilisés aux erreurs les plus fréquentes, mais aussi à la difficulté d'évaluer un travail expérimental, à la nécessité d'être le plus rigoureux possible etc.

Très Bien	Objectifs	À améliorer
	(Cocher les cases des parties apparaissant dans le compte rendu)	
	Y a-t-il une Introduction et une Conclusion ?	
	Présentation du TP <input type="checkbox"/>	Synthèse des conclusions/bilans <input type="checkbox"/>
	Objectif / but du TP <input type="checkbox"/>	Bilan scientifique <input type="checkbox"/>
	Identification des notions abordées <input type="checkbox"/>	Bilan personnel <input type="checkbox"/>
	méthode utilisée <input type="checkbox"/>	Plan du compte rendu <input type="checkbox"/>
	... <input type="checkbox"/>	... <input type="checkbox"/>
	Le Protocole expérimental est-il décrit ?	
	Schéma de montage + points de mesure représentés sur schéma <input type="checkbox"/>	Type d'appareil utilisé <input type="checkbox"/>
	Description de la procédure de mesure <input type="checkbox"/>	Rôle des divers composants <input type="checkbox"/>
	Conditions pouvant influencer la mesure <input type="checkbox"/>	Réglage des appareils <input type="checkbox"/>
	... <input type="checkbox"/>	... <input type="checkbox"/>
	Présentation des résultats & Incertitudes ?	
	Le résultat est avec son incertitude <input type="checkbox"/>	Sur la même ligne <input type="checkbox"/>
	Avec la même unité <input type="checkbox"/>	Avec la même précision <input type="checkbox"/>
	... <input type="checkbox"/>	... <input type="checkbox"/>
	Y a t il des Commentaires ?	
	Vérification de la validité du résultat <input type="checkbox"/>	explication du « phénomène physique » <input type="checkbox"/>
	Comparaisons <input type="checkbox"/>	Justification des affirmations <input type="checkbox"/>
	Tableau comparatif <input type="checkbox"/>	Conclusions et bilan <input type="checkbox"/>
	L'étudiant sait décrire ce qu'il voit <input type="checkbox"/>	... <input type="checkbox"/>
	... <input type="checkbox"/>	... <input type="checkbox"/>
	Et les Figures et la clarté de rédaction ?	
	Nom des axes <input type="checkbox"/>	Echelle pour chaque axe <input type="checkbox"/>
	Unités pour chaque axe <input type="checkbox"/>	Barres d'incertitudes <input type="checkbox"/>
	Une légende <input type="checkbox"/>	Mise en page accessible <input type="checkbox"/>
	Citations du n° de figure <input type="checkbox"/>	Clarté typographique <input type="checkbox"/>
	... <input type="checkbox"/>	compte rendu bien structuré <input type="checkbox"/>
	... <input type="checkbox"/>	... <input type="checkbox"/>

fig.3 Fiche d'évaluation

La technique que nous avons testée consiste à échanger les copies de deux groupes ayant effectué la séance en parallèle (simultanément mais dans deux salles différentes). Chaque élève est chargé de corriger intégralement la copie qui lui a été remise. Afin de les responsabiliser au maximum, nous leur demandons d'aller jusqu'à noter cette copie (note que dans la plupart du temps nous garderons telle quelle). Afin de les préparer à cet exercice spécifique qu'est la correction et l'évaluation, nous leur fournissons sur transparents par exemple, une correction et un barème précis, dont il faut prendre le temps de discuter avec la classe. Un temps est ensuite laissé à chacun pour effectuer la correction de la copie qui lui a été attribuée. Cet exercice amène de nombreuses questions, entre eux et à l'enseignant. Les étudiants prennent conscience de la difficulté qu'il y a à bien rédiger un compte-rendu afin qu'il soit compréhensible et exploitable. Leurs propres erreurs les amènent à une relative indulgence envers leurs camarades, mais surtout à plus de sérieux dans la rédaction des futurs comptes-rendus scientifiques.

4 CONCLUSION

Au cours de séance qui est la première d'un cycle conséquent de travaux pratiques recouvrant divers domaines de la physique, de l'E.E.A et des matériaux, l'étudiant aborde deux points clés : la restitution d'un résultat expérimental d'une part (mise en évidence d'un problème scientifique, élaboration d'un protocole expé-

rimental, présentation des résultats obtenus, comparaison avec un modèle et discussion de ces résultats), la notion d'incertitudes associée à un résultat de mesure ou de calcul, d'autre part.

Le fait de construire cette séance de manière très différente des suivantes lui donne d'avantage de poids et marque les étudiants. Le choix d'un débat scientifique afin d'aborder les difficultés liées au calcul de la propagation de l'erreur est particulièrement intéressant. Il rend les élèves présents et disponibles, permet d'aborder facilement et de graver des notions complexes. Il permet également d'instaurer une dynamique au sein du groupe dès la première séance de travaux pratiques. Le choix fait de ne réaliser lors de cette séance que des manipulations très simples : mesure d'un temps de chute, mesure de courant et de tension, permet de conserver au discours son caractère très général, applicable à l'ensemble des domaines scientifiques. Enfin l'évaluation des comptes-rendus par les étudiants eux même est pour eux une expérience très formatrice.

Dans l'ensemble, ce TP mis en place il y a deux ans et fortement remanié cette année est très bien accueilli par les étudiants. Si le débat scientifique est parfois difficile à mettre en place et à amorcer véritablement, une fois lancé, on a l'agréable surprise de les voir se prendre au jeu : chacun propose des solutions, et défend la sienne. Ils se rendent compte à ce moment là également de l'importance de la « forme » de la transmission scientifique et de la pertinence des résultats présentés : la plupart du temps celui qui emporte l'adhésion dans un tel débat est celui qui présente le mieux sa théorie, le plus convainquant et non pas celui qui a le bon résultat.

Enfin, le fait de leur laisser corriger une copie a tendance à les mettre assez mal à l'aise, car ils y accordent une grande importance (force de la note sanction). Mais ils sont surpris de se rendre compte de la difficulté et dans l'ensemble utilisent cette expérience pour comprendre par la suite l'évaluation faite de leurs différents comptes-rendus.



fig 4 : générique du film d'animation "un monde incertain"

PERSPECTIVES

Cette expérience pédagogique a fait l'objet de plusieurs prolongements. Tout d'abord nous avons cherché à évaluer l'impact de cette première séance de travaux pratiques un peu particulière sur les étudiants en mettant en place un sondage en ligne, auprès de l'ensemble des élèves (360 en 1ère année). Nous avons été assistés dans cette démarche par la cellule « PerForm » de Grenoble-INP, chargée d'assister les enseignants pour perfectionner, dynamiser et évaluer leurs enseignements. Les résultats nous seront bientôt dévoilés. Par ailleurs, un sujet de projet a été proposé l'an passé par Simon Hemour à 4 étudiants de première année. Le but était de réaliser un film pédagogique et ludique mettant en évidence l'importance de la notion d'incertitudes. Le film d'animation 3D de 13 min « Un monde incertain » [fig.4] est le résultat de ce projet. Il a été proposé cette année au « festival du film de chercheur ». Ce travail est d'un professionnalisme très satisfaisant et nous l'utiliserons dorénavant auprès de nos futurs étudiants en introduction ou en conclusion de la séance de travaux pratiques.

Bibliographie

- [1] Pinelli P., Lefevre R. 'Etudiants chercheurs : une proposition en électrocinétique', ASTER n°17, Modèles pédagogiques (1993) pp65-87.
- [2] Hemour S., Pasquier J. "La pratique du débat scientifique", Annales des ateliers du CIES de l'académie de Grenoble (2009)
- [3] Durand C., Douady J. "Principe des débats scientifiques", Document pédagogique interne au CIES de Grenoble
Contact : julien.douady@ujf-grenoble.fr