Mesures et incertitudes

Quantifier la variabilité avec plusieurs mesures

Lorsque l'on mesure une grandeur physique, le résultat de la mesure est toujours associé à une incertitude liée à la variabilité. Celle-ci traduit le fait que, pour tout appareil de mesure, la répétition d'une opération de mesure n'aboutit pas nécessairement au même résultat. Différentes mesures d'une grandeur physique donnent différentes valeurs mesurées en raison des variations liées à l'instrument de mesure, son utilisation et à la variabilité de facteurs non contrôlés. La distribution des valeurs obtenues peut être mise en regard des lois de probabilité. Ainsi, lorsqu'on répète la mesure d'une grandeur, on peut faire appel aux statistiques pour estimer la valeur mesurée de la grandeur et son incertitude. On parle alors d'estimation de l'incertitude de type A.

Dans certains cas, assez fréquents avec les appareils de mesure numériques, la répétition d'une mesure avec le même appareil ne donne pas lieu à une variation perceptible par la précision de l'appareil. L'incertitude, dans ce cas, provient d'une part de la résolution de l'appareil, et d'autre part du fait que si on avait réalisé la mesure avec un autre appareil du même type, on aurait sans doute trouvé un résultat un peu différent. Il est, le plus souvent, impossible de réaliser une mesure avec différents exemplaires de l'appareil de mesure, c'est pourquoi, pour estimer l'incertitude, on doit dans ce cas se reporter à la notice de l'appareil, comme les programmes le recommandent. Il convient de noter que, dans ce cas, c'est le constructeur lui-même qui s'est livré en amont à une étude statistique des valeurs renvoyées par différents exemplaires du même modèle pour estimer l'incertitude sur une valeur mesurée. Ce type d'incertitude est donc une incertitude de type B, mais qui est en fait une incertitude de type A évaluée par quelqu'un d'autre.

Dès la seconde professionnelle, il est possible de mobiliser les capacités et connaissances en statistiques du programme de mathématiques autour des indicateurs de position et de dispersion et plus particulièrement la **moyenne** et **l'écart-type.**

On choisit alors, comme résultat de la mesure résultant de plusieurs opérations de mesure, la moyenne arithmétique des valeurs obtenues en considérant que c'est la meilleure estimation possible de la grandeur physique mesurée. Et on choisit comme indicateur de dispersion, autour de cette valeur moyenne, l'écart-type de la distribution des mesures. Au niveau du baccalauréat professionnel, on considérera que l'écart-type est une bonne estimation de cette variabilité et une quantification de l'incertitude associée au résultat de la mesure sans aller plus avant.
Par ailleurs, dans une toute première approche, l'étendue permet déjà de sensibiliser les élèves à la notion de variabilité des valeurs obtenues. Cette première approche a déjà été abordée dans le module sur les enjeux de la mesure dans le domaine acoustique.

L'utilisation de dispositifs de mesure EXAO permet l'obtention d'un grand nombre de valeurs dans un temps court, permettant leur exploitation statistique. L'estimation des incertitudes de mesures des appareils est réalisée à partir de ce principe par les constructeurs.

A titre d'exemple, la mesure de la pression atmosphérique abordée dans les modules enjeux et variabilité de la mesure, se prête bien à cette démarche. La répétition du processus de mesure permet de caractériser la variabilité des valeurs obtenues, le calcul des moyennes arithmétiques et des écarts-types donnent le résultat de la mesure de chacune des séries et quantifient chacune des incertitudes associées.
Dans les séries de mesures suivantes, la valeur de référence est celle de météo France et a pour valeur 1002,2 hPa.

	EXAO-C1 (hPa)	EXAO-C2 (hPa)	EXAO-C3 (hPa)	EXAO-C4 (hPa)	Pressure (hPa) Smartphone 1
Série 1 : Moyenne	999,2	990,3	1003,2	1001,1	998,1
Série 2 : Moyenne	999,2	989,0	1004,6	1001,0	998,0
Série 3 : Moyenne	998,0	987,8	1003,0	999,7	998,0

	EXAO-C1 (hPa)	EXAO-C2 (hPa)	EXAO-C3 (hPa)	EXAO-C4 (hPa)	Pressure (hPa) Smartphone 1
Série 1 : Ecart-type	0,087	0,082	0,092	0,049	0,004
Série 2 : Ecart-type	0,100	0,120	0,093	0,030	0,007
Série 3 : Ecart-type	0,075	0,086	0,067	0,058	0,007

Le fichier complet est disponible au format tableur dans le parcours

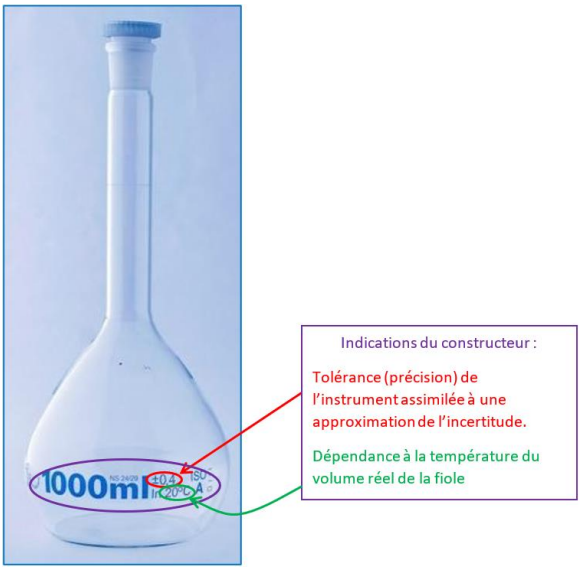
Nous présenterons d'autres pistes pour estimer l'incertitude avec plusieurs mesures en classe dans le module dédié qui sera prochainement publié.

Quantifier la variabilité avec une seule mesure

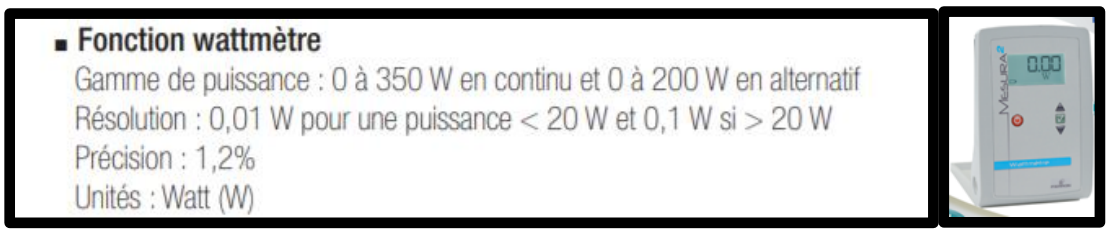
Les instruments de mesure possèdent tous des caractéristiques qui permettent d'estimer l'incertitude sur une mesure unique. Ces caractéristiques sont communiquées par le constructeur à travers les notices ou directement sur les instruments. Lorsque l'on s'appuie sur les données du constructeur pour évaluer l'incertitude sur une seule mesure, on parle alors d'estimation de l'incertitude de type B. Il faut cependant comprendre que ces données communiquées par le constructeur ont été obtenues par le constructeur en procédant à une évaluation de type A de l'incertitude associée à une mesure effectuée avec l'instrument comme cela a déjà été évoqué dans la partie précédente.

La répétition de la mesure n'est pas toujours faisable ou souhaitable, par exemple pour des raisons environnementales en chimie. C'est l'occasion de sensibiliser les élèves à l'utilisation raisonnée des produits chimiques et de justifier que l'on procède à une évaluation de l'incertitude à partir des informations du constructeur plutôt que par des méthodes statistiques qui nécessiteraient la répétition de la mesure et donc l'utilisation de davantage de produits chimiques.

Toute la verrerie en chimie porte des indications du constructeur permettant d'estimer l'incertitude lors d'une mesure unique. Nous pouvons la lire sur cette fiole jaugée :



Dans le cadre de l'activité sur la puissance électrique présentée dans ce parcours, on peut réaliser avec les élèves le calcul de l'incertitude associée à la puissance électrique, à partir de la mesure affichée par le wattmètre, considéré comme "boîte noire", qui donne la valeur de la puissance. La fiche technique du constructeur donnant les indications permet aux élèves de réaliser le calcul d'incertitude eux-mêmes et ainsi, pouvoir interpréter les valeurs obtenues et le nombre de chiffres à conserver pour la lecture de la valeur affichée.



Nous présenterons d'autres pistes pour estimer l'incertitude avec une mesure unique dans le module dédié qui sera prochainement publié.

Incertitudes composées

Lorsqu'on cherche à quantifier l'incertitude associée à une grandeur calculée à partir d'une ou plusieurs grandeurs mesurées, on procède au calcul d'incertitudes composées. Ce calcul est nécessaire dans de nombreuses situations rencontrées dans le cadre de l'enseignement de la physique chimie au niveau du baccalauréat professionnel. Cependant, le calcul des incertitudes composées est hors programme. Il appartient donc à l'enseignant de procéder à ce calcul afin que les élèves puissent l'exploiter.

Dans le cadre de l'activité portant sur le domaine électricité, le calcul de l'incertitude associée à la puissance électrique, calculée à partir de la mesure de U, I et de la relation $P = U \times I$ est le résultat d'un calcul d'incertitude composée.

Pour permettre aux élèves d'analyser cette situation, nous proposerons dans le prochain module dédié de ce parcours, une feuille de calcul dans laquelle les élèves doivent seulement renseigner des valeurs relevées dans la fiche technique des multimètres utilisés. Le calcul des incertitudes composées sera effectué instantanément. Les élèves pourront alors exploiter les résultats obtenus pour valider la relation $P = U \times I$ avec leurs résultats de mesures.

5.2. Caractéristiques

La précision est de ± [% de la lecture (L) + nombre d'unités de représentation (UR)].
{Précision : "n %L + n UR" signifie "n % de la lecture + n Unité de Représentation"}.

5.2.1. Tensions continues

Position du commutateur	Gammes	Précision	Impédance d'entrée	Protection (*)	Résolution
ADPDC	500 mVDC	0,3 %L + 2 UR	10 MΩ	± 600 VRMS	0.1 mVDC
VDC	5 VDC		11 MΩ	± 1100 VPEAK	1 mVDC
	50 VDC		10 MΩ		10 mVDC
	500 VDC				100 mVDC
	1000 VDC				1 VDC

(*) Tension maximale permanente admissible

5.2.3. Courants continus

Position du commutateur	Gammes	Précision	Chute de tension max.	Protection	Fusibles (*)	Résolution
50 mADC	50 mADC	0.3 %L + 2 UR	< 600 mV	600 VRMS	F1 + F2	10 µADC
10 ADC (**)	10 ADC	1 %L + 5 UR	< 700 mV	600 VRMS	F2	10 mADC

Dans le cadre de l'activité portant sur le domaine de la Chimie présentée dans ce parcours, le calcul d'une concentration ou d'une masse à l'issue d'un dosage fait appel à une formule dans laquelle interviennent plusieurs grandeurs mesurées auxquelles sont associées des incertitudes (concentrations, solutions mères, volumes, …). Le calcul de l'incertitude associée à la concentration ou à la masse calculée est là encore un calcul d'incertitude composée. Nous présenterons un outil afin d'estimer l'incertitude composée dans le module dédié qui sera prochainement publié.