

Mesure et incertitudes



Mesure et incertitudes en seconde

Objectifs

Exemple de démarche

**Mesure et incertitudes en Première – Enseignement
de spécialité**

Tester une loi

Utilisation d'un microcontrôleur

Objectifs

En classe de seconde, **l'objectif principal est de sensibiliser les élèves**, 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.

- Variabilité de la mesure d'une grandeur physique :
 - Comment la visualiser ?
 - Comment l'estimer ?
- Donner du sens dans un contexte disciplinaire : « faire » des incertitudes uniquement si ça apporte une plus-value, il faut donc repérer les situations favorables aux incertitudes.
- Développer l'esprit critique des élèves.

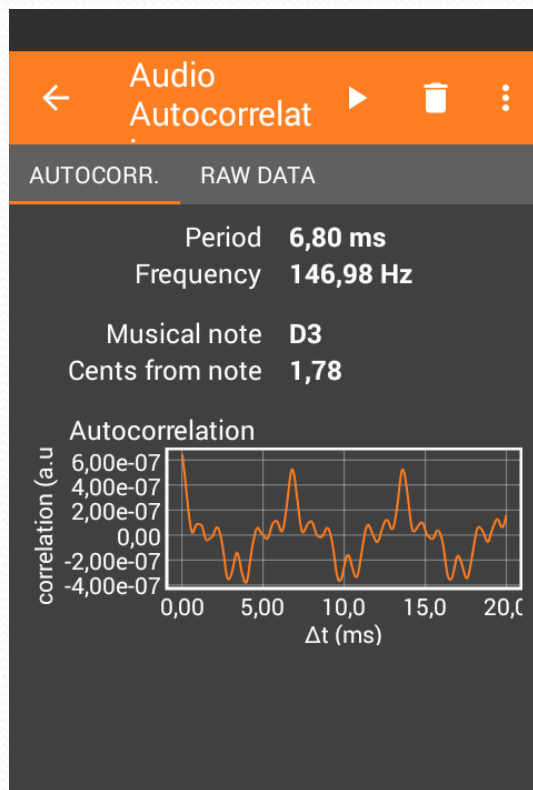
Par rapport à ce que l'on faisait dans les anciens programmes, il faut « simplifier » :

- un vocabulaire limité (ne plus parler de mesurande par exemple), simple et précis
- des outils simplifiés (qui doivent donner du sens à ce que l'on fait) : ne plus parler d'incertitude élargie, facteur de Student, ...

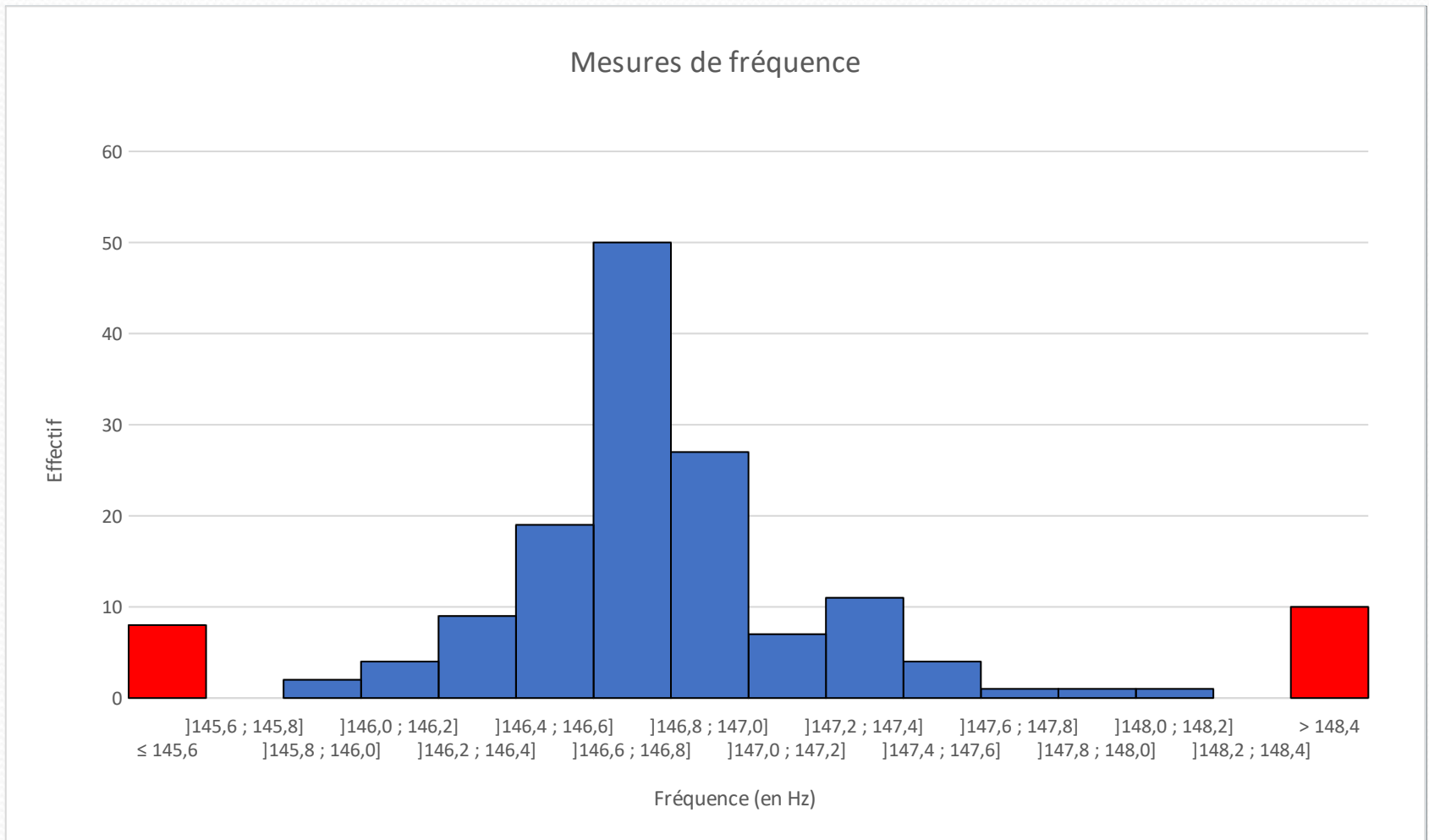
Sensibilisation : Mesure de la fréquence de la note Ré₂ jouée à la guitare

A partir de la vidéo (<https://www.youtube.com/watch?v=1P1IX3c1yvo>), mesurez, à l'aide de votre smartphone, la fréquence de la note jouée à la guitare.

Faire 4 à 5 mesures.



Résultat des mesures collectives



Valeurs aberrantes

Quelques exemples de valeurs aberrantes obtenues
lors de nos mesures (en Hz) :

62,41

81,62

103,57

153,18

255,54

Résultat des mesures collectives (avec toutes les mesures, y compris valeurs aberrantes)

Nombre total de mesures	154
Valeur moyenne (en Hz)	146,2
Écart-type s (en Hz)	13,8
Incertitude-type (en Hz)	1,1

Calcul de l'incertitude-type :

$$u(f) = \frac{s}{\sqrt{n}} \text{ avec } n \text{ le nombre de mesures}$$

L'incertitude-type est la grandeur qui va donner une idée de la variabilité des mesures.

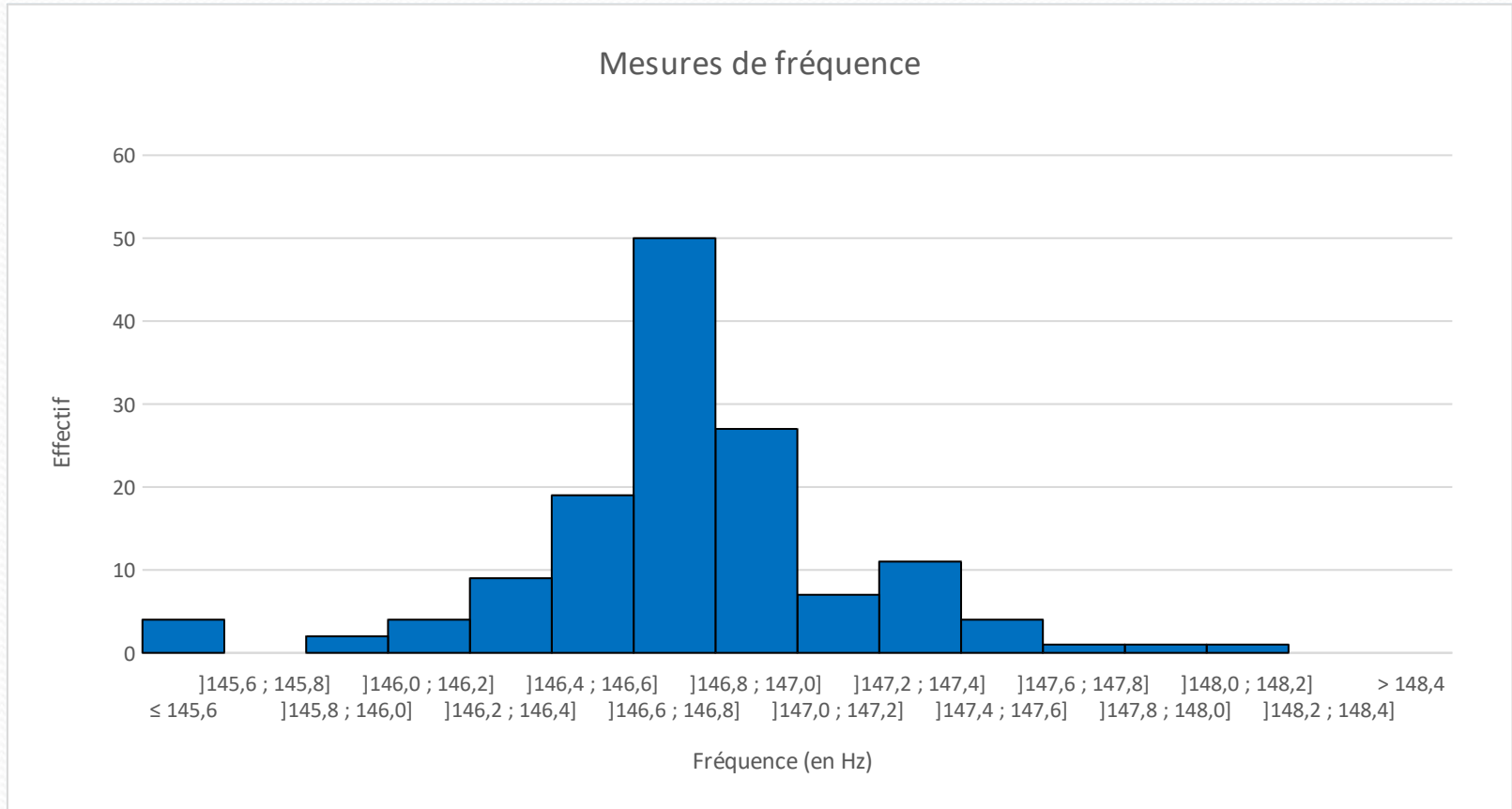
Plus l'incertitude-type sera grande, plus la variabilité des valeurs mesurées sera grande.

“L'incertitude-type fournit alors une estimation de l'étendue des valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à la grandeur physique.” Extrait du programme.

Il n'y a pas de règles en métrologie qui dit que l'on doit forcément garder 1 chiffre significatif pour l'incertitude-type, ni s'il faut arrondir à l'excès.

On doit rester assez flexible sur ces points.

Résultat des mesures collectives (après suppression des valeurs aberrantes)



Résultat des mesures collectives (après suppression des valeurs aberrantes)

Extrait du programme :

Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole.

Nombre total de mesures	140
Valeur moyenne (en Hz)	146,74
Écart-type s (en Hz)	0,55
Incertitude-type (en Hz)	0,05

L'incertitude-type permet de choisir le nombre de chiffres significatifs.

Écriture du résultat

Dans les conditions de l'expérience, avec un échantillon de 140 mesures, **la fréquence mesurée** de la note Ré₂ jouée à la guitare **est de 146,74 Hz avec une incertitude-type de 0,05 Hz.**

Comparer avec une valeur de référence

Valeur de référence : 146,83 Hz (gamme tempérée)

Conclusion sur la compatibilité ou non-compatibilité des mesures avec la valeur de référence.

Il y a compatibilité si la valeur moyenne des mesures diffère de la valeur de référence de l'ordre de l'incertitude type.

Ne plus utiliser l'écart relatif !

Un critère quantitatif sera introduit, mais seulement en classe de terminale.

Comparer avec une valeur de référence

L'objectif est de susciter des discussions (**compétences Valider et Communiquer**) : faire réfléchir les élèves aux raisons qui font que notre résultat s'éloigne de la valeur de référence, comment améliorer la précision de la mesure (matériel, protocole, ...), peut-on valider nos mesures, ...

Il s'agit de **donner du sens aux incertitudes** et pas de faire une suite de calculs.

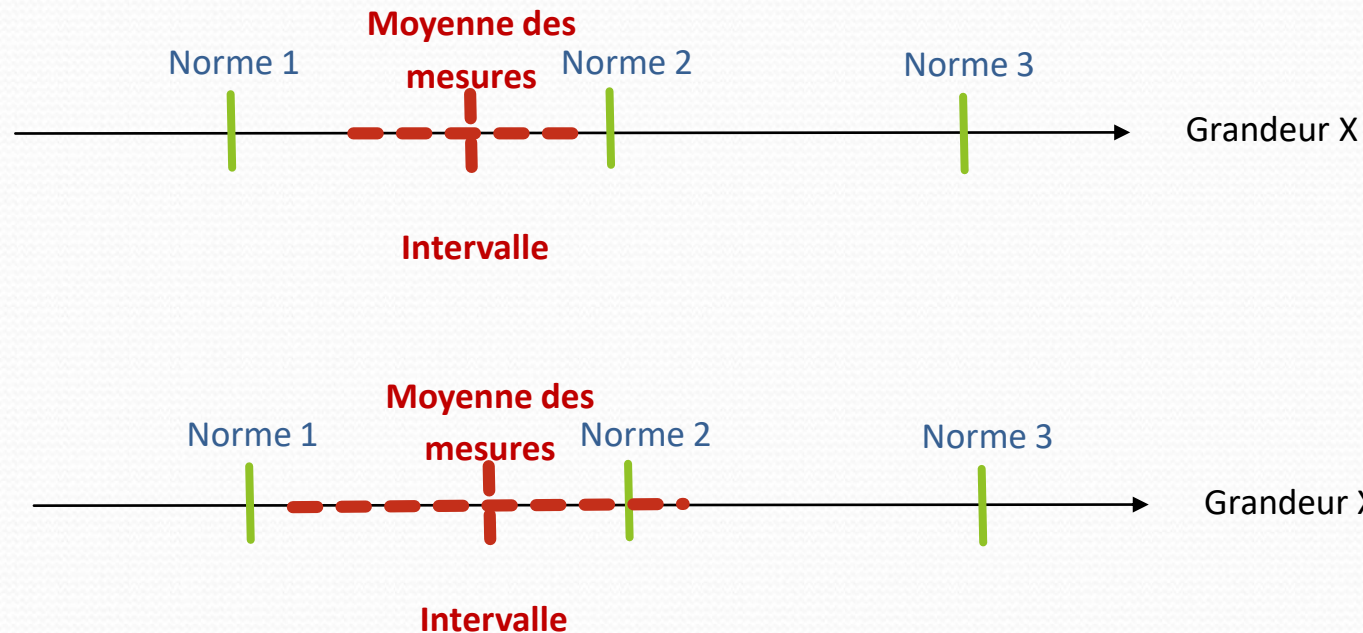
Il y a compatibilité si la valeur moyenne des mesures diffère de la valeur de référence de l'ordre de l'incertitude type.

Valeur de référence située à ± 2 incertitudes-types ? 3 incertitudes-types ?

Pas de règle. Il faut susciter des discussions auprès des élèves.
Cela peut dépendre du contexte.

Comparer avec une valeur de référence

Par exemple, si problème de santé publique, ne vaudrait-il pas mieux élargir l'intervalle pour dire que la norme 2 a été atteinte (principe de précaution) ?



Attention ! Représenter le résultat d'une mesure sous forme d'un intervalle peut laisser penser aux élèves que la valeur vraie est forcément dans cet intervalle, ce qui n'est pas toujours le cas. L'utilisation d'intervalles n'est donc pas forcément conseillée.

BO – Programme de la classe de seconde

Points du programme abordés avec cet exemple de démarche.

Notions et contenus	Capacités exigibles
Variabilité de la mesure d'une grandeur physique.	<p>Exploiter une série de mesures indépendantes d'une grandeur physique : histogramme, moyenne et écart-type.</p> <p>Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole.</p> <p>Évaluer qualitativement la dispersion d'une série de mesures indépendantes.</p> <p>Capacité numérique : Représenter l'histogramme associé à une série de mesures à l'aide d'un tableur.</p>
Incertitude-type.	<p>Expliquer qualitativement la signification d'une incertitude-type et l'évaluer par une approche statistique.</p>
Écriture du résultat. Valeur de référence.	<p>Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat d'une mesure.</p> <p>Comparer qualitativement un résultat à une valeur de référence.</p>

Cas d'une mesure unique

Un expérimentateur, arrivé en retard, obtient une mesure de 146,31 Hz.

Comment écrire le résultat avec un nombre de chiffres significatifs adapté de sa mesure ?

Dans le cas d'une mesure unique pour laquelle on connaît l'écart-type (étude statistique préalablement effectuée), on s'appuie sur l'**écart-type** associé à cette mesure.

Dans notre exemple, $s = 0,6$ Hz

Le résultat peut alors être noté :

Dans les conditions de l'expérience, avec une **mesure unique**, la fréquence mesurée de la note Ré₂ jouée à la guitare est de 146,3 Hz avec une incertitude-type de 0,6 Hz.

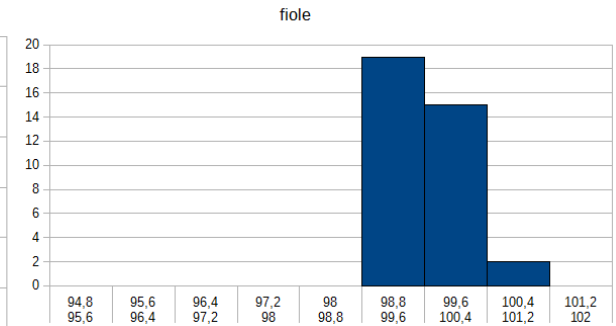
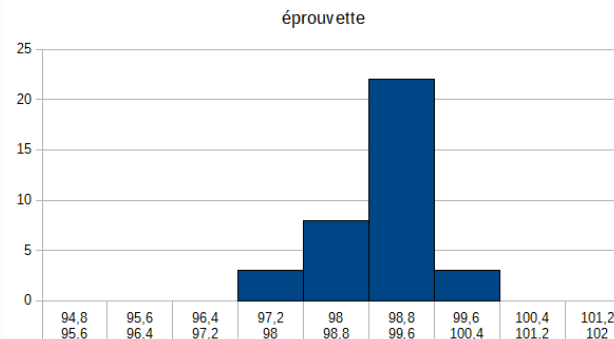
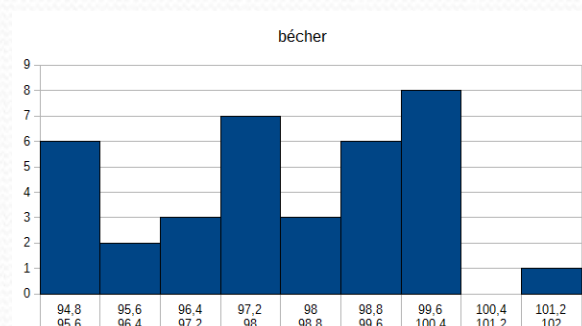
Capacité exigible

« Discuter de l'influence de l'instrument de mesure et du protocole. »

"Mesurer des masses pour étudier la variabilité du volume mesuré par une pièce de verrerie ; choisir et utiliser la verrerie adaptée pour préparer une solution par dissolution ou par dilution." extrait du thème constitutions et transformations de la matière

Résultat des mesures d'un volume de 100 mL par des élèves (masses / effectifs pour un bécher, une éprouvette, une fiole).

Source : PNF « Nouveaux programmes en physique-chimie » - Mars 2019



Mesure et incertitudes en Première - Enseignement de spécialité

Introduction de l'évaluation de type B d'une incertitude-type,

par exemple dans le cas d'une mesure unique effectuée avec un instrument de mesure dont les caractéristiques sont données.

Evaluation de type B

= évaluation d'une incertitude-type par une approche autre que statistique.

Les incertitudes composées ne seront abordées qu'en classe de terminale.

Incertitude-type (évaluation de type B)

Quand on peut attribuer une valeur numérique à une grandeur physique, alors il est toujours possible de l'encadrer (mesure d'une température sur un thermomètre à alcool, mesure à l'aide d'une règle graduée, ...).

Le milieu de cet intervalle correspondra au **meilleur estimateur de la grandeur mesurée**.

La demi-largeur de l'intervalle défini est, en première approximation, un estimateur de l'incertitude-type.

Tester une loi

Seconde	Première (spécialité)
<i>Tester les lois de Snell-Descartes à partir d'une série de mesures et déterminer l'indice de réfraction d'un milieu.</i>	<i>Tester la loi de Mariotte, par exemple en utilisant un dispositif comportant un microcontrôleur.</i>
	<i>Tester la loi fondamentale de la statique des fluides.</i>
	<i>Tester la relation approchée entre la variation du vecteur vitesse entre deux instants voisins et la somme des forces appliquées au système.</i>
	<i>Tester la relation de conjugaison d'une lentille mince convergente.</i>

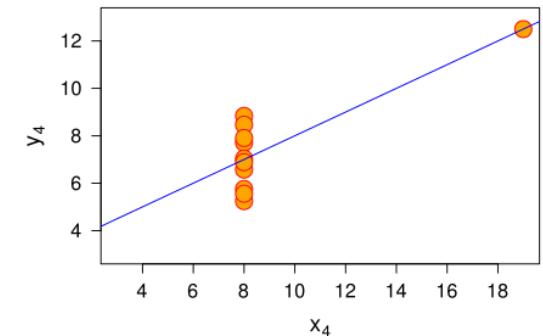
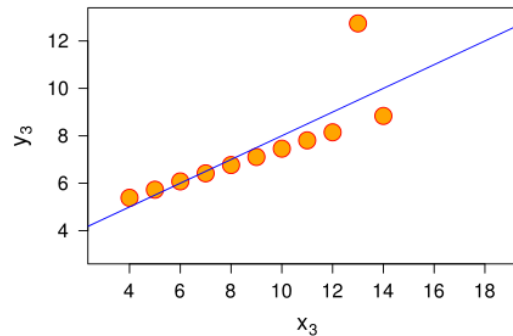
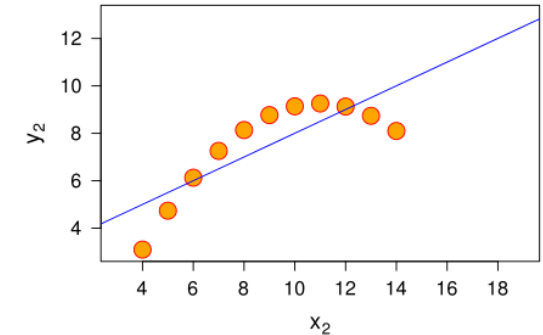
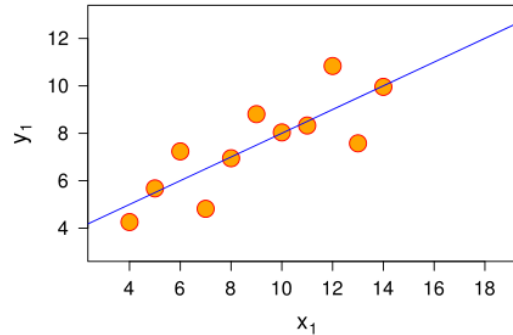
Tester une loi individuellement

L'élève peut réaliser une régression linéaire.

Mais attention : l'utilisation du coefficient de corrélation R ou du coefficient de détermination R^2 seul n'est pas suffisante pour conclure, il est aussi **nécessaire de procéder à une visualisation graphique**, comme le montre le quartet d'Anscombe.

Quartet d'Anscombe

	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4
0	x,y	x,y	x,y	x,y
1	10.0,8.4	10.0,9.14	10.0,7.46	8.0,6.58
2	8.0,6.95	8.0,8.14	8.0,6.77	8.0,5.76
3	13.0,7.58	13.0,8.74	13.0,12.74	8.0,7.71
4	9.0,8.81	9.0,8.77	9.0,7.11	8.0,8.84
5	11.0,8.33	11.0,9.26	11.0,7.81	8.0,8.47
6	14.0,9.96	14.0,8.10	14.0,8.84	8.0,7.04
7	6.0,7.24	6.0,6.13	6.0,6.0	8.0,5.25
8	4.0,4.26	4.0,3.10	4.0,5.39	19.0,12.50
9	12.0,10.84	12.0,9.13	12.0,8.15	8.0,5.56
10	7.0,4.82	7.0,7.26	7.0,6.42	8.0,7.91
11	5.0,5.68	5.0,4.74	5.0,5.73	8.0,6.89
moyenne	9.0,7.50	9.0,7.50	9.0,7.50	9.0,7.50
variance	10.0,3.75	10.0,3.75	10.0,3.75	10.0,3.75
coeff. corrélation	0.816	0.816	0.816	0.816
régression linéaire	$y=3+0.5x$	$y=3+0.5x$	$y=3+0.5x$	$y=3+0.5x$



Remarque : En supprimant la valeur aberrante de la série 3, on obtiendrait un coefficient de corrélation égal à 1 (avec une pente légèrement inférieure à 3).

Tester une loi collectivement

On peut valider collectivement une « pente moyenne » en étudiant l'incertitude-type sur la pente moyenne et « l'ordonnée à l'origine moyenne » en étudiant l'incertitude-type sur l'ordonnée moyenne.

Pour cela, on peut calculer la moyenne des pentes (et des ordonnées à l'origine) trouvées par chaque groupe d'élèves, puis l'écart-type et enfin l'incertitude-type sur cette moyenne.

Puis on compare avec la pente prévue par la loi, de même pour l'ordonnée à l'origine.

S'il n'y a pas compatibilité entre les mesures et la loi, les élèves doivent se demander pourquoi (erreurs de manipulation, matériel utilisé, protocole à améliorer ?).

Il ne s'agit bien évidemment pas de dire que la loi est fausse !

Utilisation d'un microcontrôleur

Permet de faire un grand nombre de mesures en une durée restreinte.