

TP Ondes 2

Démarche expérimentale

U. Kuhl, M. Iapichino, C. Raufaste

Université de Nice - Sophia Antipolis

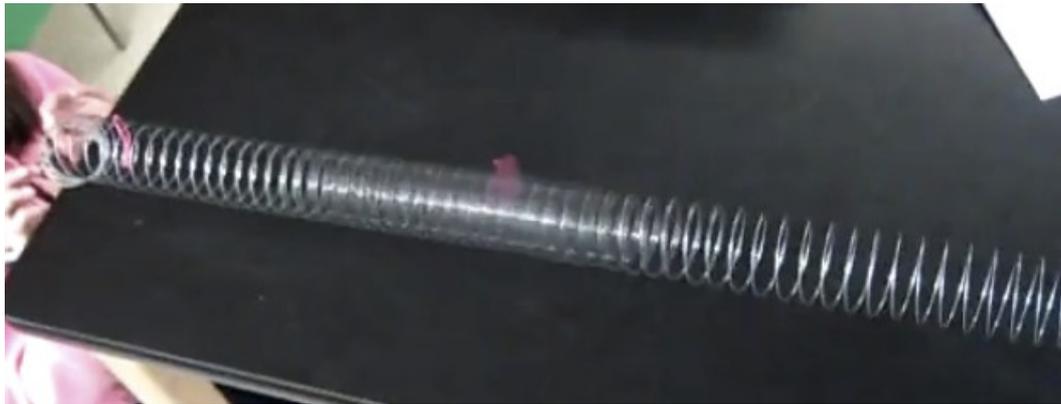
Introduction

- Méthode scientifique et rigoureuse
- Outils pour l'approche expérimentale
- Notions fondamentales : erreur, incertitude, dispersion, tendance, ajustement, ...
- protocole adapté / cahier des charges

I. Erreurs, incertitudes, dispersion

Expérience modèle

- Propagation d'une onde le long d'un ressort



Mesure de la vitesse de propagation

$L = \dots$ (longueur du ressort)

$n = \dots$ (nombre d'allers)

$t = \dots$ (temps de parcours)



$$v = nL/t$$

Expérience modèle

- Propagation d'une onde le long d'un ressort



Mesure de la vitesse de propagation

$$L = 6 \text{ m}$$

$$n = 6$$

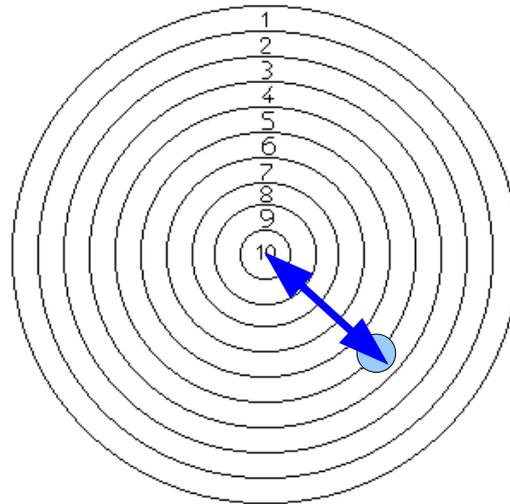
$$t = 2.2665 \text{ s}$$



$$\begin{aligned} v &= nL/t \\ &= 20 \text{ m/s} \quad ? \\ &= 15.8 \text{ m/s} \quad ? \\ &= 15.884 \text{ m/s} \quad ? \end{aligned}$$

Erreurs vs Incertitudes

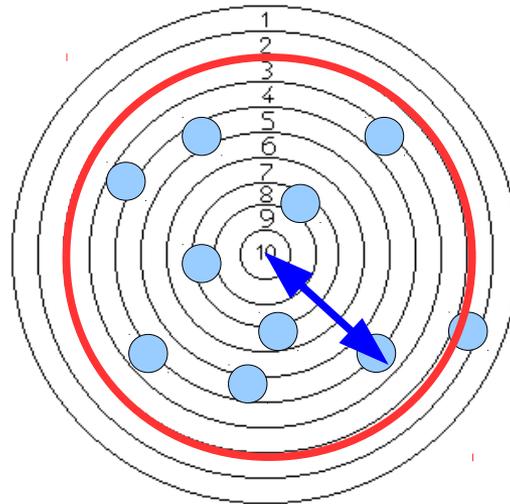
- ❑ Erreur : différence entre une mesure et sa valeur **vraie**
- ❑ Incertitude : **quantification** de l'erreur possible lorsque l'on effectue une mesure



chaque mesure a son erreur

Erreurs vs Incertitudes

- ❑ Erreur : différence entre une mesure et sa valeur **vraie**
- ❑ Incertitude : **quantification** de l'erreur possible lorsque l'on effectue une mesure

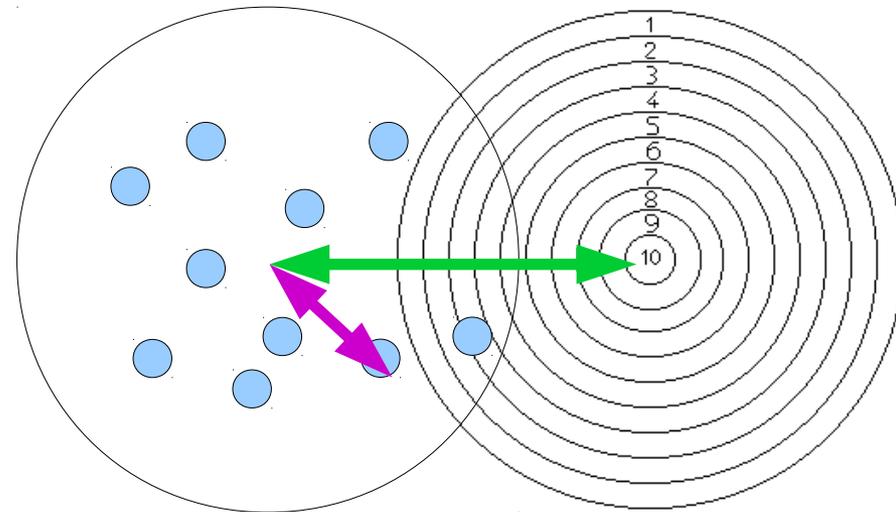


chaque mesure a son erreur

90% des mesures se situent entre 3 et 10

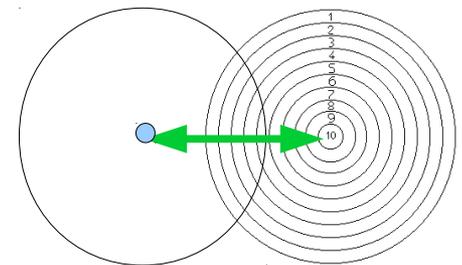
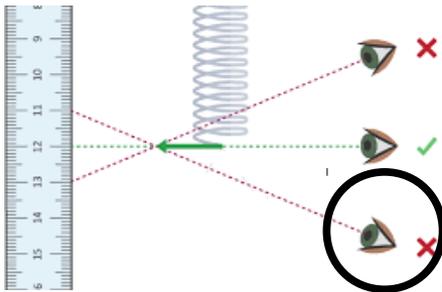
Erreurs : 2 catégories

- ❑ **Erreur systématique** : biais, erreur toujours dans le même sens
- ❑ **Erreur aléatoire** : erreur retranchée de l'erreur systématique
- ❑ Causes
 - outils de mesure
 - expérimentateur
 - facteurs extérieurs



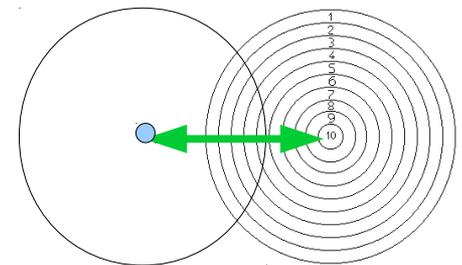
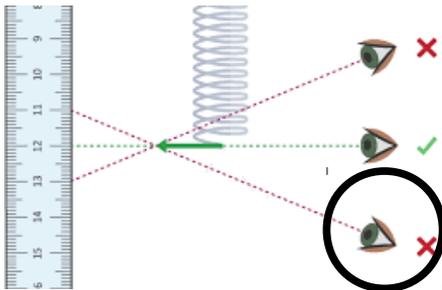
Erreurs : correction

- Erreur systématique** : biais, erreur toujours dans le même sens
- Difficile à évaluer sauf à prendre des précautions (en pratique on ne connaît pas la valeur vraie !)
 - contrôler les appareils de mesure avec des appareils précis
 - expérimentateur chevronné
 - connaissance des facteurs extérieurs
- Ressort : $L = 6 \text{ m} ???$



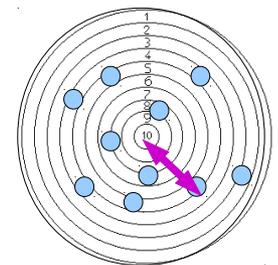
Erreurs : correction

- ❑ **Erreur systématique** : biais, erreur toujours dans le même sens
- ❑ Difficile à évaluer sauf à prendre des précautions (en pratique on ne connaît pas la valeur vraie !)
 - contrôler les appareils de mesure avec des appareils précis
 - expérimentateur chevronné
 - connaissance des facteurs extérieurs
- ❑ Ressort : $L = 6.2 \pm 0.2$ m



Erreurs : correction

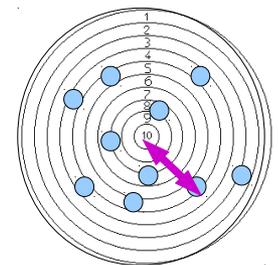
- Erreur aléatoire** : erreur retranchée de l'erreur systématique
- Facile à évaluer en effectuant un grand nombre de mesures (>10)
- Incertitude quantifiée à partir de la dispersion des mesures
- Prend en compte toutes les causes d'erreur aléatoire
- Ressort : $t = ???$



numero mesure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mesure t (s)	2.374	1.987	2.298	2.144	2.545	2.368	1.930	2.143	2.005	2.394

Erreurs : correction

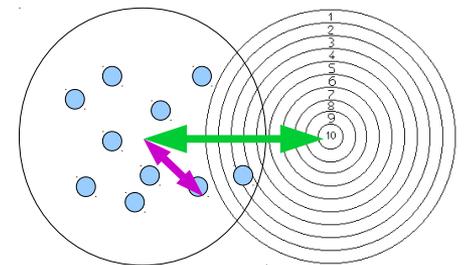
- Erreur aléatoire** : erreur retranchée de l'erreur systématique
- Facile à évaluer en effectuant un grand nombre de mesures (>10)
- Incertitude quantifiée à partir de la dispersion des mesures
- Prend en compte toutes les causes d'erreur aléatoire
- Ressort : $t = 2.2 \pm 0.2$ s (1 ou 2 CS max pour l'incertitude !!!)



numero mesure	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mesure t (s)	2.374	1.987	2.298	2.144	2.545	2.368	1.930	2.143	2.005	2.394

Erreurs : stratégie

- ❑ **A retenir** : 2 stratégies pour mesurer une incertitude
- ❑ S'assurer que l'**erreur systématique** est connue ou inférieure à l'**erreur aléatoire**, et estimer l'incertitude de l'erreur aléatoire en effectuant plusieurs mesures (~ 10)
- ❑ Faire une estimation de l'incertitude en évaluant les différentes sources d'erreur
- ❑ Exemple : mesure de temps



Propagation des incertitudes

- Mesures avec incertitude de n , L , t
- Incertitude + Mesure de v ?

$$v = v(n, L, t)$$

incertitudes sur v

$$\Delta v = \left. \frac{\partial v}{\partial n} \right|_{L,t} \Delta n + \left. \frac{\partial v}{\partial L} \right|_{n,t} \Delta L + \left. \frac{\partial v}{\partial t} \right|_{n,L} \Delta t$$

incertitudes sur L

- Pas de passage au logarithme !!!

Propagation des incertitudes

- Mesures avec incertitude de n , L , t
- Incertitude + Mesure de v ?

$$v = nL/t$$

$$\Delta v =$$

Propagation des incertitudes

Ressort

initialement

$n=6$, $L=6$ m, $t=2.2665$ s $\rightarrow v = 20, 15.8, 15.884$ m/s ???

après analyse

$n=6$, $L=(6.2\pm 0.2)$ m, $t=(2.2\pm 0.2)$ s

$v=16.9090\dots$ m/s et $\Delta v= 2$ m/s

$v=(17\pm 2)$ m/s

privilégier écriture relative $\Delta v/v = 0.12$ ($\Delta L/L=0.03$, $\Delta t/t=0.09$)

Propagation des incertitudes

Cas particuliers

Produit

$$v = nL/t$$

$$\Delta v = \left| v \frac{\Delta n}{n} \right| + \left| v \frac{\Delta L}{L} \right| + \left| v \frac{\Delta t}{t} \right| \text{ ou } \left| \frac{\Delta v}{v} \right| = \left| \frac{\Delta n}{n} \right| + \left| \frac{\Delta L}{L} \right| + \left| \frac{\Delta t}{t} \right|$$

Somme

$$v = v_1 + v_2$$

$$\Delta v = \Delta v_1 + \Delta v_2$$

Puissance

$$v = 3K^{1/2}L^2m^{-1/2}$$

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{1}{2} \frac{\Delta K}{K} + 2 \frac{\Delta L}{L} + \frac{1}{2} \frac{\Delta m}{m}$$

Exercice

$$E = \frac{1}{2}K(L - L_0)^2$$

Propagation des incertitudes

□ Exercice

$$E = \frac{1}{2} K (L - L_0)^2$$

$$dE = \left(\frac{\partial E}{\partial K} \right) dK + \left(\frac{\partial E}{\partial L} \right) dL + \left(\frac{\partial E}{\partial L_0} \right) dL_0$$

meth1

$$dE = \frac{1}{2} (L - L_0)^2 dK + K(L - L_0) dL - K(L - L_0) dL_0$$

$$\Delta E = \frac{1}{2} (L - L_0)^2 \Delta K + K |L - L_0| \Delta L + K |L - L_0| \Delta L_0$$

meth2

$$\frac{dE}{E} = \frac{dK}{K} + 2 \frac{d(L - L_0)}{L - L_0}$$

$$\frac{dE}{E} = \frac{dK}{K} + 2 \frac{dL - dL_0}{L - L_0}$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\Delta K}{K} + 2 \frac{\Delta L + \Delta L_0}{|L - L_0|}$$

II. Etude systématique

II. Etude systématique

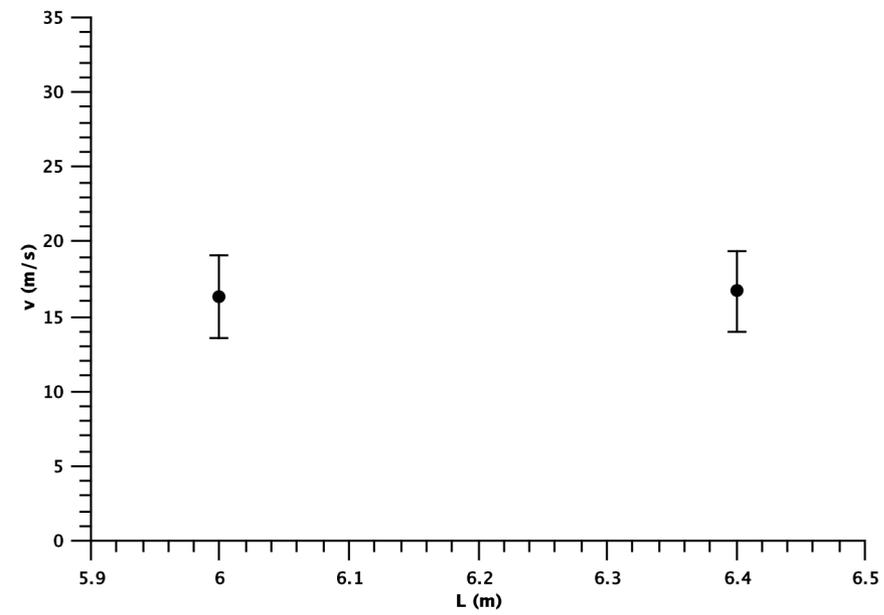
- Trouver les paramètres pertinents (modélisation ...)
 - > géométrique = Longueur L , rayon , angle α (ressort horizontal ou vertical), nombre de spires
 - > matériau = masse totale, constante de raideur
 - > extérieurs = gravité

- Méthode :
 - faire varier les paramètres indépendamment les uns des autres
 - effectuer une série de mesures pour trouver une corrélation
 - utiliser l'outil graphique pour quantifier la corrélation

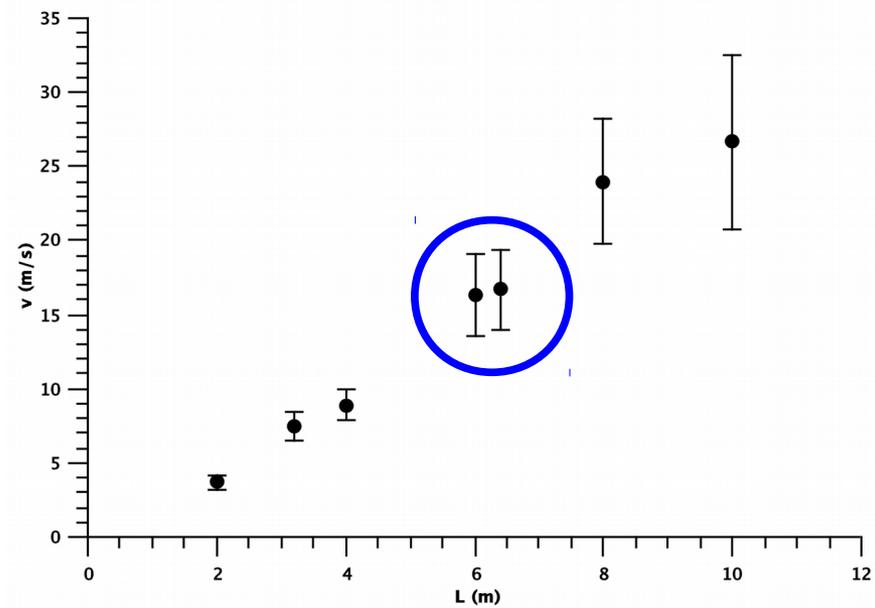
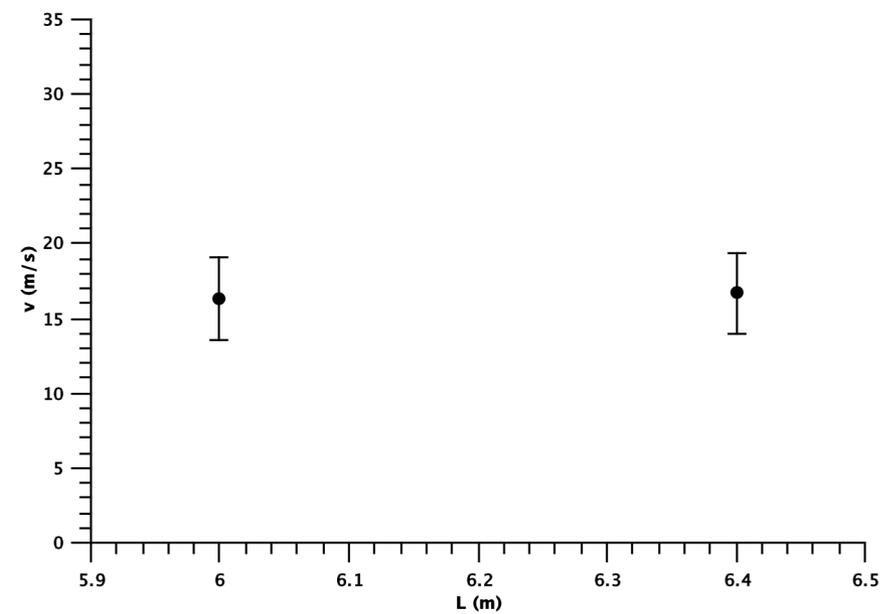
logiciel d'analyse de données: SciDAVis

<http://scidavis.sourceforge.net/>

Effet de L



Effet de L



Effet de L

- Choix de la gamme : valeur min - valeur max

facteur 2 : minimum

facteur 10 : bien

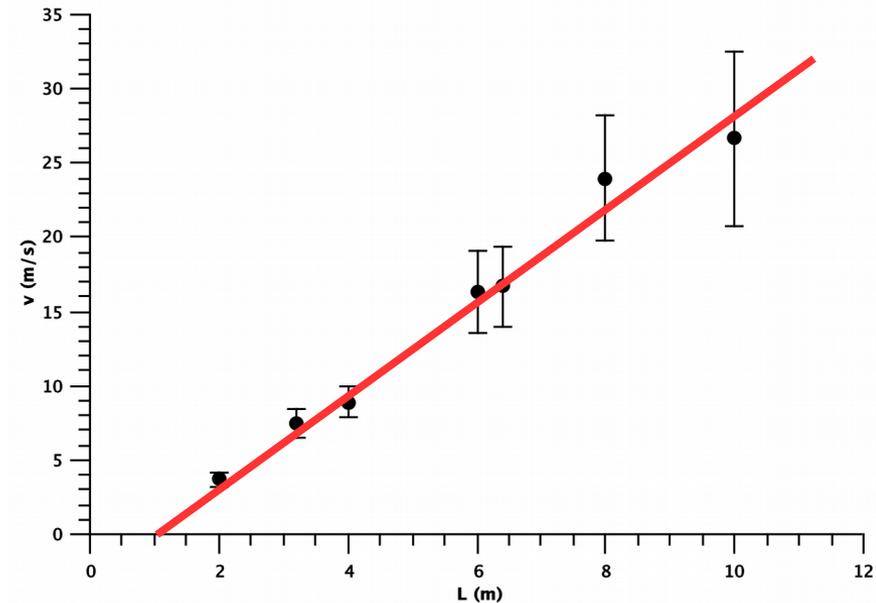
- Nombre de mesures : environ 10

- L paramètre pertinent

corrélation entre v et L

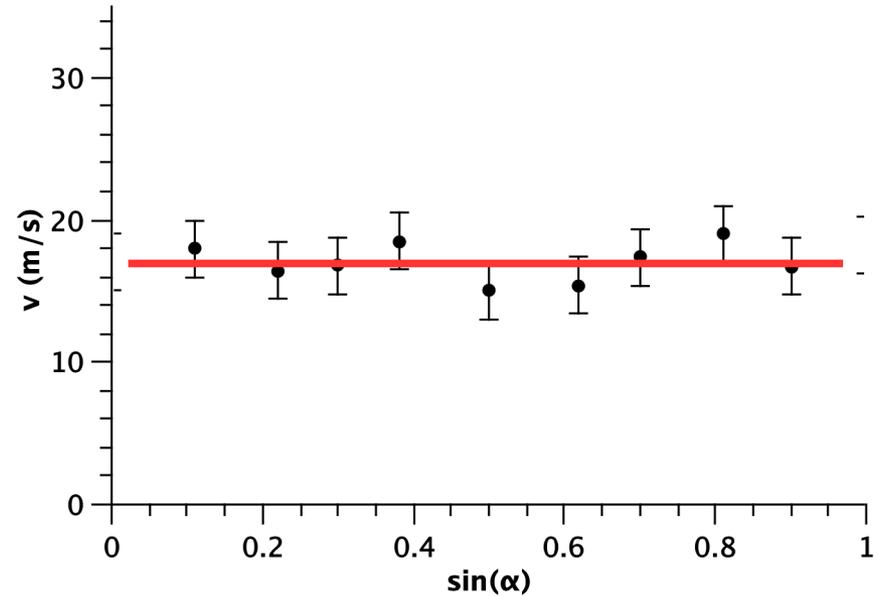
tendance significative en accord avec les incertitudes

- Éléments d'un tracé



Effet de α

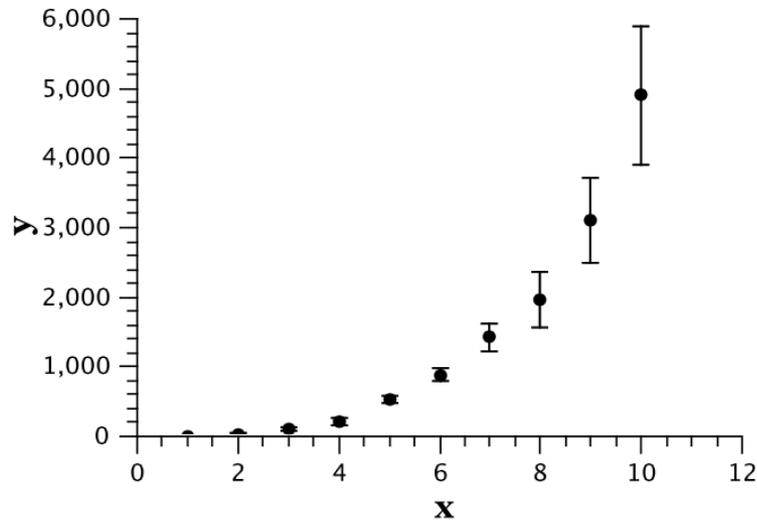
Résultat



α paramètre non pertinent

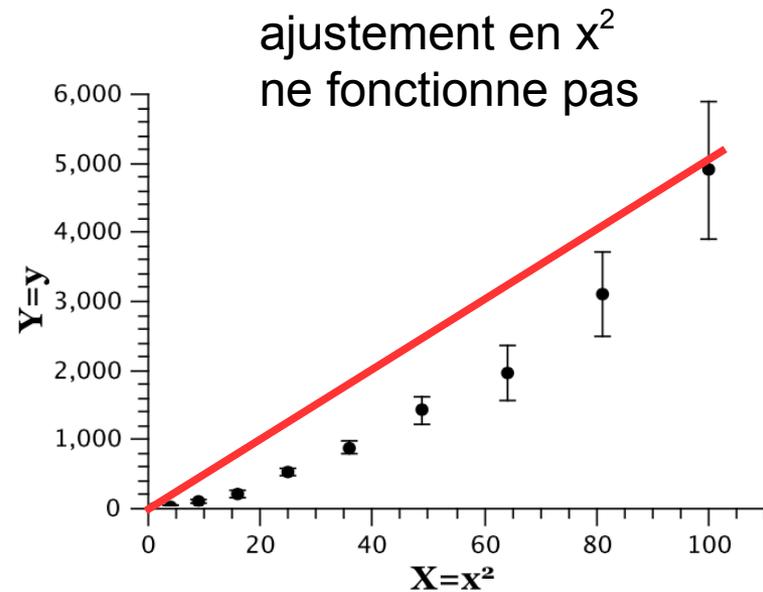
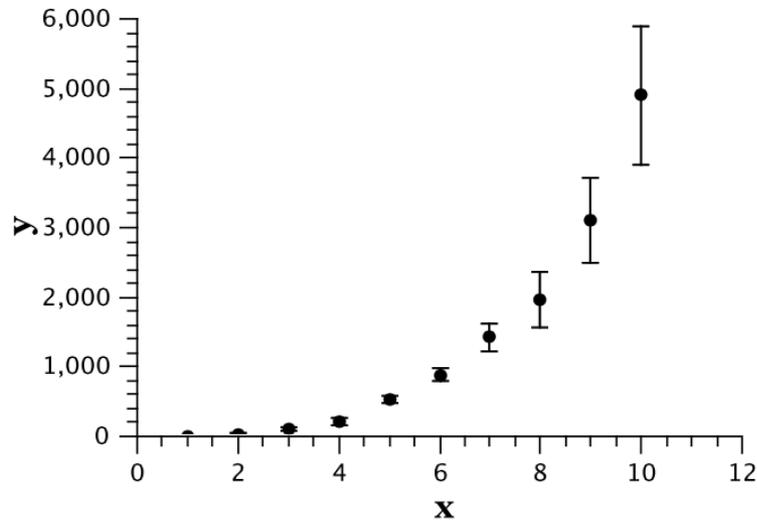
Ajustement

- Quantifier la corrélation
- Privilégier l'ajustement affine : $Y=ax + b$
- Exemple



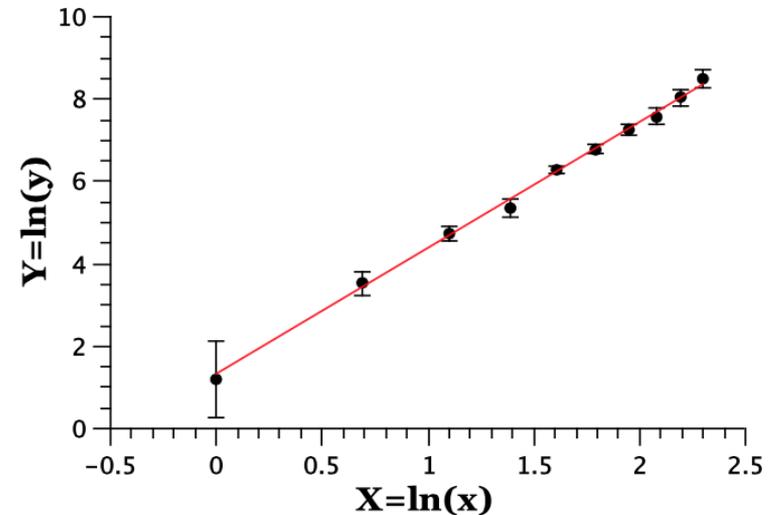
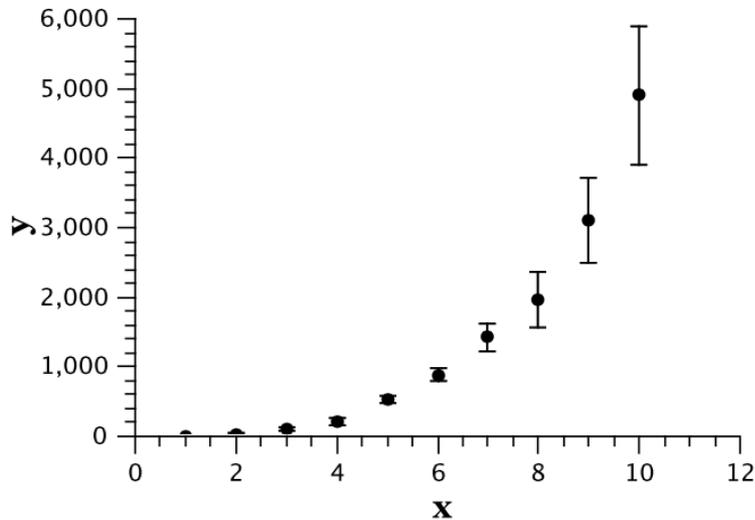
Ajustement

- Quantifier la corrélation
- Privilégier l'ajustement affine : $Y=ax + b$
- Exemple



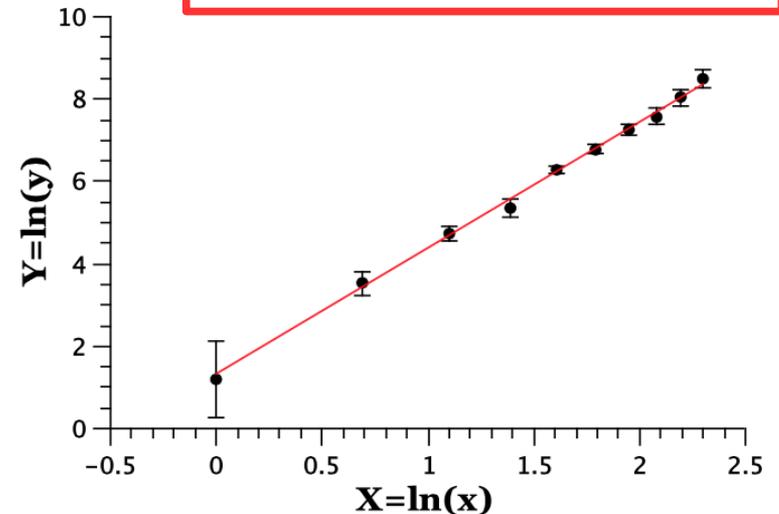
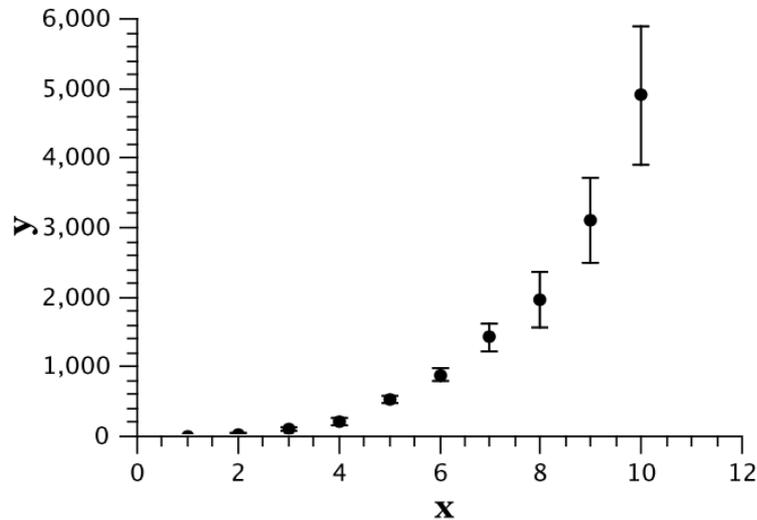
Ajustement

- Quantifier la corrélation
- Privilégier l'ajustement affine : $Y=ax + b$
- Exemple



Ajustement

- Quantifier la corrélation
- Privilégier l'ajustement affine : $Y=ax + b$
- Exemple



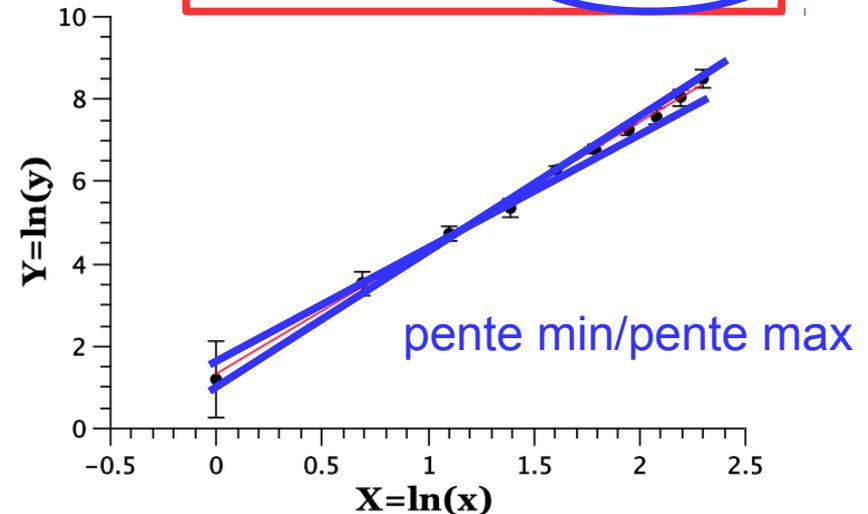
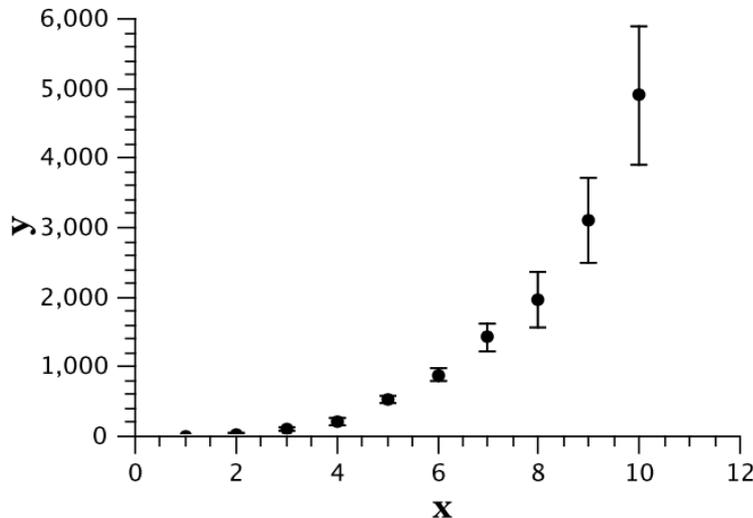
ajustement $Y=aX+b$
 $a=3.0630669 \pm 0.1391571$
 $b=1.3150979 \pm 0.2450699$

Ajustement

- Quantifier la corrélation
- Privilégier l'ajustement affine : $Y=ax + b$
- Exemple

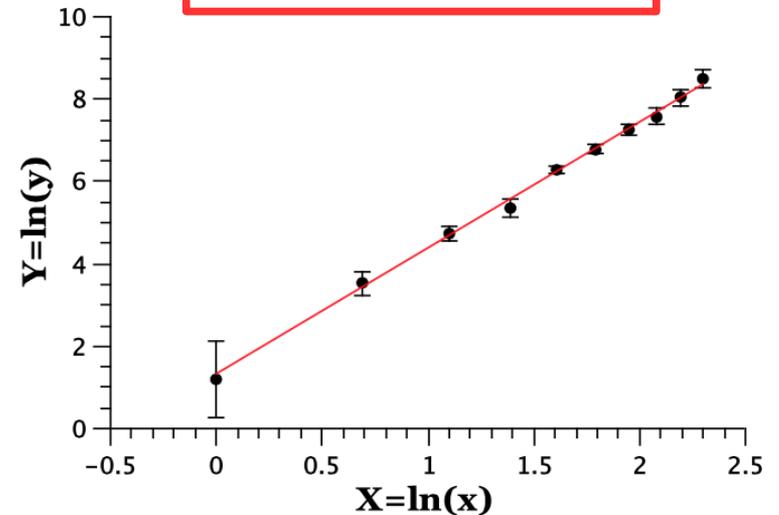
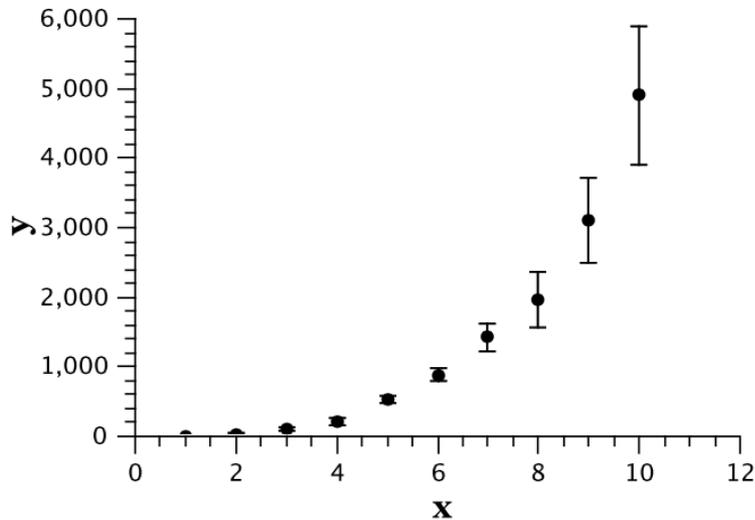
quantifie la dispersion
des points

ajustement $Y=aX+b$
 $a=3.0630669 \pm 0.1391571$
 $b=1.3150979 \pm 0.2450699$



Ajustement

- Quantifier la corrélation
- Privilégier l'ajustement affine : $Y=ax + b$
- Exemple



Ajustement

- Quantifier la corrélation
- Privilégier l'ajustement affine : $Y = ax + b$
- Exemple

Type de relation	axe des abscisses X	axe des ordonnées Y	résultat de l'ajustement $Y = aX + b$ ou $Y = aX$
$y = mx + p$	x	y	$a = m$ et $b = p$
$y = kx^2$	x	y	$a = k$
$y = k/x$	$1/x$	y	$a = k$
$y = k/x^2$	$1/x^2$	y	$a = k$
$y = k\sqrt{x}$	x	y^2	$a = k^2$
$y = e^{kx}$	x	$\ln(y)$	$a = k$
$y = kx^n$	$\ln(x)$	$\ln(y)$	n inconnue, $a = n$ et $b = \ln(k)$

Conclusion

- outils pour la démarche expérimentale
- erreur/incertitude/dispersion liés à une mesure
- corrélation/ajustement/dispersion liés à une série de mesures en faisant varier un paramètre