

## Cours de physique instrumentale-AGP

### Chapitre 1 : Incertitudes en physique

*A.Habib*

- **Définitions :**

- **Définitions :**
- Lorsqu'on mesure une grandeur physique  $x$  on trouve une ***valeur mesurée***  $x_m$ . Si on note  $X$  la ***varie*** valeur de  $x$ , l'***erreur*** de mesure est :

$$\text{Erreur} = |X - x_m|$$

- **Définitions :**
- Lorsqu'on mesure une grandeur physique  $x$  on trouve une **valeur mesurée**  $x_m$ . Si on note  $X$  la  **vraie** valeur de  $x$ , l'**erreur** de mesure est :

$$\text{Erreur} = |X - x_m|$$

- En pratique, la vraie valeur d'une grandeur est toujours inconnue (sinon, il serait inutile de faire la mesure), on ne peut donc en déduire l'erreur.

# Types d'erreurs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

**Erreurs**

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Il y a deux types d'erreurs : erreur aléatoire et erreur systématique.

# Types d'erreurs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Il y a deux types d'erreurs : erreur aléatoire et erreur systématique.
- **Expérience : Mesures de la période d'un pendule simple par un chronomètre :**  
On constate qu'en répétant les mesures on trouve des résultats légèrement différents, dus surtout aux retards de déclenchement qui vont réduire ou accroître la valeur mesurée.

# Types d'erreurs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Il y a deux types d'erreurs : erreur aléatoire et erreur systématique.
  - **Expérience : Mesures de la période d'un pendule simple par un chronomètre :**  
On constate qu'en répétant les mesures on trouve des résultats légèrement différents, dus surtout aux retards de déclenchement qui vont réduire ou accroître la valeur mesurée.
- ⇒ Dans ce cas, on parle d'*erreur aléatoire*.

# Source des erreurs aléatoires

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- du contrôle imparfait des conditions expérimentales dans lesquelles s'effectue la mesure ;



# Source des erreurs aléatoires

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- du contrôle imparfait des conditions expérimentales dans lesquelles s'effectue la mesure ;
- de faibles perturbations provenant du dispositif de mesure (ex : vibrations mécaniques, ...)

# Source des erreurs aléatoires

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- du contrôle imparfait des conditions expérimentales dans lesquelles s'effectue la mesure ;
- de faibles perturbations provenant du dispositif de mesure (ex : vibrations mécaniques, ...);
- des variations des grandeurs extérieures (température, pression,.....).

# Source des erreurs aléatoires

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- du contrôle imparfait des conditions expérimentales dans lesquelles s'effectue la mesure ;
- de faibles perturbations provenant du dispositif de mesure (ex : vibrations mécaniques, ...);
- des variations des grandeurs extérieures (température, pression,.....).
- ...etc.

# Traitement des erreurs aléatoires

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Les erreurs aléatoires sont détectées et caractérisées par une étude *statistique*.

# Traitement des erreurs aléatoires

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Les erreurs aléatoires sont détectées et caractérisées par une étude *statistique*.
- Elles peuvent être réduites en augmentant le nombre de mesures.

# Erreur systématique

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'erreur systématique peut être considérée comme une erreur *constante* qui affecte *chacune* des observations de la *même* manière.

# Erreur systématique

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'erreur systématique peut être considérée comme une erreur *constante* qui affecte *chacune* des observations de la *même* manière.
- **Exemple** : Si le chronomètre dans l'expérience précédente n'est pas calibré, il va ajouter (ou retrancher) la même durée à toutes les mesures.

# Sources des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

**Erreurs**

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Il existe de nombreuses sources d'erreurs systématiques, comme par exemple :



# Sources des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Il existe de nombreuses sources d'erreurs systématiques, comme par exemple :
  - l'effet des grandeurs d'influence (température, pression,....) ;

# Sources des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Il existe de nombreuses sources d'erreurs systématiques, comme par exemple :
  - l'effet des grandeurs d'influence (température, pression,...) ;
  - l'erreur de justesse des instruments (décalage du zéro par exemple, chronomètre mal calibré,...) ;

# Sources des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Il existe de nombreuses sources d'erreurs systématiques, comme par exemple :
  - l'effet des grandeurs d'influence (température, pression,....) ;
  - l'erreur de justesse des instruments (décalage du zéro par exemple, chronomètre mal calibré,...) ;
  - la position de l'objet mesuré. Exemple : erreur de parallaxe c-à-d, l'angle qui peut exister entre la direction du regard d'un observateur et la perpendiculaire à une graduation amenant une lecture inexacte de la mesure faite.

# Sources des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Il existe de nombreuses sources d'erreurs systématiques, comme par exemple :
  - l'effet des grandeurs d'influence (température, pression,....) ;
  - l'erreur de justesse des instruments (décalage du zéro par exemple, chronomètre mal calibré,...) ;
  - la position de l'objet mesuré. Exemple : erreur de parallaxe c-à-d, l'angle qui peut exister entre la direction du regard d'un observateur et la perpendiculaire à une graduation amenant une lecture inexacte de la mesure faite.
  - la perturbation due à la présence des instruments.

# Sources des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Il existe de nombreuses sources d'erreurs systématiques, comme par exemple :
  - l'effet des grandeurs d'influence (température, pression,...) ;
  - l'erreur de justesse des instruments (décalage du zéro par exemple, chronomètre mal calibré,...) ;
  - la position de l'objet mesuré. Exemple : erreur de parallaxe c-à-d, l'angle qui peut exister entre la direction du regard d'un observateur et la perpendiculaire à une graduation amenant une lecture inexacte de la mesure faite.
  - la perturbation due à la présence des instruments.
  - ... etc

# Correction des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'erreur systématique ne peut être réduite que par l'application d'une *correction*.

# Correction des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'erreur systématique ne peut être réduite que par l'application d'une *correction*.
- Pour détecter et évaluer ces erreurs, on peut par exemple :

# Correction des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'erreur systématique ne peut être réduite que par l'application d'une *correction*.
- Pour détecter et évaluer ces erreurs, on peut par exemple :
  - mesurer la même grandeur avec un instrument différent ;



# Correction des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'erreur systématique ne peut être réduite que par l'application d'une *correction*.
- Pour détecter et évaluer ces erreurs, on peut par exemple :
  - mesurer la même grandeur avec un instrument différent ;
  - mesurer la même grandeur avec des méthodes différentes ;

# Correction des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'erreur systématique ne peut être réduite que par l'application d'une *correction*.
- Pour détecter et évaluer ces erreurs, on peut par exemple :
  - mesurer la même grandeur avec un instrument différent ;
  - mesurer la même grandeur avec des méthodes différentes ;
  - ...

# Correction des erreurs systématiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'erreur systématique ne peut être réduite que par l'application d'une *correction*.
- Pour détecter et évaluer ces erreurs, on peut par exemple :
  - mesurer la même grandeur avec un instrument différent ;
  - mesurer la même grandeur avec des méthodes différentes ;
  - ...
- Remarque : Les erreurs aléatoires se repèrent facilement... mais impossible de savoir s'il y a des systématiques (car on ne connaît pas la position de la cible).

# Définition de l'incertitude

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

**Incertitudes**

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

# Définition de l'incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).
- Puisque l'incertitude est définie positive ( $\Delta x > 0$ ), les bornes de *l'intervalle d'incertitude* sont :

# Définition de l'incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).
- Puisque l'incertitude est définie positive ( $\Delta x > 0$ ), les bornes de *l'intervalle d'incertitude* sont :
  - $x_{\max} = x_m + \Delta x$  : la valeur probable la plus élevée ;

# Définition de l'incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).
- Puisque l'incertitude est définie positive ( $\Delta x > 0$ ), les bornes de *l'intervalle d'incertitude* sont :
  - $x_{\max} = x_m + \Delta x$  : la valeur probable la plus élevée ;
  - $x_{\min} = x_m - \Delta x$  : la valeur probable la plus faible.

# Définition de l'incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).
- Puisque l'incertitude est définie positive ( $\Delta x > 0$ ), les bornes de *l'intervalle d'incertitude* sont :
  - $x_{\max} = x_m + \Delta x$  : la valeur probable la plus élevée ;
  - $x_{\min} = x_m - \Delta x$  : la valeur probable la plus faible.
- soit :

$$x_m - \Delta x \leq x \leq x_m + \Delta x$$



# Définition de l'incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).
- Puisque l'incertitude est définie positive ( $\Delta x > 0$ ), les bornes de *l'intervalle d'incertitude* sont :
  - $x_{\max} = x_m + \Delta x$  : la valeur probable la plus élevée ;
  - $x_{\min} = x_m - \Delta x$  : la valeur probable la plus faible.
- soit :

$$x_m - \Delta x \leq x \leq x_m + \Delta x$$

- Le résultat de la mesure de la grandeur  $x$  est présenté sous la *forme standard* suivante :

$$x = x_m \pm \Delta x \quad (\text{unité})$$

# Définition de l'incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).
- Puisque l'incertitude est définie positive ( $\Delta x > 0$ ), les bornes de *l'intervalle d'incertitude* sont :
  - $x_{\max} = x_m + \Delta x$  : la valeur probable la plus élevée ;
  - $x_{\min} = x_m - \Delta x$  : la valeur probable la plus faible.
- soit :

$$x_m - \Delta x \leq x \leq x_m + \Delta x$$

- Le résultat de la mesure de la grandeur  $x$  est présenté sous la *forme standard* suivante :

$$x = x_m \pm \Delta x \quad (\text{unité})$$

- $\Delta x$  est l'incertitude sur la mesure, appelée aussi *incertitude absolue*.

# Définition de l'incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).
- Puisque l'incertitude est définie positive ( $\Delta x > 0$ ), les bornes de *l'intervalle d'incertitude* sont :
  - $x_{\max} = x_m + \Delta x$  : la valeur probable la plus élevée ;
  - $x_{\min} = x_m - \Delta x$  : la valeur probable la plus faible.
- soit :

$$x_m - \Delta x \leq x \leq x_m + \Delta x$$

- Le résultat de la mesure de la grandeur  $x$  est présenté sous la *forme standard* suivante :

$$x = x_m \pm \Delta x \quad (\text{unité})$$

- $\Delta x$  est l'incertitude sur la mesure, appelée aussi *incertitude absolue*.

● **Remarque** : On doit écrire les unités après l'incertitude

# Définition de l'incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).
- Puisque l'incertitude est définie positive ( $\Delta x > 0$ ), les bornes de *l'intervalle d'incertitude* sont :
  - $x_{\max} = x_m + \Delta x$  : la valeur probable la plus élevée ;
  - $x_{\min} = x_m - \Delta x$  : la valeur probable la plus faible.
- soit :

$$x_m - \Delta x \leq x \leq x_m + \Delta x$$

- Le résultat de la mesure de la grandeur  $x$  est présenté sous la *forme standard* suivante :

$$x = x_m \pm \Delta x \quad (\text{unité})$$

- $\Delta x$  est l'incertitude sur la mesure, appelée aussi *incertitude absolue*.
- **Remarque** : On doit écrire les unités après l'incertitude

# Définition de l'incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $\Delta x$  d'une mesure définit *un intervalle autour de la valeur mesurée qui inclut la valeur vraie* avec une *probabilité* donnée (ou niveau de confiance).
- Puisque l'incertitude est définie positive ( $\Delta x > 0$ ), les bornes de *l'intervalle d'incertitude* sont :
  - $x_{\max} = x_m + \Delta x$  : la valeur probable la plus élevée ;
  - $x_{\min} = x_m - \Delta x$  : la valeur probable la plus faible.
- soit :

$$x_m - \Delta x \leq x \leq x_m + \Delta x$$

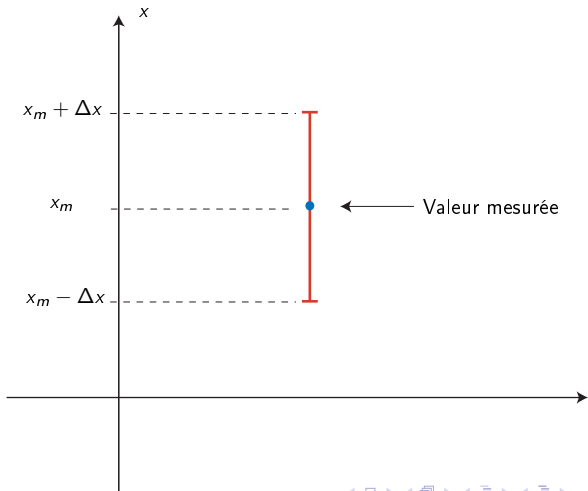
- Le résultat de la mesure de la grandeur  $x$  est présenté sous la *forme standard* suivante :

$$x = x_m \pm \Delta x \quad (\text{unité})$$

- $\Delta x$  est l'incertitude sur la mesure, appelée aussi *incertitude absolue*.
- **Remarque** : On doit écrire les unités après l'incertitude

# Représentation graphique d'un résultat

- Sur un graphe, on représente l'incertitude par une barre, appelée *barre-d'erreur*, dont la longueur est  $2\Delta x$  :



# Incertitude relative

## Incertitudes des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

**Incertitudes**

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Considérons la mesure d'une grandeur  $x$  :

$$x = x_m \pm \Delta x$$

# Incertitude relative

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Considérons la mesure d'une grandeur  $x$  :

$$x = x_m \pm \Delta x$$

- Pour donner plus de sens à l'incertitude indépendamment de l'ordre de grandeur de  $x_m$ , on définit l'*incertitude relative* (ou la précision) :

$$\text{Incertitude relative} = 100 \frac{\Delta x}{x_m}$$

exprimée en pourcentage (%) avec 1 ou 2 chiffres significatifs.



# Incertitude relative

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Considérons la mesure d'une grandeur  $x$  :

$$x = x_m \pm \Delta x$$

- Pour donner plus de sens à l'incertitude indépendamment de l'ordre de grandeur de  $x_m$ , on définit l'*incertitude relative* (ou la précision) :

$$\text{Incertitude relative} = 100 \frac{\Delta x}{x_m}$$

exprimée en pourcentage (%) avec 1 ou 2 chiffres significatifs.

- La mesure exprimée avec l'incertitude relative s'écrit avec les unités après la mesure, par exemple :  $L = 17 \text{ cm à } 3 \%$ .

# Incertitude relative

## Incertitudes des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

**Incertitudes**

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemple : lorsqu'on dit qu'une incertitude sur une mesure d'une longueur  $L$  vaut  $\Delta L = 2$  cm, alors :

# Incertitude relative

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemple : lorsqu'on dit qu'une incertitude sur une mesure d'une longueur  $L$  vaut  $\Delta L = 2$  cm, alors :
  - si  $L_m = 200$  km (distance entre deux villes par exemple), cette mesure est très précise : l'incertitude relative est  $\frac{\Delta L}{L_m} = 10^{-7}$  ou 0,00001%

# Incertitude relative

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemple : lorsqu'on dit qu'une incertitude sur une mesure d'une longueur  $L$  vaut  $\Delta L = 2$  cm, alors :
  - si  $L_m = 200$  km (distance entre deux villes par exemple), cette mesure est très précise : l'incertitude relative est  $\frac{\Delta L}{L_m} = 10^{-7}$  ou 0,00001%
  - par contre, si  $L_m = 4$  cm, la mesure est mauvaise : l'incertitude relative est  $\frac{\Delta L}{L_m} = 0,5$  ou 50 %!

# Incertitude relative

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemple : lorsqu'on dit qu'une incertitude sur une mesure d'une longueur  $L$  vaut  $\Delta L = 2$  cm, alors :
  - si  $L_m = 200$  km (distance entre deux villes par exemple), cette mesure est très précise : l'incertitude relative est  $\frac{\Delta L}{L_m} = 10^{-7}$  ou 0,00001%
  - par contre, si  $L_m = 4$  cm, la mesure est mauvaise : l'incertitude relative est  $\frac{\Delta L}{L_m} = 0,5$  ou 50 %!
- Critère :

# Incertitude relative

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemple : lorsqu'on dit qu'une incertitude sur une mesure d'une longueur  $L$  vaut  $\Delta L = 2$  cm, alors :
  - si  $L_m = 200$  km (distance entre deux villes par exemple), cette mesure est très précise : l'incertitude relative est  $\frac{\Delta L}{L_m} = 10^{-7}$  ou 0,00001%
  - par contre, si  $L_m = 4$  cm, la mesure est mauvaise : l'incertitude relative est  $\frac{\Delta L}{L_m} = 0,5$  ou 50 %!
- Critère :
  - Une incertitude relative de 10 % caractérisent une mesure assez grossière (précision moyenne).

# Incertitude relative

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemple : lorsqu'on dit qu'une incertitude sur une mesure d'une longueur  $L$  vaut  $\Delta L = 2$  cm, alors :
  - si  $L_m = 200$  km (distance entre deux villes par exemple), cette mesure est très précise : l'incertitude relative est  $\frac{\Delta L}{L_m} = 10^{-7}$  ou 0,00001 %
  - par contre, si  $L_m = 4$  cm, la mesure est mauvaise : l'incertitude relative est  $\frac{\Delta L}{L_m} = 0,5$  ou 50 % !
- Critère :
  - Une incertitude relative de 10 % caractérisent une mesure assez grossière (précision moyenne).
  - Une incertitude relative de 1 % ou 2 % traduit une bonne mesure (bonne précision).

# Chiffres significatifs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'on écrit le résultat d'une mesure, on doit porter une grande attention au nombre de chiffres qui apparaissent dans le résultat numérique. Ces chiffres sont dites chiffres significatifs (c.s).



# Chiffres significatifs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'on écrit le résultat d'une mesure, on doit porter une grande attention au nombre de chiffres qui apparaissent dans le résultat numérique. Ces chiffres sont dites chiffres significatifs (c.s).
- Les chiffres significatifs d'une mesure sont :  
**Les chiffres certains + le premier chiffre incertain.**

# Chiffres significatifs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'on écrit le résultat d'une mesure, on doit porter une grande attention au nombre de chiffres qui apparaissent dans le résultat numérique. Ces chiffres sont dites chiffres significatifs (c.s).
- Les chiffres significatifs d'une mesure sont :  
**Les chiffres certains + le premier chiffre incertain.**
  - Exemple : lorsqu'on écrit un résultat de mesure comme :  $x = 1258$ , il y a quatre chiffres significatif. Le premier chiffre incertain est le 8.

# Chiffres significatifs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'on écrit le résultat d'une mesure, on doit porter une grande attention au nombre de chiffres qui apparaissent dans le résultat numérique. Ces chiffres sont dites chiffres significatifs (c.s).
- Les chiffres significatifs d'une mesure sont :  
**Les chiffres certains + le premier chiffre incertain.**
  - Exemple : lorsqu'on écrit un résultat de mesure comme :  $x = 1258$ , il y a quatre chiffres significatif. Le premier chiffre incertain est le 8.
- Les chiffres significatifs nous renseignent sur la ***précision de la mesure.***

# Chiffres significatifs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'on écrit le résultat d'une mesure, on doit porter une grande attention au nombre de chiffres qui apparaissent dans le résultat numérique. Ces chiffres sont dites chiffres significatifs (c.s).
- Les chiffres significatifs d'une mesure sont :  
**Les chiffres certains + le premier chiffre incertain.**
  - Exemple : lorsqu'on écrit un résultat de mesure comme :  $x = 1258$ , il y a quatre chiffres significatif. Le premier chiffre incertain est le 8.
- Les chiffres significatifs nous renseignent sur la ***précision de la mesure***.
- Lorsqu'on présente le résultat final d'une mesure sous la forme  $x_m \pm \Delta x$ , on doit respecter le nombre de chiffres significatifs.

# Règles des chiffres significatifs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

Dans un nombre décimal, tous les chiffres écrits sont significatifs sauf les zéros à gauche

**Exemples :**

- 17,3 a 3 chiffres significatifs (la virgule n'intervient pas).
- 0,0020 a 2 chiffres significatifs.
- 7,100 a 4 chiffres significatifs.

# Règles des chiffres significatifs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

Dans un nombre décimal, tous les chiffres écrits sont significatifs sauf les zéros à gauche

**Exemples :**

- 17,3 a 3 chiffres significatifs (la virgule n'intervient pas).
- 0,0020 a 2 chiffres significatifs.
- 7,100 a 4 chiffres significatifs.

En notation scientifique, les chiffres de la puissance de 10 ne sont pas significatifs.

**Exemples :**  $1,33 \times 10^6$  a 3 chiffres significatifs.

# Règles des chiffres significatifs

Les zéro à droite dans un nombre **entier** ne sont pas significatifs (sauf s'il y a une indication qu'ils ont été mesurés) .

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

# Règles des chiffres significatifs

Les zéro à droite dans un nombre **entier** ne sont pas significatifs (sauf s'il y a une indication qu'ils ont été mesurés) .

- **Exemple** :

$x = 300$  (sans indication) contient un seul chiffre significatif. Pour préciser que  $x$  contient plus qu'un chiffre significatif, on utilise à la notation scientifique :



# Règles des chiffres significatifs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

Les zéro à droite dans un nombre **entier** ne sont pas significatifs (sauf s'il y a une indication qu'ils ont été mesurés) .

- **Exemple :**

$x = 300$  (sans indication) contient un seul chiffre significatif. Pour préciser que  $x$  contient plus qu'un chiffre significatif, on utilise à la notation scientifique :

- si on veut écrire  $x$  avec trois chiffres significatifs :

$x = 3,00 \times 10^2$  (les deux zéros sont issus de la mesure)

# Règles des chiffres significatifs

Les zéro à droite dans un nombre **entier** ne sont pas significatifs (sauf s'il y a une indication qu'ils ont été mesurés) .

- **Exemple :**

$x = 300$  (sans indication) contient un seul chiffre significatif. Pour préciser que  $x$  contient plus qu'un chiffre significatif, on utilise à la notation scientifique :

- si on veut écrire  $x$  avec trois chiffres significatifs :  
 $x = 3,00 \times 10^2$  (les deux zéros sont issus de la mesure)
- si on veut écrire  $x$  avec deux chiffres significatifs :  
 $x = 3,0 \times 10^2$

# Règles des chiffres significatifs

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

Les zéro à droite dans un nombre **entier** ne sont pas significatifs (sauf s'il y a une indication qu'ils ont été mesurés) .

- **Exemple** :

$x = 300$  (sans indication) contient un seul chiffre significatif. Pour préciser que  $x$  contient plus qu'un chiffre significatif, on utilise à la notation scientifique :

- si on veut écrire  $x$  avec trois chiffres significatifs :  
 $x = 3,00 \times 10^2$  (les deux zéros sont issus de la mesure)
- si on veut écrire  $x$  avec deux chiffres significatifs :  
 $x = 3,0 \times 10^2$

Les nombres exacts sont considérés comme ayant un nombre infini de chiffres significatifs (incertitude = 0).

Ces nombres sont obtenus par exemple par comptage ou sont des constantes mathématiques,...

**Exemple** : Par comptage :  $n = 33$  étudiants ( $\Delta n = 0$ )

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour changer le nombre de chiffres significatifs dans un résultats, on procède à un arrondissement à fin de garder le *bon nombre de chiffres significatifs*.

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour changer le nombre de chiffres significatifs dans un résultats, on procède à un arrondissement à fin de garder le *bon nombre de chiffres significatifs*.
- L'arrondissement d'un nombre consiste à diminuer le nombre de chiffres qui y figurent.

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour changer le nombre de chiffres significatifs dans un résultats, on procède à un arrondissement à fin de garder le *bon nombre de chiffres significatifs*.
- L'arrondissement d'un nombre consiste à diminuer le nombre de chiffres qui y figurent.
- **Exemple :**  
On veut arrondir le chiffre 25,46X... par exemple, ou X représente un chiffre quelconque.

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour changer le nombre de chiffres significatifs dans un résultats, on procède à un arrondissement à fin de garder le *bon nombre de chiffres significatifs*.
- L'arrondissement d'un nombre consiste à diminuer le nombre de chiffres qui y figurent.
- **Exemple :**  
On veut arrondir le chiffre 25,46X... par exemple, ou X représente un chiffre quelconque.
  - si  $X < 5$  (par exemple 25,462) : le nombre est arrondi à 25,46

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour changer le nombre de chiffres significatifs dans un résultats, on procède à un arrondissement à fin de garder le *bon nombre de chiffres significatifs*.
- L'arrondissement d'un nombre consiste à diminuer le nombre de chiffres qui y figurent.
- **Exemple :**  
On veut arrondir le chiffre  $25,46X\dots$  par exemple, ou  $X$  représente un chiffre quelconque.
  - si  $X < 5$  (par exemple  $25,462$ ) : le nombre est arrondi à  $25,46$
  - si  $X \geq 5$  (par exemple  $25,468$  ou  $25,46523$ ) : le nombre est arrondi à  $25,47$ .



# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

**Présentation  
du résultat  
d'une mesure**

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour un chiffre qui se termine par 5 comme 15, Y5 par exemple :

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour un chiffre qui se termine par 5 comme 15,Y5 par exemple :
  - si Y est pair : le nombre est arrondi à 15,Y. Exemple :  
 $12,45 \rightarrow 12,4$

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour un chiffre qui se termine par 5 comme  $15, Y5$  par exemple :
  - si  $Y$  est pair : le nombre est arrondi à  $15, Y$ . Exemple :  $12,45 \rightarrow 12,4$
  - si  $Y$  est impaire : le nombre est arrondi en augmentant d'une unité le chiffre  $Y$ . Exemple :  $4,75 \rightarrow 4,8$ .

# Arrondir un nombre

- Pour un chiffre qui se termine par 5 comme  $15, Y5$  par exemple :
  - si  $Y$  est pair : le nombre est arrondi à  $15, Y$ . Exemple :  $12,45 \rightarrow 12,4$
  - si  $Y$  est impaire : le nombre est arrondi en augmentant d'une unité le chiffre  $Y$ . Exemple :  $4,75 \rightarrow 4,8$ .
  - si le chiffre cinq lui-même suivi par des chiffres différents de zéro ( $15, Y5\dots$ ), alors  $Y$  sera augmenté d'une unité. Exemple :  $4,752 \rightarrow 4,8$ .

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour un chiffre qui se termine par 5 comme  $15, Y5$  par exemple :
  - si  $Y$  est pair : le nombre est arrondi à  $15, Y$ . Exemple :  $12,45 \rightarrow 12,4$
  - si  $Y$  est impaire : le nombre est arrondi en augmentant d'une unité le chiffre  $Y$ . Exemple :  $4,75 \rightarrow 4,8$ .
  - si le chiffre cinq lui-même suivi par des chiffres différents de zéro ( $15, Y5\dots$ ), alors  $Y$  sera augmenté d'une unité. Exemple :  $4,752 \rightarrow 4,8$ .
- Cette méthode est parfois appelée "arrondi au chiffre pair" et est employée afin d'éliminer le biais qui surviendrait en arrondissant à chaque fois par excès les nombres dont le dernier chiffre est cinq.

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour un chiffre qui se termine par 5 comme  $15, Y5$  par exemple :
  - si  $Y$  est pair : le nombre est arrondi à  $15, Y$ . Exemple :  $12,45 \rightarrow 12,4$
  - si  $Y$  est impaire : le nombre est arrondi en augmentant d'une unité le chiffre  $Y$ . Exemple :  $4,75 \rightarrow 4,8$ .
  - si le chiffre cinq lui-même suivi par des chiffres différents de zéro ( $15, Y5\dots$ ), alors  $Y$  sera augmenté d'une unité. Exemple :  $4,752 \rightarrow 4,8$ .
- Cette méthode est parfois appelée "arrondi au chiffre pair" et est employée afin d'éliminer le biais qui surviendrait en arrondissant à chaque fois par excès les nombres dont le dernier chiffre est cinq.
- **Exemples :**

# Arrondir un nombre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Pour un chiffre qui se termine par 5 comme  $15,Y5$  par exemple :
  - si  $Y$  est pair : le nombre est arrondi à  $15,Y$ . Exemple :  $12,45 \rightarrow 12,4$
  - si  $Y$  est impaire : le nombre est arrondi en augmentant d'une unité le chiffre  $Y$ . Exemple :  $4,75 \rightarrow 4,8$ .
  - si le chiffre cinq lui-même suivi par des chiffres différents de zéro ( $15,Y5\dots$ ), alors  $Y$  sera augmenté d'une unité. Exemple :  $4,752 \rightarrow 4,8$ .
- Cette méthode est parfois appelée "arrondi au chiffre pair" et est employée afin d'éliminer le biais qui surviendrait en arrondissant à chaque fois par excès les nombres dont le dernier chiffre est cinq.
- **Exemples :**
  - $158,45$  peut être arrondi à 4 chiffres  $158,4$  ou à 3 chiffres  $158 \dots$

# Résultat d'un calcul

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Règle 1 : Cas d'une multiplication ou une division :

Le résultat a autant de chiffres significatifs que le nombre qui en a le moins dans l'opération.



# Résultat d'un calcul

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Règle 1 : Cas d'une multiplication ou une division :

Le résultat a autant de chiffres significatifs que le nombre qui en a le moins dans l'opération.

- Exemple :

# Résultat d'un calcul

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Règle 1 : Cas d'une multiplication ou une division :

Le résultat a autant de chiffres significatifs que le nombre qui en a le moins dans l'opération.

- Exemple :

- $2,6 \times \underline{\underline{3}} = 7,8 \rightarrow$  Arrondir le résultat à :  $\underline{\underline{8}}$   
 $\rightarrow$  un seul chiffre significatif.

# Résultat d'un calcul

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Règle 1 : Cas d'une multiplication ou une division :

Le résultat a autant de chiffres significatifs que le nombre qui en a le moins dans l'opération.

- Exemple :

- $2,6 \times \underline{\underline{3}} = 7,8 \rightarrow$  Arrondir le résultat à : 8  
 $\rightarrow$  un seul chiffre significatif.

- Règle 2 : Cas d'une addition ou une soustraction :

Le résultat a le même nombre de **décimales** que le nombre ayant le moins de décimales dans l'opération.

# Résultat d'un calcul

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Règle 1 : Cas d'une multiplication ou une division :

Le résultat a autant de chiffres significatifs que le nombre qui en a le moins dans l'opération.

- Exemple :

- $2,6 \times \underline{\underline{3}} = 7,8 \rightarrow$  Arrondir le résultat à : 8  
 $\rightarrow$  un seul chiffre significatif.

- Règle 2 : Cas d'une addition ou une soustraction :

Le résultat a le même nombre de **décimales** que le nombre ayant le moins de décimales dans l'opération.

- Exemple :

# Résultat d'un calcul

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Règle 1 : Cas d'une multiplication ou une division :

Le résultat a autant de chiffres significatifs que le nombre qui en a le moins dans l'opération.

- Exemple :

- $2,6 \times \underline{\underline{3}} = 7,8 \rightarrow$  Arrondir le résultat à : 8  
 $\rightarrow$  un seul chiffre significatif.

- Règle 2 : Cas d'une addition ou une soustraction :

Le résultat a le même nombre de **décimales** que le nombre ayant le moins de décimales dans l'opération.

- Exemple :

- $17,26 + \underline{\underline{4,6}} = 21,86 \rightarrow$  Arrondir le résultat à :  
21,9  $\rightarrow$  un seul chiffre après la virgule.

# Résultat d'un calcul

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Règle 1 : Cas d'une multiplication ou une division :

Le résultat a autant de chiffres significatifs que le nombre qui en a le moins dans l'opération.

- Exemple :

- $2,6 \times \underline{\underline{3}} = 7,8 \rightarrow$  Arrondir le résultat à :  $\underline{\underline{8}}$   
 $\rightarrow$  un seul chiffre significatif.

- Règle 2 : Cas d'une addition ou une soustraction :

Le résultat a le même nombre de **décimales** que le nombre ayant le moins de décimales dans l'opération.

- Exemple :

- $17,26 + \underline{\underline{4,6}} = 21,86 \rightarrow$  Arrondir le résultat à :  
 $21,9 \rightarrow$  un seul chiffre après la virgule.

- Remarque : Dans le cas d'un calcul compliqué on applique la règle 1.

# Présentation des résultats

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

**Présentation  
du résultat  
d'une mesure**

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'on présente le résultat d'une mesure on doit respecter les deux règles suivantes :

# Présentation des résultats

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'on présente le résultat d'une mesure on doit respecter les deux règles suivantes :

Les incertitudes expérimentales doivent être arrondies  
avec *un seul chiffre significatif*.



# Présentation des résultats

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'on présente le résultat d'une mesure on doit respecter les deux règles suivantes :

Les incertitudes expérimentales doivent être arrondies  
avec *un seul chiffre significatif*.

Le dernier chiffre significatif de tout résultat doit être du  
même ordre de grandeur (à la même position décimale)  
que l'incertitude.

# Présentation des résultats

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'on présente le résultat d'une mesure on doit respecter les deux règles suivantes :

Les incertitudes expérimentales doivent être arrondies  
avec *un seul chiffre significatif*.

Le dernier chiffre significatif de tout résultat doit être du  
même ordre de grandeur (à la même position décimale)  
que l'incertitude.

- **Exemple :**

La mesure d'une tension donne  $v_m = 5,461$  V et  
l'incertitude sur la mesure est  $\Delta v = 0,03468$  V. Cette  
incertitude doit être arrondie à  $\Delta v = 0,03$  V alors :

$$v = 5,46 \pm 0,03 \text{ V}$$

# Présentation des résultats

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- **Remarque 1** : Si le premier chiffre significatif de l'incertitude est 1 il s'avère préférable de conserver deux chiffres significatifs dans l'incertitude. Exemple  $\Delta x = 0,14$ , si on arrondi à  $\Delta x = 0,1$  on réduit fortement l'intervalle d'incertitude !

# Présentation des résultats

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- **Remarque 1** : Si le premier chiffre significatif de l'incertitude est 1 il s'avère préférable de conserver deux chiffres significatifs dans l'incertitude. Exemple  $\Delta x = 0,14$ , si on arrondi à  $\Delta x = 0,1$  on réduit fortement l'intervalle d'incertitude !
- **Remarque 2** : Ces deux règles sont applicables pour le résultat **final** et *non pas pour les calculs intermédiaires* ou on doit garder au moins un chiffre significatif supplémentaire.

# Comparaison entre les mesures physiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- La mesure d'une grandeur sans tirer une conclusion a peu d'intérêt. Souvent on compare la valeur mesurée à une autre valeur (mesurée ou acceptée) afin de conclure sur la qualité de la mesure.

# Comparaison entre les mesures physiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- La mesure d'une grandeur sans tirer une conclusion a peu d'intérêt. Souvent on compare la valeur mesurée à une autre valeur (mesurée ou acceptée) afin de conclure sur la qualité de la mesure.
- Le désaccord = Différence entre deux mesures d'une même grandeur.

# Comparaison entre les mesures physiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- La mesure d'une grandeur sans tirer une conclusion a peu d'intérêt. Souvent on compare la valeur mesurée à une autre valeur (mesurée ou acceptée) afin de conclure sur la qualité de la mesure.
- Le désaccord = Différence entre deux mesures d'une même grandeur.
  - *Si le désaccord est inférieur ou de l'ordre de l'incertitude, on admet que les deux valeurs sont proches, sinon, elle ne le sont pas.*

# Comparaison entre les mesures physiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- La mesure d'une grandeur sans tirer une conclusion a peu d'intérêt. Souvent on compare la valeur mesurée à une autre valeur (mesurée ou acceptée) afin de conclure sur la qualité de la mesure.
- Le désaccord = Différence entre deux mesures d'une même grandeur.
  - *Si le désaccord est inférieur ou de l'ordre de l'incertitude, on admet que les deux valeurs sont proches, sinon, elle ne le sont pas.*
- **Exemple :**  
Mesure de l'intensité de courant par deux méthodes :



# Comparaison entre les mesures physiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- La mesure d'une grandeur sans tirer une conclusion a peu d'intérêt. Souvent on compare la valeur mesurée à une autre valeur (mesurée ou acceptée) afin de conclure sur la qualité de la mesure.
- Le désaccord = Différence entre deux mesures d'une même grandeur.
  - *Si le désaccord est inférieur ou de l'ordre de l'incertitude, on admet que les deux valeurs sont proches, sinon, elle ne le sont pas.*
- **Exemple :**  
Mesure de l'intensité de courant par deux méthodes :
  - $I_1 = 10 \pm 1 \text{ A} \quad \rightarrow \quad 9\text{A} < I_1 < 11\text{A}$

# Comparaison entre les mesures physiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- La mesure d'une grandeur sans tirer une conclusion a peu d'intérêt. Souvent on compare la valeur mesurée à une autre valeur (mesurée ou acceptée) afin de conclure sur la qualité de la mesure.
- Le désaccord = Différence entre deux mesures d'une même grandeur.
  - *Si le désaccord est inférieur ou de l'ordre de l'incertitude, on admet que les deux valeurs sont proches, sinon, elle ne le sont pas.*

- **Exemple :**

Mesure de l'intensité de courant par deux méthodes :

- $I_1 = 10 \pm 1 \text{ A} \quad \rightarrow \quad 9\text{A} < I_1 < 11\text{A}$
- $I_2 = 15 \pm 2 \text{ A} \quad \rightarrow \quad 13\text{A} < I_2 < 17\text{A}$

# Comparaison entre les mesures physiques

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- La mesure d'une grandeur sans tirer une conclusion a peu d'intérêt. Souvent on compare la valeur mesurée à une autre valeur (mesurée ou acceptée) afin de conclure sur la qualité de la mesure.
- Le désaccord = Différence entre deux mesures d'une même grandeur.
  - *Si le désaccord est inférieur ou de l'ordre de l'incertitude, on admet que les deux valeurs sont proches, sinon, elle ne le sont pas.*
- **Exemple :**  
Mesure de l'intensité de courant par deux méthodes :
  - $I_1 = 10 \pm 1 \text{ A} \rightarrow 9\text{A} < I_1 < 11\text{A}$
  - $I_2 = 15 \pm 2 \text{ A} \rightarrow 13\text{A} < I_2 < 17\text{A}$
  - Le désaccord ici est de 5 A. Il est significatif car aucune valeur n'est simultanément dans les deux intervalles. Donc, une des deux mesure s'avère incorrecte imposant une *vérification expérimentale.*

# Incertitudes type A

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

**Calcul des  
incertitudes**

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette méthode est basée sur l'étude statistique des mesures.

# Incertitudes type A

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette méthode est basée sur l'étude statistique des mesures.
- Elle s'applique au cas des **erreurs aléatoires** et donne de très bonnes estimations des grandeurs physiques ainsi que leurs incertitudes.

# Incertitudes type A

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette méthode est basée sur l'étude statistique des mesures.
- Elle s'applique au cas des **erreurs aléatoires** et donne de très bonnes estimations des grandeurs physiques ainsi que leurs incertitudes.
- Le principe de cette méthode est basé sur la **mesure répétée** d'une grandeur physique dans les mêmes conditions.

# Incertitudes type A

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette méthode est basée sur l'étude statistique des mesures.
- Elle s'applique au cas des **erreurs aléatoires** et donne de très bonnes estimations des grandeurs physiques ainsi que leurs incertitudes.
- Le principe de cette méthode est basé sur la **mesure répétée** d'une grandeur physique dans les mêmes conditions.
- Soit,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  les valeurs d'une même grandeur  $x$ , obtenues dans des conditions semblables.

# Incertitudes type A

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette méthode est basée sur l'étude statistique des mesures.
- Elle s'applique au cas des **erreurs aléatoires** et donne de très bonnes estimations des grandeurs physiques ainsi que leurs incertitudes.
- Le principe de cette méthode est basé sur la **mesure répétée** d'une grandeur physique dans les mêmes conditions.
- Soit,  $x_1, x_2, \dots, x_n$  les valeurs d'une même grandeur  $x$ , obtenues dans des conditions semblables.
- ✓ La meilleure estimation de la valeur de  $x$  est la **moyenne** de ces mesures :

$$\text{Meilleure estimation de } x = \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$



# Incertitudes type A

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- ✓ L'incertitude moyenne sur **une mesure**  $x_i$  est l'**écart-type** obtenue à partir des  $n$  mesures  $x_1, x_2, \dots, x_n$  :

$$\Delta x_i = \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

# Incertitudes type A

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- ✓ L'incertitude moyenne sur **une mesure**  $x_i$  est l'**écart-type** obtenue à partir des  $n$  mesures  $x_1, x_2, \dots, x_n$  :

$$\Delta x_i = \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- Si on réalise, dans des mêmes conditions, une autre **mesure unique**  $x_{n+1}$ , l'incertitude serait  $\Delta x_{n+1} = \sigma_x$  avec une probabilité (ou niveau de confiance) de 68 % (distribution gaussienne).

# Incertitudes type A

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- ✓ La meilleure estimation de *l'incertitude sur la moyenne*  $\bar{x}$  est :

$$\Delta\bar{x} = \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

d'où la meilleur estimation de  $x$  :

$$x = \bar{x} \pm \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

La probabilité (niveau de confiance) correspondante à cette incertitude est 68 (distribution gaussienne lorsque  $n$  est assez grand).

# Incertitudes type A

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- ✓ La meilleure estimation de *l'incertitude sur la moyenne*  $\bar{x}$  est :

$$\Delta\bar{x} = \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

d'où la meilleur estimation de  $x$  :

$$x = \bar{x} \pm \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

La probabilité (niveau de confiance) correspondante à cette incertitude est 68 (distribution gaussienne lorsque  $n$  est assez grand).

- Remarque : Cette mesure est  $\sqrt{n}$  fois plus précise que celle obtenue à partir d'une mesure unique.

# Incertitude élargie

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- ✓ L'incertitude élargie correspond à une probabilité plus grande que 68%. Elle est donnée par :

$$\Delta \bar{x} = k \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Exemples :

# Incertitude élargie

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- ✓ L'incertitude élargie correspond à une probabilité plus grande que 68%. Elle est donnée par :

$$\Delta \bar{x} = k \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Exemples :

- $k = 2$  pour un niveau de confiance de 95 %. C'est le plus utilisé en pratique.

# Incertitude élargie

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- ✓ L'incertitude élargie correspond à une probabilité plus grande que 68%. Elle est donnée par :

$$\Delta \bar{x} = k \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$$

Exemples :

- $k = 2$  pour un niveau de confiance de 95 %. C'est le plus utilisé en pratique.
- $k = 3$  pour un niveau de confiance de 99,7%.

# Exemple : Analyse statistique d'une série de mesures

- Huit étudiants mesurent la longueur d'onde  $\lambda$  de la raie verte du mercure en utilisant un spectromètre à réseau. Ils obtiennent les résultats suivants :

Numéro de l'étudiant	1	2	3	4	5
$\lambda(\text{nm})$	538,2	554,3	545,7	552,3	566,

En utilisant un logiciel de traitement des données (Excel,...) on trouve :

$$\bar{\lambda} = 548,04 \text{ nm} \quad \text{et} \quad \sigma_{\lambda} = 9,72 \text{ nm}$$

On en déduit que l'incertitude sur la moyenne des 8 mesures est :

$$\sigma_{\bar{\lambda}} = \frac{\sigma_{\lambda}}{\sqrt{8}} = 3,44 \text{ nm}$$

La meilleure estimation de  $\lambda$  est :

$$\lambda = 548 \pm 3 \text{ nm, avec un niveau de confiance de 68\%}$$

et avec une incertitude élargie (cas pratiques)



# Incertitude type B

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

**Incertitude  
type B**

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude peut aussi être déterminée à partir d'informations obtenues à partir de :

# Incertitude type B

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

**Incertitude  
type B**

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude peut aussi être déterminée à partir d'informations obtenues à partir de :
  - information sur l'expérience ;

# Incertitude type B

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

**Incertitude  
type B**

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude peut aussi être déterminée à partir d'informations obtenues à partir de :
  - information sur l'expérience ;
  - certificat d'étalonnage ;

# Incertitude type B

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

**Incertitude  
type B**

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude peut aussi être déterminée à partir d'informations obtenues à partir de :
  - information sur l'expérience ;
  - certificat d'étalonnage ;
  - notice du constructeur ;

# Incertitude type B

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude peut aussi être déterminée à partir d'informations obtenues à partir de :
  - information sur l'expérience ;
  - certificat d'étalonnage ;
  - notice du constructeur ;
  - classe des instruments ;
  - ...

# Incertitude type B

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude peut aussi être déterminée à partir d'informations obtenues à partir de :
  - information sur l'expérience ;
  - certificat d'étalonnage ;
  - notice du constructeur ;
  - classe des instruments ;
  - ...
- Donc, dans le cas où l'on dispose d'une seule mesure, on évalue un écart-type à partir des données du constructeur de l'appareil de mesure et d'hypothèses sur la qualité de la lecture réalisée sur l'appareil.  
Pour exprimer l'incertitude de Type B sous forme d'un écart-type, il faut utiliser des lois de probabilité. En générale on utilise la loi rectangulaire (uniforme) ou la loi normale (gaussienne).

# Incertitude-type

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $u$  (uncertainty), sur une mesure d'une grandeur  $x$ , résulte de la composition des incertitudes suivantes :

D'où :

$$u = \sqrt{u_j^2 + u_c^2 + u_a^2}$$

# Incertitude-type

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $u$  (uncertainty), sur une mesure d'une grandeur  $x$ , résulte de la composition des incertitudes suivantes :

✓  $u_l$  : incertitude due à la lecture sur l'instrument ;

D'où :

$$u = \sqrt{u_l^2 + u_c^2 + u_a^2}$$



# Incertitude-type

- L'incertitude  $u$  (uncertainty), sur une mesure d'une grandeur  $x$ , résulte de la composition des incertitudes suivantes :
  - ✓  $u_I$  : incertitude due à la lecture sur l'instrument ;
  - ✓  $u_C$  : incertitude liée aux caractéristiques de l'appareil, donnée par le constructeur (précision, classe).

D'où :

$$u = \sqrt{u_I^2 + u_C^2 + u_a^2}$$

# Incertitude-type

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $u$  (uncertainty), sur une mesure d'une grandeur  $x$ , résulte de la composition des incertitudes suivantes :
  - ✓  $u_l$  : incertitude due à la lecture sur l'instrument ;
  - ✓  $u_c$  : incertitude liée aux caractéristiques de l'appareil, donnée par le constructeur (précision, classe).
  - ✓  $u_a$  : autres incertitudes éventuellement disponibles (mises au point, parallaxe,...).

D'où :

$$u = \sqrt{u_l^2 + u_c^2 + u_a^2}$$

# Incertitude-type

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $u$  (uncertainty), sur une mesure d'une grandeur  $x$ , résulte de la composition des incertitudes suivantes :
  - ✓  $u_l$  : incertitude due à la lecture sur l'instrument ;
  - ✓  $u_c$  : incertitude liée aux caractéristiques de l'appareil, donnée par le constructeur (précision, classe).
  - ✓  $u_a$  : autres incertitudes éventuellement disponibles (mises au point, parallaxe,...).

D'où :

$$u = \sqrt{u_l^2 + u_c^2 + u_a^2}$$

- L'incertitude **élargie** (avec un niveau de confiance 95%) :

$$\Delta x = 2u$$

# Incertitude-type

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- L'incertitude  $u$  (uncertainty), sur une mesure d'une grandeur  $x$ , résulte de la composition des incertitudes suivantes :
  - ✓  $u_l$  : incertitude due à la lecture sur l'instrument ;
  - ✓  $u_c$  : incertitude liée aux caractéristiques de l'appareil, donnée par le constructeur (précision, classe).
  - ✓  $u_a$  : autres incertitudes éventuellement disponibles (mises au point, parallaxe,...).

D'où :

$$u = \sqrt{u_l^2 + u_c^2 + u_a^2}$$

- L'incertitude **élargie** (avec un niveau de confiance 95%) :

$$\Delta x = 2u$$

- ✓ L'**incertitude-type** dépend de la **loi de distribution** des mesures données par l'instrument. En générale on utilise la loi rectangulaire (uniforme) ou la loi normale (gaussienne).

# Incertitude-type liée à la résolution

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

**Incertitude  
type B**

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée à la **résolution**  $q$  de l'instrument (erreur de lecture) :

# Incertitude-type liée à la résolution

- Cette incertitude est liée à la **résolution**  $q$  de l'instrument (erreur de lecture) :
  - si  $q$  est donnée par le constructeur (voir notice) alors ;

$$u_r = \frac{q}{\sqrt{3}}$$

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

# Incertitude-type liée à la résolution

- Cette incertitude est liée à la **résolution**  $q$  de l'instrument (erreur de lecture) :

- si  $q$  est donnée par le constructeur (voir notice) alors ;

$$u_r = \frac{q}{\sqrt{3}}$$

- sinon, on prend

" $q = \text{La moitié d'une unité sur le dernier chiffre significatif}$ "  
dans le cas d'un **instrument numérique**.

$$u_r = \frac{q}{\sqrt{3}} \quad (\text{loi uniforme})$$

# Incertitude-type liée à la résolution

- Cette incertitude est liée à la **résolution**  $q$  de l'instrument (erreur de lecture) :

- si  $q$  est donnée par le constructeur (voir notice) alors ;

$$u_r = \frac{q}{\sqrt{3}}$$

- sinon, on prend

" $q = \text{La moitié d'une unité sur le dernier chiffre significatif}$ "  
dans le cas d'un **instrument numérique**.

$$u_r = \frac{q}{\sqrt{3}} \quad (\text{loi uniforme})$$

- soit on prend " $q = \text{la la moitié du plus petite division}$ "  
dans le cas d'un **instrument gradué** (oscilloscope, règle, thermomètre,...).

$$u_r = \frac{q}{3} \quad (\text{loi normale})$$



# Incertitude-type liée à la précision

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

**Incertitude  
type B**

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée à la **précision** (qualité) de l'instrument. Elle donnée par le constructeur (voit notice).
- Pour un instrument numérique, elle est donnée :

# Incertitude-type liée à la précision

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

**Incertitude  
type B**

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée à la **précision** (qualité) de l'instrument. Elle donnée par le constructeur (voit notice).
- Pour un instrument numérique, elle est donnée :
  - soit sous forme d'une **valeur  $p$** .

# Incertitude-type liée à la précision

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée à la **précision** (qualité) de l'instrument. Elle donnée par le constructeur (voit notice).
- Pour un instrument numérique, elle est donnée :
  - soit sous forme d'une **valeur  $p$** .
  - soit sous la forme d'une **formule**.

# Incertitude-type liée à la précision

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée à la **précision** (qualité) de l'instrument. Elle donnée par le constructeur (voit notice).
- Pour un instrument numérique, elle est donnée :
  - soit sous forme d'une **valeur**  $p$ .
  - soit sous la forme d'une **formule**.
  - Exemple :

$$p = 0,08\% x_{lue} + 3 \text{ UR}$$

# Incertitude-type liée à la précision

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée à la **précision** (qualité) de l'instrument. Elle donnée par le constructeur (voit notice).
- Pour un instrument numérique, elle est donnée :
  - soit sous forme d'une **valeur**  $p$ .
  - soit sous la forme d'une **formule**.
  - Exemple :

$$p = 0,08\% x_{lue} + 3 \text{ UR}$$

- $x_{lue}$  la valeur lue sur l'affichage de l'appareil

# Incertitude-type liée à la précision

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée à la **précision** (qualité) de l'instrument. Elle donnée par le constructeur (voit notice).
- Pour un instrument numérique, elle est donnée :
  - soit sous forme d'une **valeur**  $p$ .
  - soit sous la forme d'une **formule**.
  - Exemple :

$$p = 0,08\% x_{lue} + 3 \text{ UR}$$

- $x_{lue}$  la valeur lue sur l'affichage de l'appareil
- **UR** : Unité Représentative =  $\frac{\text{Gamme}}{\text{Nombre de points}}$

# Incertitude-type liée à la précision

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée à la **précision** (qualité) de l'instrument. Elle donnée par le constructeur (voit notice).
- Pour un instrument numérique, elle est donnée :
  - soit sous forme d'une **valeur  $p$** .
  - soit sous la forme d'une **formule**.
  - Exemple :

$$p = 0,08\% x_{lue} + 3 \text{ UR}$$

- $x_{lue}$  la valeur lue sur l'affichage de l'appareil
- **UR** : Unité Représentative =  $\frac{\text{Gamme}}{\text{Nombre de points}}$
- La "Gamme" et "Nombre de points" sont donnés par le constructeur.

# Incertitude-type liée à la précision

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée à la **précision** (qualité) de l'instrument. Elle donnée par le constructeur (voit notice).
- Pour un instrument numérique, elle est donnée :
  - soit sous forme d'une **valeur**  $p$ .
  - soit sous la forme d'une **formule**.
  - Exemple :

$$p = 0,08\% x_{lue} + 3 \text{ UR}$$

- $x_{lue}$  la valeur lue sur l'affichage de l'appareil
  - **UR** : Unité Représentative =  $\frac{\text{Gamme}}{\text{Nombre de points}}$
  - La "Gamme" et "Nombre de points" sont donnés par le constructeur.
- La loi de probabilité considérée dans ce cas est la loi uniforme, donc l'**incertitude-type** liée à la précision est :

$$u_p = \frac{p}{\sqrt{3}}$$



# Incertitude liée à la tolérance

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

**Incertitude  
type B**

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée l'erreur maximale tolérée de l'instrument (pipette, burette, ....).

# Incertitude liée à la tolérance

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée l'erreur maximale tolérée de l'instrument (pipette, burette, ....).
- Elle est donnée par le constructeur (selon la classe) sous forme :  $\pm a$ .

# Incertitude liée à la tolérance

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Cette incertitude est liée l'erreur maximale tolérée de l'instrument (pipette, burette, ....).
- Elle est donnée par le constructeur (selon la classe) sous forme :  $\pm a$ .
- L'**incertitude-type** (précision) est :

$$u_t = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

# Incertitude liée à une plage de mesure

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemples : Erreur de mesure de la position par mise au point sur un banc d'optique. Dans ce cas on a

$$x_{\min} < x < x_{\max}$$

# Incertitude liée à une plage de mesure

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemples : Erreur de mesure de la position par mise au point sur un banc d'optique. Dans ce cas on a

$$x_{\min} < x < x_{\max}$$

- La loi de probabilité considérée dans ce cas est la loi uniforme. Donc l'**incertitude-type** est :

$$u = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2\sqrt{3}}$$

# Cas d'un résultat indiqué "sans" incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'un résultat est présenté sans indiquer l'incertitude, on considère que cette dernière est égale à la moitié du plus petit poids (c-à-d le poids du chiffre incertain qui est le dernier chiffre significatif).

$u = \text{moitié du plus petit poids dans le résultat}$

# Cas d'un résultat indiqué "sans" incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'un résultat est présenté sans indiquer l'incertitude, on considère que cette dernière est égale à la moitié du plus petit poids (c-à-d le poids du chiffre incertain qui est le dernier chiffre significatif).

$u = \text{moitié du plus petit poids dans le résultat}$

- L'incertitude-type est :

$$u_t = \frac{u}{\sqrt{3}}$$

# Cas d'un résultat indiqué "sans" incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'un résultat est présenté sans indiquer l'incertitude, on considère que cette dernière est égale à la moitié du plus petit poids (c-à-d le poids du chiffre incertain qui est le dernier chiffre significatif).

$u = \text{moitié du plus petit poids dans le résultat}$

- L'incertitude-type est :

$$u_t = \frac{u}{\sqrt{3}}$$

- Exemples :

- $L = \underline{\underline{12}}$  m : le poids le plus petit est celui des unités 1 (qui correspond au chiffre 2) alors  $u = \Delta L = 0,5$  m.



# Cas d'un résultat indiqué "sans" incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'un résultat est présenté sans indiquer l'incertitude, on considère que cette dernière est égale à la moitié du plus petit poids (c-à-d le poids du chiffre incertain qui est le dernier chiffre significatif).

$u = \text{moitié du plus petit poids dans le résultat}$

- L'incertitude-type est :

$$u_t = \frac{u}{\sqrt{3}}$$

- Exemples :

- $L = \underline{\underline{12}}$  m : le poids le plus petit est celui des unités 1 (qui correspond au chiffre 2) alors  $u = \Delta L = 0,5$  m.

# Cas d'un résultat indiqué "sans" incertitude

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsqu'un résultat est présenté sans indiquer l'incertitude, on considère que cette dernière est égale à la moitié du plus petit poids (c-à-d le poids du chiffre incertain qui est le dernier chiffre significatif).

$u = \text{moitié du plus petit poids dans le résultat}$

- L'incertitude-type est :

$$u_t = \frac{u}{\sqrt{3}}$$

- Exemples :

- 
- $L = \underline{\underline{12}}$  m : le poids le plus petit est celui des unités 1 (qui correspond au chiffre 2) alors  $u = \Delta L = 0,5$  m.

# Propagation des incertitudes

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemple : pour mesurer la surface  $S$  d'un rectangle, on mesure sa longueur  $L$  et sa largeur  $l$  puis on déduit :  
 $S = Ll$  (Mesure indirecte).

# Propagation des incertitudes

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Exemple : pour mesurer la surface  $S$  d'un rectangle, on mesure sa longueur  $L$  et sa largeur  $l$  puis on déduit :  $S = Ll$  (Mesure indirecte).
- L'incertitude sur  $L$  et  $l$  va engendrer une incertitude sur la surface : c'est la propagation des incertitudes.
- Problématique : on mesure les grandeurs expérimentales  $x, y, \dots$  avec les incertitudes  $\Delta x, \Delta y, \dots$  (mesure unique), quelle est l'incertitude  $\Delta f$  sur la grandeur  $f = f(x, y, \dots)$  ?

# Formule générale de propagation des incertitudes

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsque les incertitudes sur les grandeurs  $x$  et  $y$ , ... sont **indépendantes** et **aléatoires** (cas général), la meilleure estimation de l'incertitude sur la grandeur  $f(x, y, \dots)$  est donnée par la somme quadratique :

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \dots}$$

# Formule générale de propagation des incertitudes

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsque les incertitudes sur les grandeurs  $x$  et  $y$ , ... sont **indépendantes** et **aléatoires** (cas général), la meilleure estimation de l'incertitude sur la grandeur  $f(x, y, \dots)$  est donnée par la somme quadratique :

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \dots}$$

- **Remarque :**

$\Delta f$  est toujours majorée par :

$$\Delta f \leq \Delta f_{\max} = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \Delta y + \dots$$

# Formule générale de propagation des incertitudes

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Lorsque les incertitudes sur les grandeurs  $x$  et  $y$ , ... sont **indépendantes** et **aléatoires** (cas général), la meilleure estimation de l'incertitude sur la grandeur  $f(x, y, \dots)$  est donnée par la somme quadratique :

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \dots}$$

- **Remarque :**

$\Delta f$  est toujours majorée par :

$$\Delta f \leq \Delta f_{\max} = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \Delta x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \Delta y + \dots$$

- Si on soupçonne que les incertitudes sont liées on prend  $\Delta f = \Delta f_{\max}$ .

# Cas particuliers

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Si  $f = x/y$  ou  $f = xy$  alors :

$$\frac{\Delta f}{f} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$$



# Cas particuliers

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- Si  $f = x/y$  ou  $f = xy$  alors :

$$\frac{\Delta f}{f} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2}$$

- Si  $f = x + y$  ou  $f = x - y$  alors :

$$\Delta f = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

# Mesure d'une tension par un voltmètre

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- On mesure une tension par un voltmètre numérique.
  - Affichage numérique :  $V = \dots$
  - Incertitude de résolution (de lecture) :  $q = \dots$
  - Incertitude de précision (formule du constructeur) :  $p = \dots$
  - Incertitudes-type
    - $u_r = \frac{q}{\sqrt{3}} = \dots$  (loi uniforme)
    - $u_c = \frac{p}{\sqrt{3}} = \dots$  (loi uniforme)
  - Incertitude-type :

$$u = \sqrt{u_r^2 + u_c^2} = \dots$$

- Incertitude élargie (avec un niveau de confiance de 95 %) :

$$U = 2u = \dots$$

- Résultat final :

$$V = \dots \pm \dots (\text{V})$$

# Mesures avec la carte d'acquisition SP5-LatisPro

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte-  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- On va utiliser la méthode statistique.
  - Régler le GBF pour sur une tension  $v$  continue de à 1 V.
  - On utilisera Latis Pro avec un calibre +1/-1.
  - Obtient-on une valeur unique de tension ? Comment l'expliquer ?
  - Enregistrer la liste des valeurs de tension mesurées.
  - Donner la valeur moyenne  $v$  et l'écart-type  $\sigma_v$  de la distribution de valeurs de  $v$ .
  - Déterminer l'intervalle de confiance à 95%.
  - Comparer avec la plage de mesure  $a = \frac{v_{max} - v_{min}}{2}$ .
  - Résultat :

$$V = \dots \pm \dots V$$

Cette incertitude pourra être utilisée pour toute mesure ultérieure de la tension.

# Incertitude sur une mesure mécanique

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- On va traiter un exemple simple de chute parabolique (la vidéo est disponible dans la bibliothèque de LatisPro)
- Détermination des incertitudes  
On va utiliser la méthode statistique.
  - Ouvrir la vidéo est faire le paramétrage habituel (axes et étalon).
  - Lancer l'acquisition et pointer le même point sur les images successives.
  - Donner la valeur de l'écart-type  $\sigma_x$  de la distribution de valeurs de la position  $x$  (ou  $y$ ).
  - Donner alors l'incertitude élargie  $\Delta x$  sur une mesure la position.
  - Donner une estimation de l'incertitude  $\Delta t$  sur le temps.

# Détermination du champ de pesanteur

Incertitudes  
des mesures

A.HABIB

Erreur et  
incertitude

Erreurs

Incertitudes

Présentation  
du résultat  
d'une mesure

Calcul des  
incertitudes

Incertitude  
type B

Mesure  
indirecte–  
Propagation  
des  
incertitudes

Applications

- On va maintenant traiter la vidéo de chute parabolique pour déterminer la valeur du champ de pesanteur  $g$ .
  - Ouvrir la vidéo est faire le paramétrage habituel (axes et étalon).
  - Lancer l'acquisition et pointer la balle sur les images successives.
  - Tracer les courbes de  $x(t)$  et  $y(t)$ .
  - Faire une modélisation. Introduire les incertitudes mesurées dans le paragraphe précédent.
  - Déduire la valeur de  $g$  :

$$g = \dots \pm \dots \text{m.s}^{-2}$$

# Mesure d'un temps avec un chronomètre

- Exemple : Mesure de la période d'un pendule simple.  
Données du constructeur :

- Résolution :  $1/100$  s
- Précision :  $0,0006\%$
- Affichage numérique :  $T = \dots$
- Incertitude de résolution :  $q = \dots$
- Incertitude de précision :  $p = T * 0,0006/100 = \dots$
- Incertitude aléatoire de l'opérateur lors du déclenchement et l'arrêt.

On considère que  $u_{op} \approx 0,1$  s (temps de réaction).

- Incertitudes-type
  - $u_r = \frac{q}{\sqrt{3}} = \dots$
  - $u_c = \frac{p}{\sqrt{3}} = \dots$
- L'incertitude-type sur  $T$  :

$$u = \sqrt{u_r^2 + u_c^2 + u_{op}^2} = \dots$$

- Incertitude élargie (avec un niveau de confiance de 95 %) :