



**Université Internationale
de Casablanca**

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

Nous innovons pour votre réussite !

Electricité et Electromagnétisme

Filière : CPI

Session : S1

Professeur : Dr. Laila DAMRI

Année universitaire : 2015 - 2016

Objectif du cours

- ❑ L'objectif du cours est de donner aux étudiants les notions de bases liées à l'électricité et à l'électro-magnétisme. L'accent est mis sur une présentation phénoménologique et intuitive afin d'assurer la compréhension "physique" des phénomènes. Cette démarche vise à faciliter l'accès aux formalismes plus généraux des années suivantes.

- ❑ **Situation déclenchante:** à la maison, lorsqu'un appareil électrique tombe en panne, les autres continuent à fonctionner !
 - **Question:** *Comment peut on savoir si le circuit électrique de la maison est en série ou en dérivation ?*
 - **Hypothèses:** vous utiliserez les mots suivants : je pense que ... parce que ... et pour le vérifier, je propose que ...
 - **Vérifications expérimentales:** Liste des matériels, réalisation expérimentales, observations, conclusions

Stratégies pédagogiques

- ❖ Deux heures de cours magistral par semaine.
- ❖ De nombreux exemples seront faits en classe pour permettre aux étudiants de bien assimiler la théorie et les techniques présentées au cours.
- ❖ Deux heures sont consacrées à l'analyse de problèmes et d'applications pertinentes. L'étudiant est alors en mesure d'évaluer objectivement son degré d'acquisition des connaissances et d'y apporter les correctifs appropriés.
- ❖ Des séances en laboratoire complètent l'apprentissage des concepts fondamentaux.

Modes d'évaluation

- ❖ Examens partiels: 25%
- ❖ Devoirs et Tps: 15% (en groupe)
- ❖ Participations: 5%
- ❖ Examen final: 55%

Contenu du cours

Partie I : Electricité

Semaine 1	Grandeurs, unités, calcul d'incertitude,
Semaine 2	Charge électrique, champ électrique, potentiel, capacité, exemples industriels
Semaine 3	Régime continu (composants électriques, pont de wheatstone, loi de kirchhoff...) et sinusoïdale (impédance complexe, résonance, ...)
Semaine 4	Puissance (apparente, active et réactive, effet joule, facteur de puissance...)
Semaine 5	Examen partial 1

Contenu du cours

Partie II : Electromagnétisme

Semaine 1	théorème d'Ampère, Loi de Laplace et de Lentz
Semaine 2	Magnétisme, Courants de Foucault
Semaine 3	Notion sur le champ et induction magnétique Lois de Biot et Savart
Semaine 4	Flux magnétique et théorème d'Ampère
Semaine 5	Analogie électrostatique et magnétostatique Effet d'induction mutuelle
Semaine 6	Examen partiel 2

Plan de cours

- Partie 1 : Electricité
 - Chapitre 1 : Grandeurs électriques, appareils de mesure et incertitude.
 - Chapitre 2 : Charge électrique, champ électrique, potentiel, capacité, exemples industriels.
 - Chapitre 3:
 - Régime continu : composants électriques, lois de Kirshhoff, pont de wheatstone.
 - Régime sinusoïdal : calcul des impédances.
- Partie 2 : Electromagnétisme
 - Chapitre 4 : Champs et induction magnétiques : loi de Biot et Savart, théorème d'Ampère.

Partie 1

Electricité

Chapitre 1

Grandeurs électriques, appareils de mesure et incertitude

- Appareils de mesure
- Grandeurs électriques
- Calcul d'incertitudes

Appareils de mesure

Définition

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

- Les appareils de mesure servent à mesurer les grandeurs électriques telles que la tension, l'intensité de courant, la puissance électrique...
- Chaque appareil de mesure possède deux sondes, deux fils qui sortent de l'appareil et qu'il faut connecter au circuit de manière appropriée pour prendre la mesure.



Appareils de mesure

Objectifs

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Dans les domaines d'électricité et d'électronique les appareils de mesure ont comme objectifs :

- La vérification expérimentale d'un circuit.
- La modélisation, la mise au point ou le dépannage d'un montage.
- La certification d'un procédé ou d'un produit, dans le domaine industriel.
- La maintenance ou la réparation d'un dispositif électrique ou électronique.

Appareils de mesure

Mais pourquoi mesurer ?

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

- C'est le seul moyen de vérifier le fonctionnement ou les performances d'un procédé industriel, grâce à des appareils de mesure très performants.
- Les laboratoires disposent maintenant d'appareils extrêmement sophistiqués, pilotés par ordinateurs.

Exemple

Mesurer simultanément plusieurs paramètres d'un véhicule en marche à l'aide d'une unité d'acquisition reliée à un ordinateur.

Appareils de mesure

Types

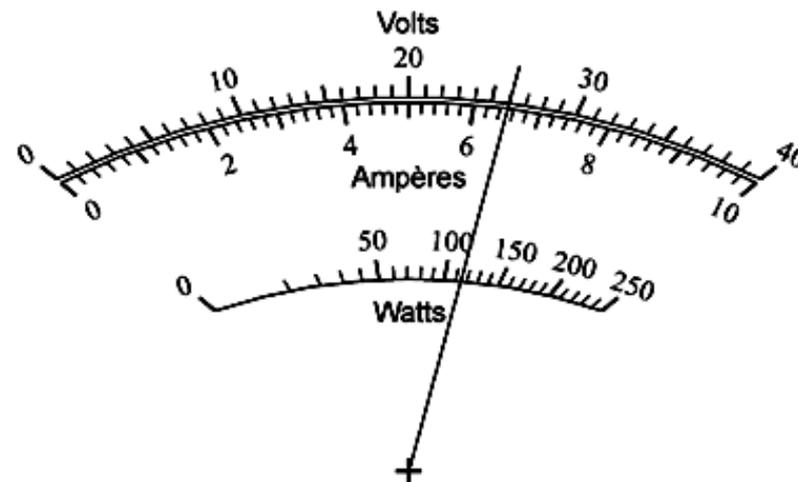
Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Globalement, il existe deux types:

1. Appareil analogique :

C'est un appareil de mesure généralement à aiguille qui indique une valeur exactement proportionnelle à la valeur de la grandeur à mesurer.



Appareils de mesure

Types

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Globalement, il existe deux types:

2. Appareil numérique

Il est de plus en plus utilisé pour les nombreux avantages qui représente :

- Facilité de lecture (affichage numérique de la valeur mesurée)
- Précision
- Fiabilité
- Robustesse...



Appareils de mesure

Types

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Il existe plusieurs appareils de mesure qu'on peut utiliser selon la nature du grandeurs à mesurer. On trouve par exemple :

- Le Voltmètre qui permet de mesurer la tension.
- L'Ampèremètre qui permet de mesurer le courant électrique en Ampères.
- Le Wattmètre qui permet de mesurer des puissances.
- L'ohmmètre qui permet de mesurer des résistances ...

Appareils de mesure

Types

Partie 1: Electricité

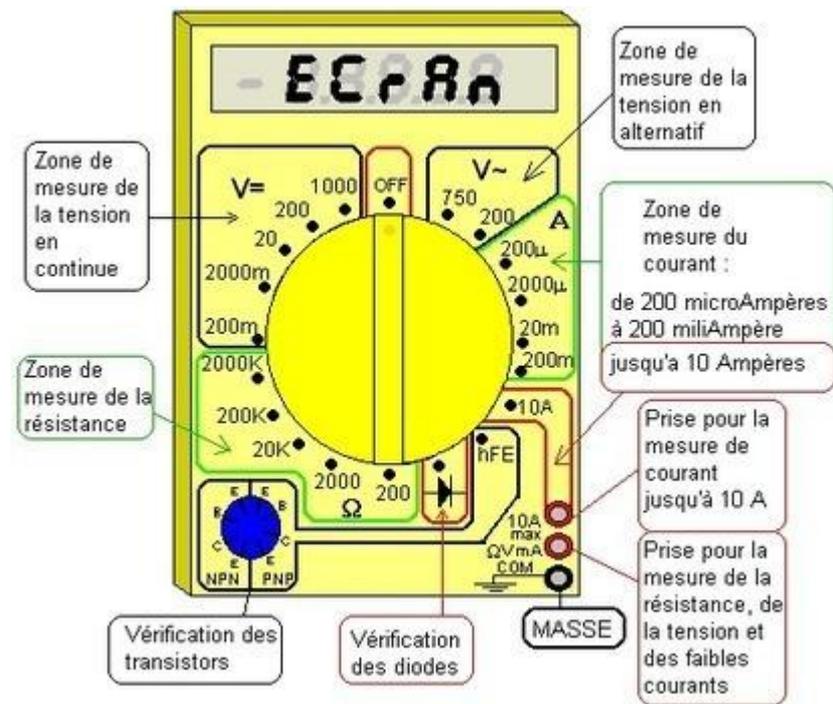
Partie 2: Electromagnétisme

Le Multimètre

On trouve que le voltmètre, l'ampèremètre et l'ohmmètre sont souvent regroupés dans un seul appareil qu'on appelle Multimètre.

Des fonctionnalités de plus:

- Testeur de composants (diodes et transistors).
- Capacimètre (pour mesurer des capacités),
- Fréquencemètre, etc...



Appareils de mesure

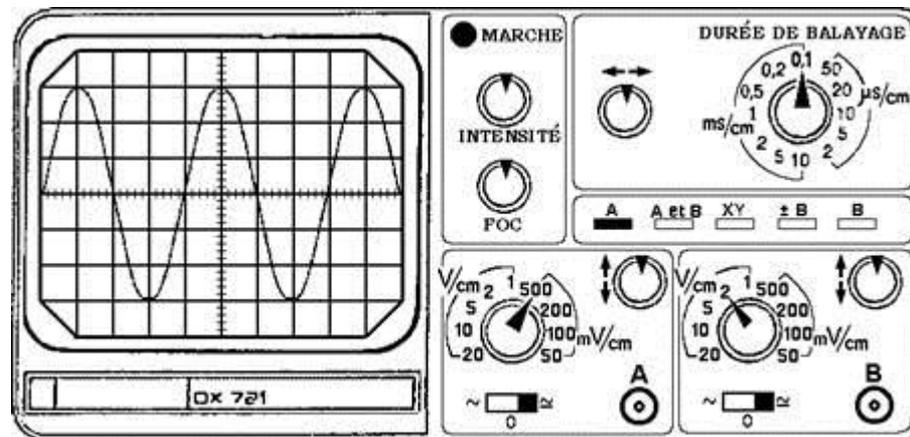
Types

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

L'oscilloscope

Parmi les autres appareils de mesure couramment utilisés par l'électricien ou électronicien, on doit mentionner **l'oscilloscope**, qui permet de visualiser la forme d'une onde et d'obtenir de nombreux renseignements (amplitude, période, etc...).



Grandeurs électriques

L'intensité de courant

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Dû au déplacement des électrons (des particules élémentaires porteuses de charges électriques négatives) entre deux bornes.

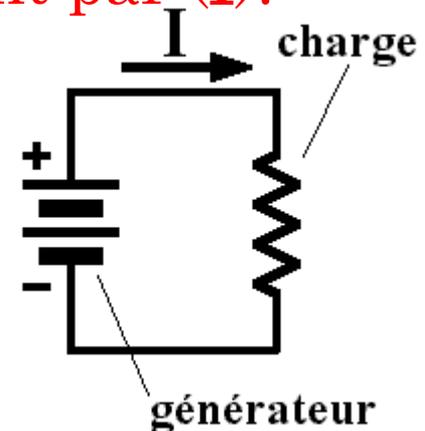


L'intensité de courant est exprimée en **AMPERES (A)**.

On symbolise l'intensité de courant par **(I)**.

Exemple

Une pile débitant dans une résistance.



Grandeurs électriques

La tension

Partie 1: Electricité

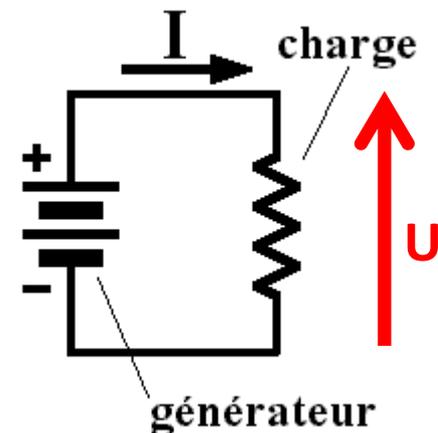
Partie 2: Electromagnétisme

Egalement appelée la « *différence de potentiel* », correspond à la force avec laquelle le courant électrique sera envoyé dans un circuit.

la tension est exprimée en **VOLTS (V)**.
On symbolise la tension par (**U**).

Exemple

Une pile débitant dans une résistance.
Aux bornes de la résistance une tension U est créée dû au passage de courant I .



Grandeurs électriques

La résistance

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Correspond à l'opposition que rencontre le courant électrique lors de son déplacement dans un milieu conducteur.

La résistance est exprimée en **OHM** (Ω).
On symbolise la résistance par **(R)**.

Grandeurs électriques

La puissance

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

C'est le produit de la tension et de l'intensité. Elle représente l'*énergie absorbée* par un circuit ou par un appareil électrique et ce, par *unité de temps*.

la puissance est exprimée en **WATT (W)** mais peut être aussi exprimée en **VOLTS-AMPERES (VA)**.

On symbolise la puissance par **(P)**.

Grandeurs électriques

Tableau de grandeurs

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Grandeur	Symbole	Unité	Symbole	Appareil de mesure
Tension	U	Volt	V	Voltmètre
Courant	I	Ampère	A	Ampèremètre
Puissance	P	Watt	W	Wattmètre
Résistance	R	Ohm	Ω	Ohmmètre
Capacité	C	Farad	F	Capacimètre
Inductance	L	Henry	H	Henrymètre
Période	T	seconde	S	Périodemètre
Fréquence	f	Hertz	Hz	Fréquencemètre
Température	T	Degrés celsius	°C	Thermomètre
Pression	P	Pascal	Pa (ou bar)	Baromètre
Chaleur	Q	Calorie	Cal	Calomètre
Eclairement	E	Luxe	Lux	Luxmètre
Intensité lumineuse	I	Cande la	Cd	Candelamètre

Grandeurs électriques

Multiples et sous multiples des unités

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Préfixe	Symbole	Multiplicateur
Exa	E	10^{18}
Péta	P	10^{15}
Téra	T	10^{12}
Giga	G	10^9
Méga	M	10^6
Kilo	K	10^3
hecto	H	10^2
déca	da	10^1
déci	d	10^{-1}
centi	C	10^{-2}
milli	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}
femto	f	10^{-15}
alto	a	10^{-18}

Grandeurs électriques

Equivalences des unités traditionnelles
et les unités légales

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Grandeurs	Unités traditionnelles	Unités légales
Force	1 Kgf	9.8 N
	0.102 Kgf	1 N
Pression	1 Kgf/m ²	9.8 Pa
	0.102 Kgf/m ²	1 Pa
	1 Kgf/cm ²	0.98 bar = 98060 Pa
	1.02 Kgf/cm ²	1 bar
	1 mCE	0.098 bar = 9806 Pa
	1 mmCE	0.098 mbar = 9.8 Pa
	10.2 mCE	1 bar
10.2 mmCE	1 mbar	
Energie	1 Kgm	9.8 J
	0.102 Kgm	1 J
	1 Kcal	4.1855 KJ
	0.2389 Kcal	1 KJ
	1 Kcal	1.163 Wh
	0.860 Kcal	1 Wh
	860 Kcal	1 KWh
Puissance	1 Kgm/s	9.8 W
	0.102 Kgm/s	1 W
	1 Kcal/h	1.163 W
	0.860 Kcal/h	1 W
	860 Kcal/h	1 KW

Grandeurs électriques

Attention à la conversion des unités!!!

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Mars Climate Orbiter

- Satellite devrait agir comme un station relais pour cinq ans
- Aider à la transmission de données vers et depuis la planète Mars
- Fournir des informations détaillées sur la température atmosphérique, la poussière, la vapeur d'eau, et des nuages sur Mars.
- Fournir des informations précieuses sur la quantité de dioxyde de carbone (CO₂) en Mars.



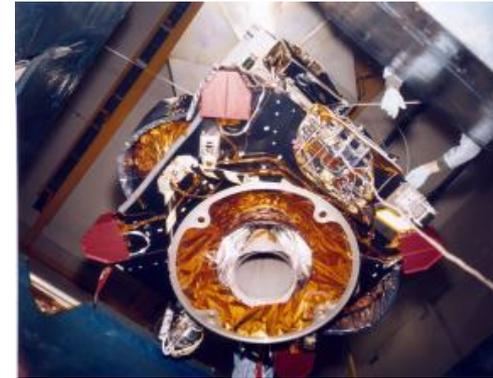
Grandeurs électriques

Attention à la conversion des unités!!!

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Mars Climate Orbiter



- Alors que des 328 millions de dollars ont été investis dans ce projet:

23 septembre 1999: La mission Mars Climate Orbiter a été perdue lors de son entrée dans l'atmosphère martienne sur une trajectoire plus faible que prévu.

Grandeurs électriques

Attention à la conversion des unités!!!

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Mars Climate Orbiter

C'était quoi le problème?

En raison d'une erreur de conversion dans lequel les commandes de l'engin ont été envoyés dans les unités anglaises (BTU) plutôt que des unités métriques(SI)

Officieusement, le problème avait été détecté, mais en raison de la politique entre l'équipe de développement et le JPL, une solution n'a jamais été déployé.



Grandeurs électriques

Equivalence des unités anglo-saxonnes

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Grandeurs	Unités françaises	Unités anglo-saxonnes
Logeur	1 mm 25.4 mm	0.0394 pouce 1 pouce
Volume	1 dm ³ 3.79 dm ³	0.264 gallon 1 gallon
Pression	1 g/cm ² 70.3 g/cm ² 1 Pa 6889 Pa 1 bar 0.0689 bar	0.0142 p.s.i 1 p.s.i 1.45 x 10 ⁻⁴ p.s.i 1 p.s.i 14.5 p.s.i 1 p.s.i
Température	Température celsius tc $tc = (tf - 32) / 1.8$	Température Fahrenheit tf $tf = 1.8 tc + 32$
Chaleur	1 KJ 1.0548 KJ 1 KWh 0.7457 KWh	0.948 BTU 1 BTU 1.341 HPH 1 HPH
Puissance	1 KW 0.7457 KW	1.341 HP 1 HP

La valeur obtenue par une mesure est elle la vraie valeur?

Toute mesure expérimentale, qu'elle soit (électrique, mécanique, chimique...), ne correspond jamais à une valeur exacte.

La différence entre la valeur mesurée et la valeur exacte correspond à l'**erreur expérimentale**. Cependant la valeur exacte n'étant pas connue, l'erreur "**commise**" est difficilement quantifiable. Cette erreur provient principalement des incertitudes de mesure.

Quels sont les source des erreurs systématiques ?

- L'expérimentateur
- Appareillages imparfaitement étalonnés
- Techniques de préparation des échantillons

Calcul d'incertitudes

L'incertitude absolue

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Correspond à l'estimation de l'erreur que fait l'expérimentateur lorsqu'il effectue une mesure.

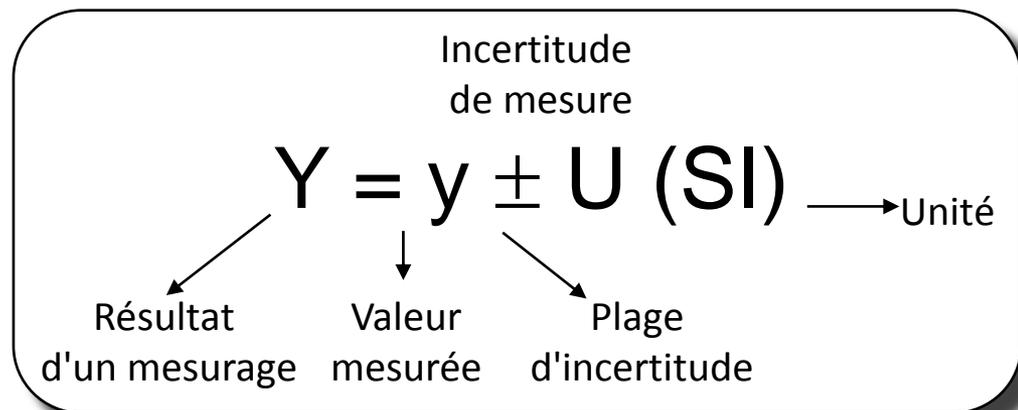
On note une mesure ou un résultat m avec son incertitude absolue Dm de la façon suivante :

$$m \pm Dm \quad (\text{unité})$$

m est la **valeur probable** de la grandeur mesurée.

Dm est son **incertitude absolue**

La valeur exacte est comprise entre $m - Dm$ et $m + Dm$



Calcul d'incertitudes

L'incertitude absolue

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

L'incertitude absolue =
l'incertitude sur la lecture de l'instrument + l'incertitude sur
d'autres facteurs

L'incertitude de l'instrument

- **Appareil à graduation**

En général, à moins d'indication contraire donnée par le fabricant, l'incertitude sur la lecture effectuée avec un instrument gradué de bonne qualité est donnée par :

la moitié de la plus petite division

Exemple

Pour une règle graduée en mm, l'incertitude absolue sur la lecture sera de 0,5 mm ou 0,05 cm

Calcul d'incertitudes

L'incertitude absolue

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

L'incertitude absolue =
l'incertitude sur la lecture de l'instrument + l'incertitude sur
d'autres facteurs

L'incertitude de l'instrument

- **Appareil numérique**

En général, à moins d'indication contraire donnée par le fabricant, l'incertitude sur la lecture effectuée avec un instrument numérique de bonne qualité est donnée par :

Une unité sur le chiffre le moins significatif affiché

Exemple

Pour un voltmètre indiquant 1,25 V, l'incertitude sur la lecture sera $\pm 0,01$ V

On écrira $1,25 \pm 0,01$ V soit $\pm 0,80$ %

Calcul d'incertitudes

L'incertitude absolue

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

L'incertitude absolue =
l'incertitude sur la lecture de l'instrument + l'incertitude sur
d'autres facteurs

L'incertitude de l'instrument

- **Appareil numérique**

Cependant, les fabricants des appareils numériques que nous utiliserons indique l'incertitude sur la lecture de l'appareil de la façon suivante :

Un pourcentage du chiffre affiché + une valeur vis-à-vis sur le chiffre le moins significatif

Exemple. 1,5 % du chiffre affiché + 2 vis-à-vis le chiffre le moins significatif

On obtient $1,25 \pm (0,01875 + 0,02) = 1,25 \pm 0,04 \text{ V}$

On écrira $1,25 \pm 0,04 \text{ V}$ soit $\pm 3,1 \%$

L'incertitude absolue =
l'incertitude sur la lecture de l'instrument + l'incertitude sur
d'autres facteurs

L'incertitude sur d'autres facteurs

- L'expérience et le jugement de l'expérimentateur permet d'évaluer cette incertitude.
- Les fluctuations des valeurs à mesurer, la difficulté à mesurer sont les principaux facteurs.
- En conclusion, lorsque nous effectuons une ou quelques mesures d'une grandeur, l'incertitude absolue ne peut pas être plus petite que l'incertitude sur la lecture de l'instrument.
- L'incertitude absolue indique le plus grand intervalle dans lequel la prochaine mesure effectuée sera située.

Calcul d'incertitudes

L'incertitude relative

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

- Il est très important de toujours indiquer la précision d'une mesure ou d'un résultat.
- Le pourcentage de précision correspond à **l'incertitude relative** exprimée en pourcentage.
- On calcule l'incertitude relative de la façon suivante:

$$100(Dm/m)$$

m est la **valeur probable** de la grandeur mesurée.
Dm est son **incertitude absolue**

Exemple

Si la longueur d'une feuille est $L = 27,9 \pm 0,1$ cm

Alors son incertitude relative sera de $\pm 0,36$ %.

On notera que plus le pourcentage est petit, plus la mesure est précise.

Calcul d'incertitudes

Incertitudes statistiques (mesures répétitives)

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Moyenne arithmétique

$$\bar{a}_{mes} = \frac{\sum_{i=1}^n a_{mes}^i}{n}$$

Ecart-type

$$\Delta a_{mes} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (a_{mes}^i - \bar{a}_{mes})^2}$$

Entre une incertitude ponctuelle et et statistique, on choisira celle dont le Δ englobe l'autre.

Calcul d'incertitudes

Grandeurs composées

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Exemple $X = a \times \frac{(b-c)}{d}$

Comment déterminer l'incertitude ΔX à partir des incertitudes connues Δa , Δb , Δc et Δd ?

1 - Méthode des dérivées partielles
(la plus générale)

$$\Delta X = \left| \frac{\partial F}{\partial a} \right| \Delta a + \left| \frac{\partial F}{\partial b} \right| \Delta b + \left| \frac{\partial F}{\partial c} \right| \Delta c + \dots$$

$$\frac{\partial F}{\partial a} = \frac{\partial}{\partial a} \left(\frac{a(b-c)}{d} \right) = \frac{b-c}{d}$$

$$\frac{\partial F}{\partial c} = \frac{\partial}{\partial c} \left(\frac{a(b-c)}{d} \right) = \frac{-a}{d}$$

$$\frac{\partial F}{\partial b} = \frac{\partial}{\partial b} \left(\frac{a(b-c)}{d} \right) = \frac{a}{d}$$

$$\frac{\partial F}{\partial d} = \frac{\partial}{\partial d} \left(\frac{a(b-c)}{d} \right) = \frac{-a(b-c)}{d^2}$$

Calcul d'incertitudes

Méthode algébrique

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Les opérations sont appliqués successivement sur les différentes parties de l'expression mathématique.

Les grandeurs premières ne doivent apparaître qu'une fois.

Aucune expression trigonométrique

Opération	X	ΔX	$\Delta X/X$
somme	$a+b$	$\Delta a+ \Delta b$	$\Delta a+ \Delta b/(a+b)$
différence	$a-b$	$\Delta a+ \Delta b$	$\Delta a+ \Delta b/(a-b)$
produit	$a \times b$	$a\Delta b+ b\Delta a$	$\Delta a/a+ \Delta b/b$
quotient	a/b	$(a\Delta b+ b\Delta a)/b^2$	$\Delta a/a+ \Delta b/b$
puissance	a^n	$na^{n-1}\Delta a$	$n\Delta a/a$

A retenir: ΔX est la somme des Δ absolu pour les sommes et les différences.

$\Delta X/X$ est la somme des Δ relatifs pour les produits et quotients.

Calcul d'incertitudes

Méthode algébrique

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Ecart-type des somme et des différences

$$y = a(\pm s_a) + b(\pm s_b) - c(\pm s_c)$$

$$s_y = \sqrt{s_a^2 + s_b^2 + s_c^2}$$

Ecart-type des produits et des quotients

$$y = \frac{a(\pm s_a) \times b(\pm s_b)}{c(\pm s_c)}$$

$$\frac{s_y}{y} = \sqrt{\left(\frac{s_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{s_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{s_c}{c}\right)^2}$$

Calcul d'incertitudes

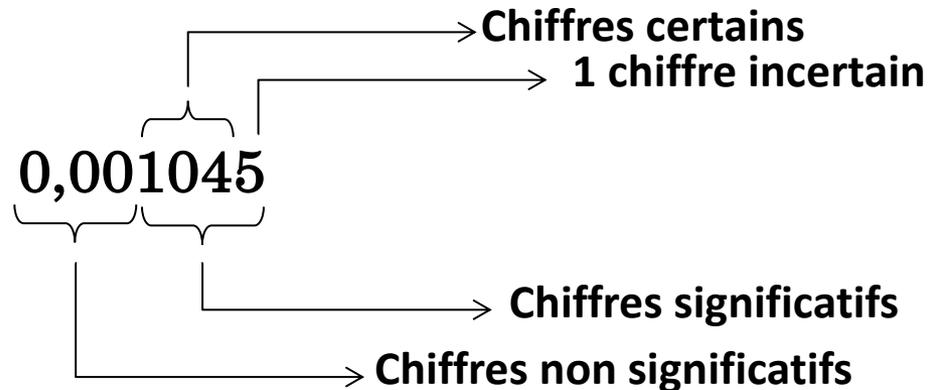
Représentation des résultats calculés

Chiffres significatifs

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Définition



Incertitude connue

Le dernier chiffre significatif doit correspondre à l'incertitude

$$1,523418 \pm 0,0003 \rightarrow 1,5234$$

Incertitude inconnue

Convention : le dernier chiffre écrit est significatif

Calcul d'incertitudes

Comment respecter la convention

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Somme et différences

Le nombre de chiffres significatifs du résultats est défini par le terme qui compte le moins de décimale.

Exemple

$$3,4 + 0,020 + 7,31 = 10,73 = 10,7$$

Calcul d'incertitudes

Comment respecter la convention

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Produits et quotients

Le nombre de chiffres significatifs du résultat équivaut à celui du terme qui en comporte le moins (marche pas toujours).

Exemple

$$\frac{24 \times 4.52}{100.0} = 1.08$$

$$\frac{24 \times 4.02}{100.0} = 0.965$$

Méthode 1 24 : 2 chiffres significatifs → 1.1 et 0.96

Méthode 2 $\max(1/24; 0.01/4.52; 0.1/100.0) = 0.04 \rightarrow 1.08$
et 0.96

Calcul d'incertitudes

Comment respecter la convention

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Logarithmes

On conserve autant de chiffres à droite de la virgule qu'il y a de chiffres significatifs dans le nombre de départ.

Exemple

$$\text{Log}(9.57 \times 10^4) = 4.981$$

Exponentielles

On conserve autant de chiffres qu'il a de chiffres à droite de la virgule dans le nombre de départ.

Exemple

$$10^{12.5} = 3 \times 10^{12}$$

Calcul d'incertitudes

Comment arrondir les valeurs numériques

Partie 1: Electricité

Partie 2: Electromagnétisme

Cas particulier

On arrondi toujours un 5 au nombre pair le plus proche

Exemple

61.555 ± 0.07

61.55 ± 0.07

61.56 ± 0.07

13.685 ± 0.04

13.68 ± 0.04

13.69 ± 0.04

Il faut toujours reporter les opérations d'arrondi pour le dernier.

- Conserver un chiffre de sécurité pour les calculs intermédiaires.
- Ou mieux : conserver la forme littérale de la grandeur physique.