

Chapitre V : Méthodes et Erreurs de mesure

V.1 Vocabulaire et notations en métrologie

La grandeur que l'on veut mesurer est appelée le **mesurande**.

- **On appelle mesurage**, ou mesure, l'ensemble des opérations permettant de déterminer expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur. Quand on mesure la valeur de la résistance R d'un dipôle passif linéaire, le mesurande est la résistance R de ce dipôle et le mesurage est effectué, par exemple, avec un ohmmètre.
 - **La valeur vraie (M_{vrai})** du mesurande est la valeur que l'on obtiendrait si le mesurage était parfait. Un mesurage n'étant jamais parfait, cette valeur est toujours inconnue.
 - **Le résultat du mesurage**, ou le résultat de la mesure, est un ensemble de valeurs attribuées à un mesurande complété par toute information pertinente disponible. Une expression complète du résultat du mesurage comprend des informations sur l'incertitude de mesure qui permet d'indiquer quel est l'intervalle des valeurs probables du mesurande. En métrologie, on appelle souvent **m**, la **mesure de la valeur** de la grandeur (un nombre), et **M** le **résultat de la mesure**, c'est à dire l'expression complète du résultat (un intervalle de valeurs).
 - **Un mesurage** n'étant jamais parfait, il y a toujours une erreur de mesure, définie comme la différence entre la valeur mesurée d'une grandeur et une valeur de référence. Si la valeur de référence est la valeur vraie du mesurande l'erreur est inconnue. L'erreur de mesure ne peut être donc qu'estimée, cependant une conception rigoureuse de la chaîne de mesure et du choix des instruments de mesure permet de réduire l'erreur de mesure et donc l'incertitude sur la valeur vraie.
 - **L'incertitude d'une mesure** est un paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande.
 - **Un étalon de mesure** est un dispositif auquel on doit se fier pour contrôler l'exactitude des résultats fournis par un appareil de mesure. Les seuls mesurandes dont la valeur est parfaitement connue sont les grandeurs étalons puisque leur valeur est fixée par convention.
 - **Une unité de mesure** est une grandeur particulière, définie et adoptée par convention, à laquelle on compare les autres grandeurs de même nature pour les exprimer quantitativement, c'est-à-dire par une valeur, par rapport à cette grandeur.
- **Remarque :** Le mot mesure a dans la langue française courante plusieurs significations. C'est la raison pour laquelle le mot mesurage a été introduit pour qualifier l'action de mesurer.

V.2 Méthodes de mesure

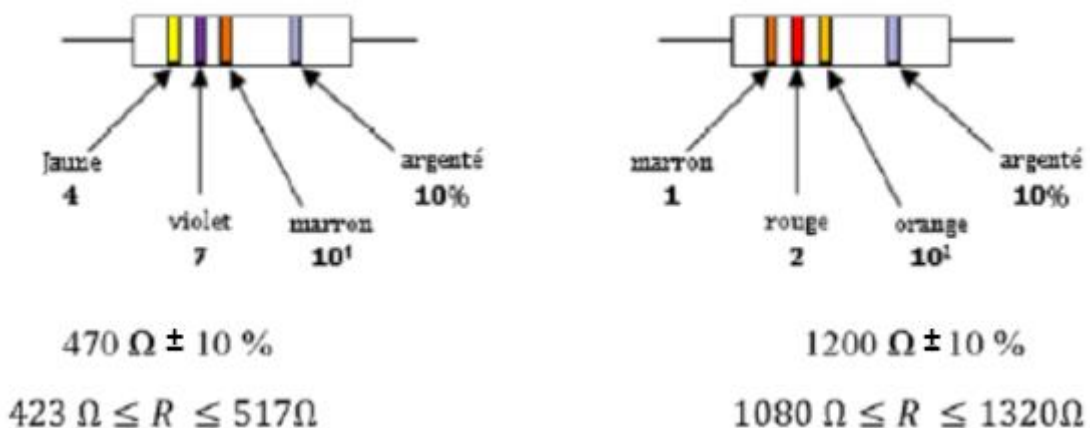
On distingue les méthodes de laboratoire où l'on prend des précautions appropriées pour réduire les influences parasites et auxquelles on demande souvent une grande précision, des méthodes industrielles qui permettent d'obtenir des résultats rapidement et par des moyens simples. Les principales méthodes de mesure sont :

- **Les méthodes directes** : On détermine la valeur de la grandeur mesurée directement de l'appareil de mesure. Exemple : L'intensité d'un courant mesurée par un ampèremètre ;
- **Les méthodes indirectes** : Les déviations de plusieurs appareils de mesure permettent de déterminer la valeur inconnue. En effet, on mesure les grandeurs inconnues par l'application de certaines lois physiques.

Selon les procédés employés on considère encore :

- **Les méthodes de déviation** : On lit la déviation de l'appareil de mesure et cette valeur intervient dans les calculs, comme par exemple la détermination d'une résistance au moyen d'un ohmmètre.
- **Les méthodes de zéro** : Lorsque le réglage est terminé, aucun courant ne circule dans l'appareil de mesure, et l'on peut alors déterminer la grandeur mesurée par une relation adéquate (l'exemple typique en est la mesure de résistance à l'aide d'un pont de Wheatstone).
- **Les méthodes de faux zéro** : Lorsque le réglage est terminé, un même courant circule dans l'appareil de mesure lorsque l'on ouvre ou ferme le circuit d'une branche du circuit. On se limite à constater que la déviation de l'appareil de mesure ne varie pas et cela sans en faire la mesure.
- **Les méthodes d'opposition** : On oppose une f.e.m ou une d.d.p à celle existant aux bornes d'une résistance réglable traversée par un courant (mesure précise de tensions).
- **Les méthodes potentiométriques** : Ce sont des méthodes d'opposition pour lesquelles la valeur numérique de la résistance réglable est un multiple de la tension à mesurer.

❖ **Exemple 1** : Code des couleurs est une méthode de **Mesure directe**, il s'agit de déterminer les valeurs d'une résistance inconnue R à l'aide du code des couleurs.



Exemple d'identification de la valeur d'une résistance avec le code couleurs.

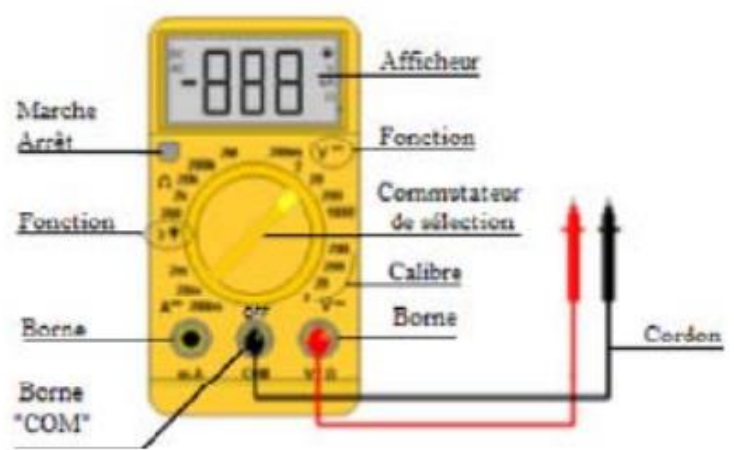
❖ **Exemple 2 :** Ohmmètres est une méthode de **Mesure directe**, il s'agit de déterminer les valeurs d'une résistance inconnue R à l'aide d'Ohmmètre numérique ou bien à déviation, cette fonction est offerte par un appareil de mesure particulier, le **multimètre**, également appelé **contrôleur universel**. Il est utilisé pour faire différentes mesures électriques, tels que les mesures de tensions et courants continus, alternatifs et de résistances. Il combine donc, en un seul instrument, les fonctions d'un voltmètre, d'un ampèremètre et d'un ohmmètre, mais peut également avoir d'autres fonctions telles que :

- le test de continuité ;
- la mesure de la capacité d'un condensateur ou d'un circuit capacitif ;
- la mesure de l'inductance d'une bobine ou d'un circuit inductif (self) ;
- le test de diodes et la mesure de gain des transistors (h_{fe}).

Les multimètres sont de types : analogique (à aiguille) ou numérique (affichage à cristaux liquides), quelques modèles combinant les deux types d'affichage. La figure suivante montre les deux modèles de multimètre, on y reconnaît les commutateurs rotatifs de sélection de fonction (voltmètre, ampèremètre, ohmmètre), les différents calibres et les bornes de raccordement des cordons.



multimètre analogique (à déviation)



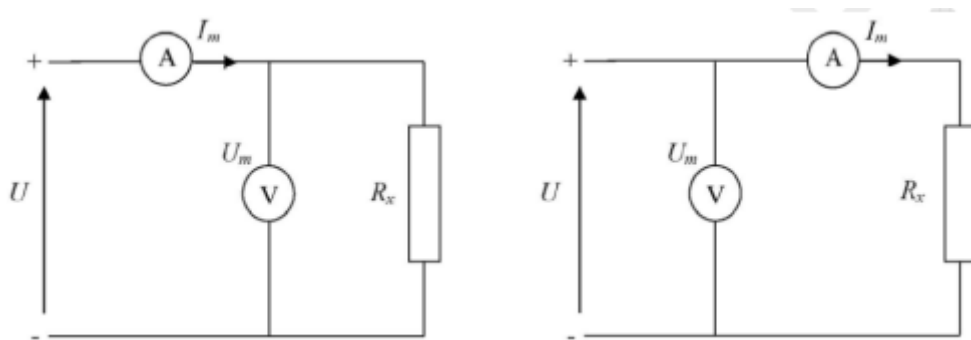
multimètre numérique

Pour l'utiliser en ohmmètre, il faut débrancher la charge, dont on désire mesurer la résistance du circuit électrique dans laquelle elle est connectée, et placer l'ohmmètre à ses bornes. L'appareil, grâce à sa pile interne, va fait circuler un très faible courant dans la charge et mesurera la tension obtenue pour en déduire la résistance.

Enfin pour détecter la méthode la plus juste entre le code couleurs et l'Ohmmètres, il faut comparer entre elles les précisions obtenues dans chaque cas.

❖ **Exemple 3 :** On peut déterminer la valeur d'une résistance, en application la loi d'Ohm, par la mesure de la tension et du courant qui la traverse. Comme les Mesures par la méthode voltampéremétrique, il s'agit de faire le choix du montage approprié, aval ou amont, pour la mesure de la résistance R , les appareils de mesure étant imposés. Puis, après avoir effectué les mesures, déterminer la valeur de la

résistance et son incertitude pour le montage choisi La résistance est déduite par le rapport de la tension à ses bornes sur le courant qui la traverse.



Montage Aval

Montage Amont

Le choix du montage dépend de la valeur de la résistance inconnue R_x , et des appareils de mesure disponibles. Il est donc nécessaire d'avoir une idée sur la valeur de la résistance à mesurer (en général, obtenue par la mesure de la valeur approchée à l'aide d'un ohmmètre). Le choix du montage sera fait selon la règle suivante :

- Si $R_{x \text{ approchée}} \leq \sqrt{R_A * R_V}$ (résistances de faibles valeurs) on privilège le montage aval ;
- Si $R_{x \text{ approchée}} \geq \sqrt{R_A * R_V}$ (résistances de fortes valeurs) on privilégie le montage amont.

Le choix de l'appareillage doit donc tenir compte des incertitudes introduites et de la précision recherchée. En électrotechnique (domaine des courants fort) les perturbations introduites par les appareils sont pratiquement négligeables, mais il convient d'être plus prudent en électronique (domaine des courants faibles).

V.3 Causes des erreurs de mesure

Plusieurs causes d'erreur peuvent intervenir dans le résultat d'une mesure, parmi elles trois grandes causes sont prises en considérations. Ce sont les erreurs dues :

- Aux appareils de mesures employés ;
- A l'opérateur effectuant la mesure ;
- A la méthode de mesure.

V.3.1 Erreurs dues à l'instrument de mesure

Un appareil de mesure n'est jamais parfait, il présente suivant sa qualité et par suite son prix, des défauts plus ou moins importants. Ces défauts peuvent avoir pour cause la présence de frottement dans les pivots, un défaut d'équilibrage, l'influence des mesures antérieures ou de grandeurs extérieures telles que la température, un champ magnétique. Il en résulte que l'indication donnée par l'instrument est plus ou moins éloignée de la valeur vraie.

V.3.2 Erreurs dues à l'opérateur

L'opérateur effectuant une mesure, n'est pas plus parfait que l'appareil de mesure qu'il utilise. Il peut, par exemple, serrer insuffisamment une borne assurant une connexion, ou choisir un appareil ou un calibre peu favorable à la mesure. Mais ces erreurs étant grossières et par suite pouvant être évitées, l'erreur essentielle que commet l'opérateur se situe au niveau de la lecture. En effet pour un appareil à déviation, la lecture se fait en repérant la position d'une aiguille devant une graduation, or l'aiguille s'immobilise en général entre deux traits de la graduation. Il en résulte forcément une erreur, l'opérateur étant obligé à estimer une fraction de division. Mais, l'opérateur peut également commettre une erreur supplémentaire, s'il ne se place pas à la verticale de l'aiguille pour un appareil placé horizontalement. Cette erreur, de nature accidentelle, est dite erreur de parallaxe. A l'ensemble de ces causes correspond l'erreur de lecture de nature accidentelle, mais il est à noter qu'il peut se produire une erreur systématique, il suffira que l'opérateur occupe une mauvaise position pour effectuer toute les lectures. Remarquons également que théoriquement, un appareil à affichage numérique n'entraîne aucune erreur de lecture.

V3.3 Erreurs dues à la méthode de mesure

L'introduction d'un appareil de mesure dans un circuit électrique en perturbe nécessairement le fonctionnement et ainsi il apparait une erreur sur la grandeur que l'on désire connaître. Par exemple :

- L'utilisation d'un ampèremètre, en série dans un circuit, modifie l'intensité du courant ;
- Le branchement d'un voltmètre, en parallèle avec un élément, modifie la tension entre ses bornes.

De nombreuses méthodes de mesure entraînent ainsi une erreur qui se produit nécessairement quelle que soit l'habileté de l'opérateur et les qualités des instruments. Il s'agit d'une erreur systématique qu'il est possible de calculer. On remarque qu'avec des appareils suffisamment performants, la plupart des méthodes entraîne une erreur négligeable devant les autres erreurs.

V.4 Nature des erreurs

V.4.1 Erreurs systématiques

Ce sont des erreurs reproductibles reliées à leur cause par une loi physique, donc susceptible d'être éliminées par des corrections convenables. Parmi ces erreurs, on cite :

- Erreur de zéro (offset),
- Erreur d'échelle (gain) : c'est une erreur qui dépend de façon linéaire de la grandeur mesurée,
- Erreur de linéarité : la caractéristique n'est pas une droite,
- Erreur due au phénomène d'hystérésis : lorsque le résultat de la mesure dépend de la précédente,
- Erreur de mobilité : cette erreur est souvent due à une numérisation du signal.

Donc Les erreurs systématiques sont liées à l'appareil de mesure et peuvent disparaître par le réglage. Plus l'erreur systématiques de mesurée petite, plus la justesse de la mesurée grande. Un dispositif est d'autant plus juste que la moyenne des résultats qu'il fournit lorsque l'on répète la même mesure à plusieurs reprises est plus proche de la valeur vraie de la grandeur mesurée.

V.4.2 Erreurs aléatoires

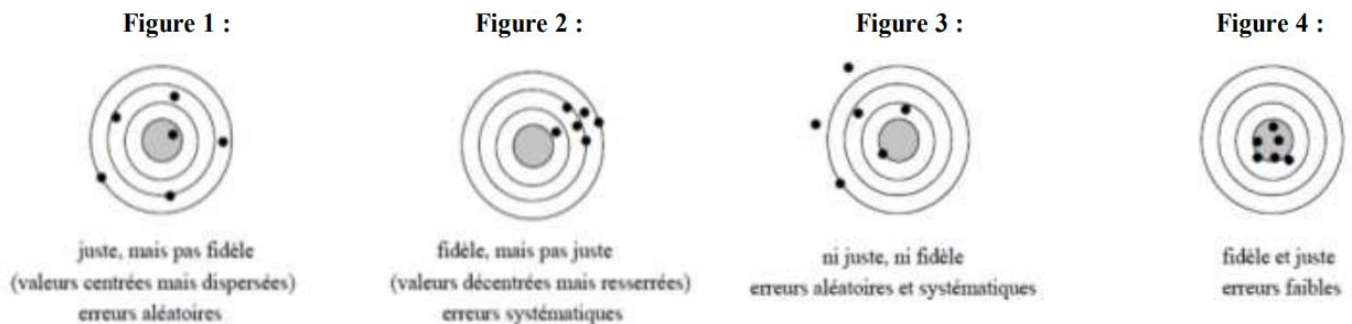
Ce sont des erreurs non reproductibles, qui obéissent à des lois statistiques (exemple du bruit). Les erreurs aléatoires sont dues :

- 1) A la fluctuation de la grandeur mesurée, qui n'est pas forcément stable dans le temps (la distance Terre – Lune) ou qui n'est pas la même dans tout l'échantillon (la température de la mer mesurée par le surveillant de la plage) ;
- 2) Aux fluctuations de la méthode de mesure, c'est-à-dire à la manière d'utiliser l'appareil par l'expérimentateur.

Ces fluctuations se traduisent par un écart entre les différentes valeurs obtenues lors des mesures.

D'une mesure à l'autre, l'erreur aléatoire varie. Plus les erreurs aléatoires sont petites, plus la fidélité de la mesurée est grande. Un dispositif est d'autant plus fidèle qu'il donne des résultats plus voisins les uns des autres lorsque l'on répète la même mesure à plusieurs reprises.

❖ **Exemple :** La difficulté d'obtenir une valeur fiable d'une grandeur est analogue à celle que rencontre un tireur sur une cible. Elle est due soit à des erreurs aléatoires (figure 1), soit des erreurs systématiques (figure 2), soit aux deux à la fois (figure 3).



V.4.3 Erreurs accidentelles

Elles résultent d'une fausse manœuvre, d'un mauvais emploi ou de dysfonctionnement de l'appareil. Elles ne sont généralement pas prises en compte dans la détermination de la mesure.

❖ **Remarque :** La **Faute** est l'inexactitude qui résulte d'une maladresse, d'un oubli ou d'une méprise, exemple : on lit 35 au lieu de 53. Comme on n'est jamais certain de ne pas faire de fautes, il est indispensable de prévoir des moyens de contrôle et de vérification et ce par des chemins différents.

V.5 Caractéristiques des instruments de mesure

V.5.1 Gamme de mesure- étendue de mesure

- 1) **Gamme de mesure** : C'est l'ensemble des valeurs du mesurande pour les quelles un instrument de mesure est supposé fournir une mesure correcte ;
- 2) **Etendue de mesure** : Correspond à la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de la gamme de mesure. Pour les appareils à gamme de mesure réglable, la valeur maximale de l'étendue de mesure est appelée pleine échelle.

V.5.2 Justesse

Justesse ou précision On dit qu'un appareil est d'autant plus juste que l'erreur qu'il commet est plus faible, ainsi la justesse est une qualité essentielle d'un instrument de mesure.

V.5.3 Fidélité

Fidélité Un appareil de mesure est d'autant plus fidèle qu'il fournit des indications plus voisines lorsque l'on effectue plusieurs mesures de la même grandeur immuable, même si ces mesures sont éloignées dans le temps.

V.5.4 Courbe d'étalonnage

Elle est propre à chaque appareil. Elle permet de transformer la mesure brute en mesure corrigée. Elle est obtenue en soumettant l'instrument à une valeur vraie de la grandeur à mesurer, fournie par un appareil étalon, et en lisant avec précision la mesure brute qu'il donne.

V.5.5 Classe de précision

La classe de précision est donnée par le constructeur, elle exprime l'imperfection des appareils de mesure. La classe de précision d'un appareil de mesure correspond à la valeur en % du rapport entre la plus grande erreur possible sur l'étendue de mesure :

$$\text{Classe (\%)} = 100. \frac{\text{plus grande erreur possible}}{\text{étendue de mesure}}$$

Cette indication se trouve, en général, sur l'appareil ou dans le catalogue, les valeurs usuelles sont en général : 0.1 ; 0.2 ; 0.5 ; 1 ; 2 ou 2.5 Ainsi, connaissant la classe de précision d'un appareil, qui est la même pour tous ses calibres, il est possible de calculer l'incertitude ΔX sur une mesure effectuée avec cet appareil :

$$\Delta X = \frac{\text{Classe}}{100} \cdot \text{Calibre}$$

Lorsque l'appareil de mesure est un appareil numérique, on définit la résolution par la formule suivante :

$$\text{Resolution} = \frac{\text{Gamme de mesure}}{\text{nombre de points de la mesure}}$$

V.5.6 Bande passante

La bande passante est de la bande de fréquence pour laquelle le gain de l'instrument de mesure est compris entre deux valeurs.

V.5.7 Grandeur d'influence et compensation

On appelle grandeur d'influence, toutes les grandeurs physiques autres que la grandeur à mesurer, susceptibles de perturber la mesure. Généralement, la température est la grandeur d'influence qui est le plus souvent rencontré.

V.6 Evaluation des incertitudes et calcul d'erreurs

Soient : Xv est la valeur théorique exacte de la grandeur,

Et Xm est la valeur mesurée de la même grandeur.

- **Erreur absolue :** C'est la valeur absolue de l'écart entre la valeur mesurée Xm et la valeur vraie Xv . Si la valeur vraie Xv étant inconnue, l'erreur absolue l'est également.

$$\text{Erreur absolue} = |Xm - Xv|$$

L'incertitude absolue ΔX est la limite supérieure de l'erreur absolue :

$$\text{Incertainitude absolue} = \text{Limite supérieure de l'erreur absolue} = \sup(|\Delta X|)$$

L'incertitude absolue est exprimée dans la même unité que la grandeur mesurée

- **Erreur relative :** C'est le rapport de l'erreur absolue à la valeur mesurée. Elle n'est pas connue.

$$\text{Erreur relative} = \frac{\text{Erreur absolue}}{\text{Valeur mesurée}} = \frac{|Xm - Xv|}{Xm}$$

L'incertitude relative est le quotient de l'incertitude absolue ΔX par la valeur mesurée Xm .

L'incertitude relative est exprimée généralement en pourcentage (%).

V.6.1 Incertitude absolue instrumentale

L'incertitude instrumentale est l'incertitude due à l'appareil de mesure. Elle est fonction de la précision de l'appareil et elle est présentée de la manière suivante :

- 1) **Pour un appareil à déviation :**

$$\Delta X_{inst} = \frac{\text{Classe. Calibre}}{100}$$

L'incertitude relative peut s'écrire sous la forme :

$$\frac{\Delta X_{inst}}{X} = \frac{\text{Classe Calibre}}{100} \cdot \frac{1}{X}$$

Or le rapport (Calibre / X) est égal au quotient du nombre total de divisions de la graduation par le nombre de division correspondant à la lecture, d'où l'expression :

$$\frac{\Delta X_{inst}}{X} = \frac{Classe}{100} \cdot \frac{Echelle}{Lecture}$$

❖ **Exemple :** Une mesure de tension est réalisée à l'aide d'un voltmètre de classe 0.5%. La mesure est faite avec le calibre 30 Volts avec une déviation de 120 divisions sur l'échelle comportant 150 divisions. La valeur mesurée est donc :

$$U = \frac{Calibre}{Echelle} \cdot Lecture = \frac{30}{150} \cdot 120 = 24 \text{ Volts}$$

Le calcul de l'incertitude absolue due à l'appareil de mesure donne :

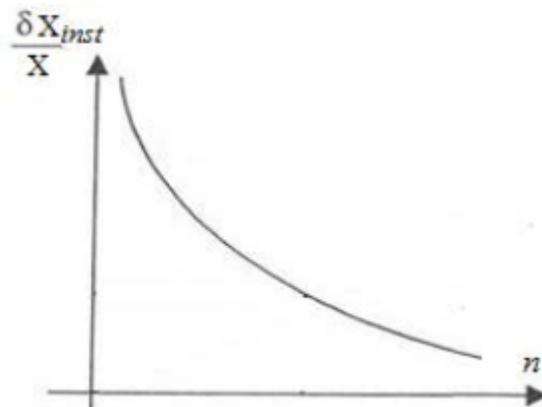
$$\Delta U_{inst} = \frac{0.5}{100} \cdot 30 = 0.15 \text{ Volts}$$

La valeur de l'incertitude relative correspondante est donc :

$$\delta U_{inst} = \frac{\Delta U_{inst}}{U} = \frac{0.15}{24} \approx 0.006 = 0.6\% \quad \text{ou encore} \quad \delta U = \frac{0.5}{100} \cdot \frac{150}{120} \approx 0.006 = 0.6\%$$

L'expression de l'incertitude relative, calculée à partir de la lecture et du nombre total de déviation, montre que la courbe $(\delta X_{inst})=f(n)$, n représentant le nombre de division correspondant à la lecture en divisions, est une hyperbole équilatérale identique pour tous les calibres (figure ci-dessus.), il en résulte que :

- ♣ Dans la première moitié de la graduation l'incertitude relative prend une valeur élevée et souvent inadmissible ;
- ♣ Pour utiliser au mieux un appareil de mesure, il faut le brancher sur le calibre correspondant à la plus grande déviation possible.



Courbe de l'erreur relative instrumentale en fonction de la lecture.

2) **Pour les appareils à affichage numérique** : La notion de classe n'est pas définie, mais les constructeurs fournissent une indication sur la précision qui nous permet de calculer l'incertitude totale sur la mesure. L'incertitude est très souvent donnée en % de la lecture plus ou moins une constante exprimée en unités ou en digits de la manière suivante :

$$\Delta X = y \% + z \text{ unités}$$

➤ Ou $y\%$ représente un premier terme proportionnel à la lecture X .

$$y\% = \text{classe} (\%) * \text{lecture} \text{ ou bien } y = \frac{\text{Classe}}{100} * \text{lecture}$$

➤ z est donné par le constructeur, il est défini comme étant le rapport entre le calibre utilisé et le nombre de point de l'appareil multiplié par la résolution de l'appareil.

$$z = \frac{\text{Calibre de l'appareil}}{\text{nombre de points}}$$

Et

$$z \text{ unités} = \frac{\text{Calibre de l'appareil}}{\text{nombre de points}} * \text{unité de résolution}$$

Remarque : Pour les appareils à déviation, il n'est pas tenu de calculer l'incertitude sur la lecture, car d'après la norme NFC 42100, cette incertitude est déjà prise en considération dans la classe de précision de l'appareil.

❖ **Exemple :** Soit une mesure de tension est réalisée à l'aide d'un voltmètre numérique à trois afficheurs et possédant 300 points et présentant une précision de $(0.2\% \pm 1 \text{ unité})$. La mesure est faite dans la gamme 30 Volts, la lecture relevée est de 24 Volts. Sur la gamme 30 Volts, on a la résolution :

$$1 \text{ unité} \Rightarrow 300/30 = 0.1 \text{ Volt}$$

L'incertitude absolue ΔU due à l'erreur de l'appareil comporte deux termes : Le premier terme étant égal à :

$$(y/100).U = (0.2/100).24 = 0.048 \text{ Volt}$$

Alors que le second est lui égal à :

$$z.(\text{gamme}/\text{nombre de points}).U = 1.(30/300) = 0.1 \text{ Volt}$$

D'où :

$$\Delta U = 0.048 + 0.1 = 0.148 \approx 0.15 \text{ Volt}$$

Et l'incertitude relative correspondante est donc :

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U} = \frac{0.15}{24} \approx 0.006 = 6\%$$

Dans l'expression de l'incertitude absolue, le second terme est en général le plus important et comme il est de la forme (Gamme / Nombre de points) on a intérêt, pour faire une mesure, à choisir la plus petite gamme possible.

V.6.2 Incertitude absolue due la lecture

Cette incertitude est due à la lecture de l'opérateur, notée $\Delta X_{opérat}$, elle est calculée en admettant que le quart de division est estimable, ce qui est relativement aisé, on a donc :

$$\Delta X_{opérat} = \frac{1}{4} \cdot \text{division}$$

Soit en utilisant la même unité que la grandeur mesurée :

$$\Delta X_{opérat} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\text{Calibre}}{\text{Echelle}}$$

Quant à l'incertitude relative, elle peut s'écrire :

$$\delta X_{opérat} = \frac{\Delta X_{opérat}}{X} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\text{Calibre}}{\text{Echelle} \cdot X} \quad \text{or} \quad \frac{\text{Calibre}}{X} = \frac{\text{Echelle}}{\text{Lecture}}$$

Donc

$$\delta X_{opérat} = \frac{\Delta X_{opérat}}{X} = \frac{1}{4 \cdot \text{Lecture}}$$

Elle est inversement proportionnelle à la lecture en divisions, si bien, que là encore, on a intérêt à choisir le calibre correspondant à la plus grande déviation possible.

V.6.3 Incertitude absolue de la méthode

Cette incertitude sera calculée lorsqu'il y a plus qu'une manière de branchement des appareils de mesure. Cette incertitude est notée $\Delta X_{méth}$.

V.6.4 Incertitude absolue totale

Cette incertitude, notée ΔX_{totale} , est la somme des incertitudes instrumentale, due à l'opérateur et à la méthode employée :

1) Pour les appareils à déviation :

$$\Delta X_{totale} = \Delta X_{inst} + \Delta X_{opérat} + \Delta X_{méth}$$

2) Pour les appareils à affichage numérique :

$$\Delta X_{totale} = \Delta X_{inst} + \Delta X_{méth}$$

V.7 Présentation d'un résultat de mesure

L'écriture du résultat d'un mesurage doit intégrer l'incertitude et s'écrire avec les unités appropriées. Un résultat de mesure peut être exprimé de plusieurs manières différentes, en utilisant l'incertitude absolue ou l'incertitude relative, tout en respectant le nombre de chiffres significatifs.

Ecriture

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

$$(x - \Delta x) \text{ unité} \leq X \leq (x + \Delta x) \text{ unité}$$

$$X = x \text{ unité avec } \delta X \text{ en } \%$$

Exemple

$$R = (89,4 \pm 0,9) \Omega$$

$$88,5 \Omega \leq R \leq 90,3 \Omega$$

$$R = 89,4 \Omega \text{ avec } 1 \%$$

V.7.1 Chiffres significatifs

Dans un nombre les chiffres qui veulent vraiment dire quelques choses sont dits significatifs, au-delà de ces chiffres, la précision qu'apporteraient d'autres chiffres serait illusoire. On rappelle que tous les zéros à gauche d'un nombre ne sont pas significatifs, par contre les zéros à droite d'un nombre sont significatifs.

❖ **Exemple :**

6,8	possède 2 chiffres significatifs
6,80	possède 3 chiffres significatifs
6800	possède 4 chiffres significatifs
0,68	possède 2 chiffres significatifs