Samedi 23 octobre 2021

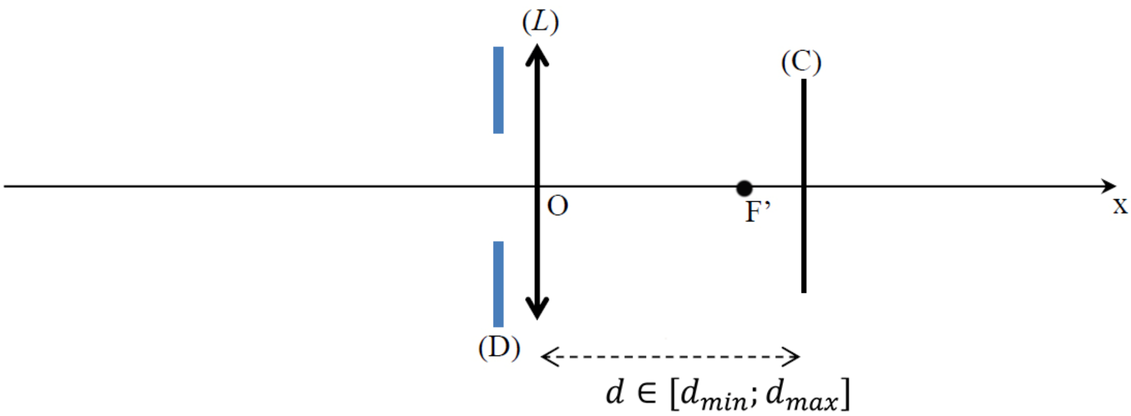
DEVOIR SURVEILLE N°2
PHYSIQUE

I. Une brève histoire de la photographie (d'après CCINP – MP – 2021) **:**

La date conventionnelle de l'invention de la photographie a été fixée au 7 janvier 1839, date à laquelle Arago présenta à l'Académie des Sciences l'invention de Daguerre : le daguerréotype. Mais l'histoire de la photographie commence bien avant notamment avec la *camera obscura* (chambre noire) qui est utilisée dès le XVI^{e} siècle pour des travaux topographiques. Les historiens de l'art ont également montré qu'elle était utilisée par des peintres, comme Vermeer ou les frères Van Eyck.
Le fonctionnement de cet ancêtre de l'appareil photo repose sur les propriétés des lentilles.

A. Objet et image

On modélise un appareil photo par l'association d'une lentille mince (L) de distance focale image (appelée simplement focale par la suite) $f' = \overline{OF'}$ appelée « objectif », d'un capteur (C) sur lequel on souhaite récupérer l'image et d'un diaphragme (D) placé devant la lentille.
La distance d entre la lentille (L) et le capteur (C) est réglable, grâce à un mécanisme lié à l'objectif ; elle est comprise entre d_{min} et d_{max}.



A l'aide de cet appareil, on souhaite former sur le capteur l'image d'un arbre de hauteur h situé à une distance L devant l'objectif.

1. La lentille mince est utilisée dans les « conditions de Gauss ». Préciser en quoi elles consistent. Quelle partie de l'appareil permet d'assurer que ces conditions sont remplies ?

2. Faire un schéma **soigné** de la situation en notant AB l'objet et A'B' son image sur le capteur (A est sur l'axe et AB appartient à un plan orthogonal à l'axe). Positionner les foyers principaux et tracer trois rayons lumineux issus de B pour justifier la position de l'image A'B'.

3. Exprimer, à l'aide d'une formule du grandissement judicieusement choisie, la taille algébrique $\overline{A'B'}$ de l'image de l'arbre sur le capteur en fonction de h, f ' et L. En faisant une approximation justifiée [L >> f '], déterminer la valeur numérique de $\overline{A'B'}$ avec f ' = 50 mm, h = 5,0 m et L = 20 m.

4. Les valeurs de d étant limitées entre d_{min} et d_{max}, montrer qu'il existe une distance limite notée L_{min} en dessous de laquelle il ne sera pas possible d'obtenir une image nette sur le capteur. Exprimer L_{min} en fonction de f ' et d_{max} ou d_{min}. Faire l'A.N. pour f ' = 50 mm, d_{min} = 45mm et d_{max} = 55 mm.

B. Influence de la focale

On souhaite obtenir une image de l'arbre sur le capteur plus grande sans changer de place (donc en gardant la même valeur pour L). On change donc l'objectif et on le remplace par un objectif de focale f_1' = 100 mm. La distance d est toujours réglable mais les valeurs d_{min} et d_{max} sont différentes des valeurs de la question **5**.

5. En faisant une approximation justifiée [L >> f '], déterminer la valeur numérique de la taille de l'image de l'arbre sur le capteur. Si on suppose que le capteur a pour dimensions : 24 mm × 36 mm, sera-t-il possible de voir l'arbre en entier sur la photo obtenue ?

C. Téléobjectif

On souhaite maintenant réaliser un téléobjectif en utilisant deux lentilles : une lentille (L_1) convergente et une lentille (L_2) divergente, séparées par une distance $e = \overline{O_1O_2}$. La distance L entre l'arbre et l'appareil photo n'est pas modifiée.

La lentille (L_1), de focale f_1', donne de l'arbre AB une image intermédiaire A_1B_1 qui joue le rôle d'objet pour la lentille (L_2), de focale f_2', qui en donne une image finale A'B'.

6. Exprimer la distance $\overline{O_2A_1}$ en fonction de f_1' et e (en utilisant une approximation justifiée).

7. L'image finale A'B' doit être réelle. Montrer que pour une lentille divergente, l'image ne peut être réelle que si l'objet [virtuel] se situe entre la lentille et le foyer objet. En déduire que la distance e entre les centres des deux lentilles doit être située dans un intervalle bien précis. Exprimer cette condition sur e sous la forme d'une double inégalité sur e, f_1' et f_2' (en utilisant une approximation justifiée). Vérifier que cette condition est réalisée avec f_1' = 10 cm, f_2' = - 5,0 cm et e = 8,0 cm.

Avec les valeurs numériques de la question précédente :

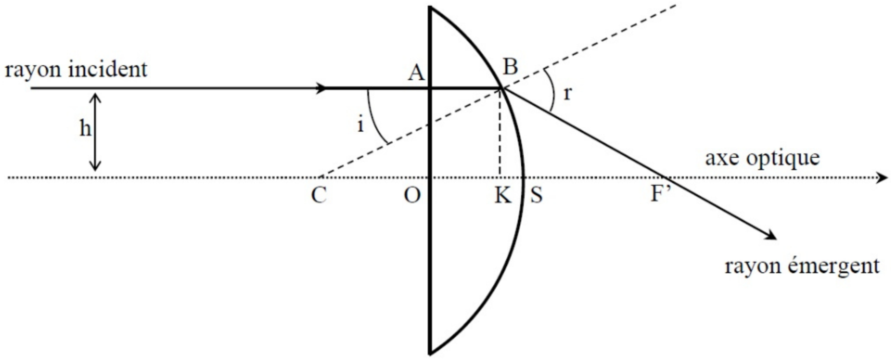
8. Déterminer l'expression de la distance $d = \overline{O_2A'}$ entre (L_2) et le capteur. Faire l'A.N.

9. Déterminer l'expression la taille de l'image $\overline{A'B'}$ de l'arbre sur le capteur. Faire l'A.N.

D. Comment expliquer les propriétés des lentilles ?

Les propriétés optiques des lentilles viennent de leur forme géométrique. Pour en proposer une explication, on considère une lentille plan-convexe constituée d'un verre d'indice n.

La partie sphérique de la lentille est une portion de sphère de centre C et de rayon R = CB. L'épaisseur de la lentille au centre est e = OS.



On considère un rayon incident parallèle à l'axe optique, à une distance h de celui-ci. Ce rayon pénètre dans la lentille en A et est réfracté en B. On note i et r les angles incident et réfracté, comptés par rapport à la normale (CB). Le rayon émergent de la lentille coupe l'axe optique en F'. On note K le projeté orthogonal de B sur l'axe optique.

10. Écrire la loi de la réfraction en B.

On peut montrer [dans un peu de géométrie] que la distance OF' peut se mettre sous la forme :

$$\overline{OF'} = e - R(1 - \cos i) + R\frac{\sin i}{\tan(r - i)}$$

11. La lentille constitue-t-elle un système rigoureusement stigmatique ? [justifier la réponse à l'aide de la formule de $\overline{OF'}$].

12. Si on considère une lentille mince (e faible devant R) et des rayons paraxiaux, peut-on dire que le système est approximativement stigmatique ? Justifier en donnant une expression approchée de la distance $\overline{OF'}$ en fonction de R et n dans ces conditions.

E. Réglage de différents paramètres lors d'une prise de vue

Le document ci-après indique les différents réglages en mode manuel pour obtenir une bonne exposition.

Un photographe amateur effectue une prise de vue (un portrait d'une personne immobile) en extérieur avec les réglages suivants : (ISO : 100 / durée : 1/250 s / ouverture : f/8). Il l'estime correctement exposée et souhaite en effectuer une autre avec la même exposition, en conservant la même sensibilité, mais avec une ouverture f/4.

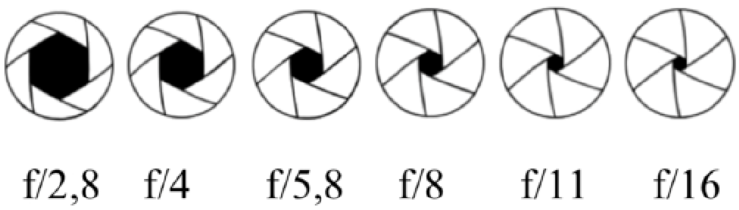
Répondre aux questions suivantes en justifiant les réponses à l'aide du document fourni.

13. Quelle durée doit-il choisir ? Si la personne bouge un peu durant la prise de vue, y a-t-il un risque plus grand, en comparaison avec la première photographie, que l'image obtenue soit floue ?

Document 1 : Réglages de l'exposition d'une photo

L'exposition est un paramètre technique important pour la réussite d'une photo. Elle caractérise en quelque sorte l'action de la lumière sur le capteur. Si l'exposition est trop faible, l'image obtenue sera sombre (sous-exposée) ; à l'inverse, une surexposition produira une image trop claire. L'exposition est choisie en fonction de la scène à photographier (intérieur, extérieur, etc.) et peut être contrôlée par trois paramètres.

- La sensibilité ISO correspond à la sensibilité à la lumière du capteur (ou de la pellicule) ; elle varie en général entre 100 (faible sensibilité) et 3 200 (grande sensibilité). Une sensibilité deux fois plus grande correspond donc à un capteur deux fois plus sensible. Il est préférable d'utiliser une sensibilité faible car les hautes sensibilités augmentent le bruit, ce qui détériore le résultat.
- La durée d'ouverture pendant laquelle l'obturateur reste ouvert. Elle est en général comprise entre 1 s et 1/2500 s. Une trop longue durée peut entraîner des phénomènes de « bougé » si la scène est en mouvement.
- Le diamètre du diaphragme correspond à la taille du disque qui laisse passer la lumière quand l'obturateur est ouvert. Il est indiqué par une notation f/N, où N est appelé « nombre d'ouverture ». Voici quelques valeurs de l'ouverture :



Lorsqu'on passe d'une valeur à l'autre (de la gauche vers la droite) on divise par 2 la surface d'ouverture du diaphragme.

On souhaite connaitre l'influence de ce changement d'ouverture (passage de f/8 à f/4) sur la profondeur de champ de l'image.

14. Définir la profondeur de champ de l'image et expliquer pourquoi elle n'est pas limitée à un plan (celui sur lequel est fait la mise au point).

Pour établir le résultat (sens de variation de la profondeur de champ lors d'une modification de l'ouverture), on va étudier le cas plus simple où la mise au point est faite sur l'infini et l'objectif composé d'une seule lentille.

15. En introduisant la taille ε des pixels du capteur et le diamètre f'/N de la lentille, déterminer la distance minimale d_{min} à laquelle peut se trouver un objet pour que son « image » sur le capteur soit encore nette. [un schéma très clair s'impose avant de se lancer dans les calculs].

16. Conclure sur l'effet de l'augmentation de l'ouverture sur la profondeur de champ.

II. Étude de la lunette astronomique de Kepler (d'après Petites Mines 2004) :

La lunette astronomique est formée :

- d'un objectif constitué d'une lentille mince convergente L_1 de distance focale $f_1' > 0$,
- d'un oculaire constitué d'une lentille mince convergente L_2 de distance focale $f_2' > 0$.

Ces deux lentilles ont même axe optique Δ.

On souhaite observer la Lune, qui est vue à l'œil nu sous un angle apparent α = 0,5°.

A. Lunette astronomique simple

La lunette astronomique est un système afocal.

1. Définir le terme afocal. Citer un autre système optique afocal.

2. Expliquer pourquoi la lunette astronomique doit être afocale pour une utilisation confortable. Déterminer, en justifiant, la distance algébrique d = $\overline{O_1O_2}$ entre les deux lentilles.

3. Faire un schéma de la lunette en prenant $f_1' = 3\,f_2'$. Dessiner sur ce schéma la marche à travers la lunette d'un faisceau lumineux formé de rayons issus de la Lune. On appellera A_1B_1 l'image intermédiaire. On note α' l'angle que forment les rayons émergents en sortie de la lunette. [Tout rayon entrant dans la lunette devra être prolongé jusqu'à la sortie de la lunette]. L'image est-elle droite ou renversée ? [Justifier en une phrase].

4. La lunette est caractérisée par son grandissement angulaire $\gamma_a = \alpha'/\alpha$. γ_a est-il positif ou négatif ? Exprimer alors γ_a en fonction de f_1' et f_2'. Faire l'application numérique pour γ_a et d dans le cas [différent du schéma] où f_1' = 50 cm et f_2'= 5,0 cm.

B Lunette astronomique de Kepler

Pour augmenter le grossissement de cette lunette et redresser l'image ; on interpose entre L_1 et L_2, une lentille convergente L_3 de distance focale $f_3' > 0$.

On appelle A_1B_1 la première image intermédiaire et A_2B_2 la deuxième image intermédiaire pour le système optique.

L'oculaire L_2 est déplacé pour avoir une image nette de la Lune à l'infini à travers le nouvel ensemble optique.

5. Quel couple de points doit conjuguer L_3 pour que le système global soit afocal ? En déduire la position de A_1 et de A_2 sur l'axe Δ.

6. Déterminer l'expression littérale de $\overline{O_3A_2}$ en fonction de $\overline{O_3F_1'}$ et de f_3'.

7. On appelle γ_3 le grandissement de la lentille L_3. En déduire $\overline{O_3F_1'}$ en fonction de f_3' et γ_3 [il n'y a pas que Galilée dans la vie !].

8. Faire un schéma et construire les rayons à travers le système optique. (On placera O_3 entre F_1' et F_2).

9. En déduire le nouveau grandissement angulaire γ_a' en fonction de γ_3 et de γ_a. Déterminer les valeurs numériques de γ_3 et γ_a' pour $f_1' = 50$ cm, $f_2' = 5{,}0$ cm, $f_3' = 5{,}0$ cm et pour une distance $\overline{O_3F_1'} = -7{,}0$ cm.

10. Déterminer la distance d_K entre les lentilles L_1 et L_2 qui donne la dimension de la lunette de Kepler.

C. Lunette astronomique de Galilée

Une autre solution au problème posé par la lunette astronomique simple est proposée par Galilée. La lunette de Galilée utilise le même objectif que la lunette simple (L_1 ; f_1') mais un oculaire divergent : L_4 de distance focale f_4'.

11. Déterminer la distance $\overline{O_1O_4}$ pour que la lunette de Galilée soit afocale.

12. Faire un schéma comme à la question **4** en prenant $f_4' = -f_1'/3$.

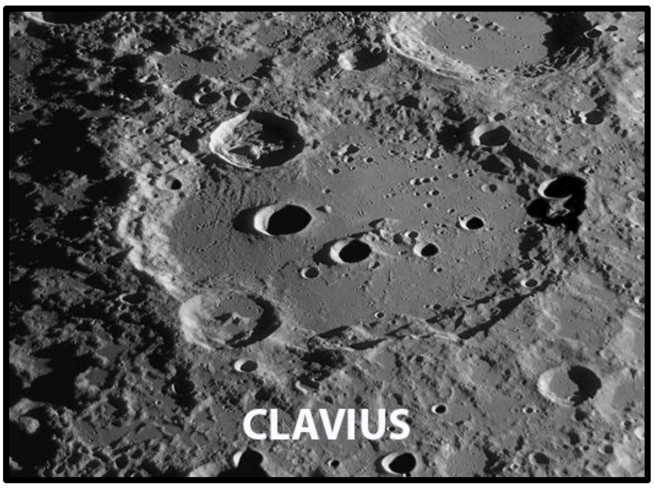
13. En déduire le grandissement angulaire γ_a'' et son signe. Faire l'A.N. si la vergence de L_4 est $V_4 = -20\ \delta$ et que $f_1' = 50$ cm. [Ce n'est pas le même cas que sur le schéma].

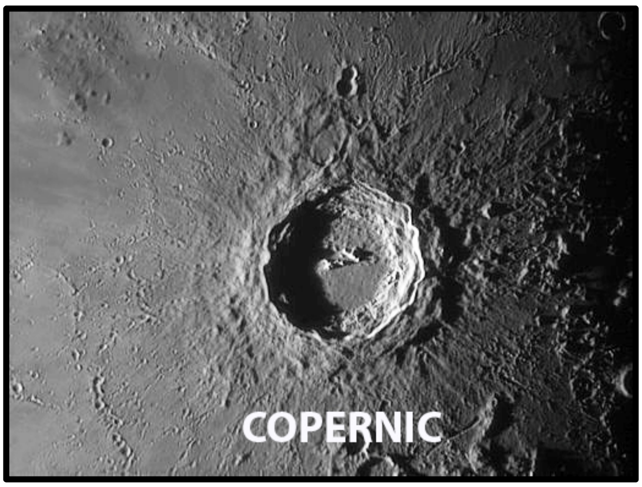
14. Calculer l'encombrement O_1O_4 et présenter l'intérêt de la lunette de Galilée par rapport à celle de Kepler.

15. Un astronome amateur utilise la lunette de Galilée précédente pour observer deux cratères lunaires : Copernic de diamètre 96 km et Clavius de diamètre 240 km.

On précise la distance Terre-Lune moyenne : $D_{TL} = 384\ 000$ km.

Quelle est la résolution angulaire moyenne de l'œil humain ? L'astronome voit-il ces deux cratères lunaires à l'œil nu ? Et à l'aide de la lunette ?





III. Étude de quelques circuits

A. Résistances équivalentes

1. Démontrer la formule donnant la résistance équivalente à deux résistances R_1 et R_2 associées en dérivation [un schéma s'impose !].

2. En généralisant la formule précédente à N résistances associées en dérivation, montrer que N résistances identiques R associées en dérivation sont équivalente à une résistance R/N.

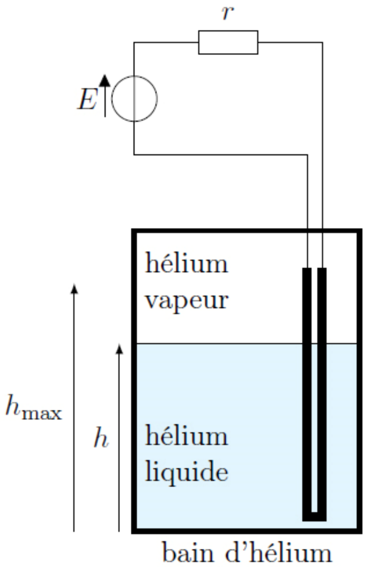
B. Jauge de niveau d'hélium liquide

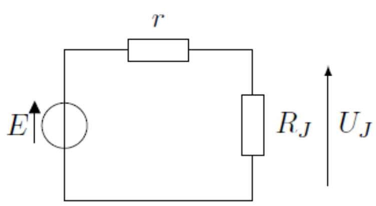
Les appareils d'imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM) qui servent à l'imagerie médicale mettent en œuvre des champs magnétiques intenses. Ces champs magnétiques sont créés par des aimants supraconducteurs plongés dans un bain d'hélium liquide à la température $T_H = 4,2K$. Pour mesurer le niveau d'hélium liquide dans le bain, on peut utiliser une jauge résistive supraconductrice : il s'agit d'un fil supraconducteur dont la résistance s'annule en dessous d'une certaine température. Pour simplifier, on considère que la résistance de la portion de fil immergée dans l'hélium a une résistance nulle, et que la portion de fil dans l'hélium vapeur a une résistance :

$$R_J = \frac{h_{max} - \mathrm{h}}{h_{max}}\,\mathrm{R}_0$$

avec $R_0 = 500\ \Omega$, $h_{max} = 1,0$ m la hauteur maximale que peut atteindre l'hélium liquide dans le réservoir et h la hauteur d'hélium dans le réservoir.

La jauge est alimentée par une source idéale de tension E = 12V en série avec une résistance r = 100 Ω. Pour déterminer la hauteur h d'hélium liquide dans le réservoir, on mesure la valeur de la tension U_J aux bornes de la jauge.





3. On mesure $U_J = 8,0$ V. Quelle est la valeur de R_J ? En déduire la hauteur d'hélium liquide dans le réservoir.

4. Quelle est alors la puissance P_J dissipée dans la jauge ?

5. Quel est l'inconvénient de ce type de jauge ?

C. Résistance interne d'une pile

6. Proposer un protocole [avec schémas] pour déterminer à l'aide d'un voltmètre et d'une résistance R_0 les caractéristiques (f.é.m E et résistance interne R_{int}) d'une pile.

7. La notice du voltmètre indique que sur le calibre 2,0 V, la précision de la mesure est :

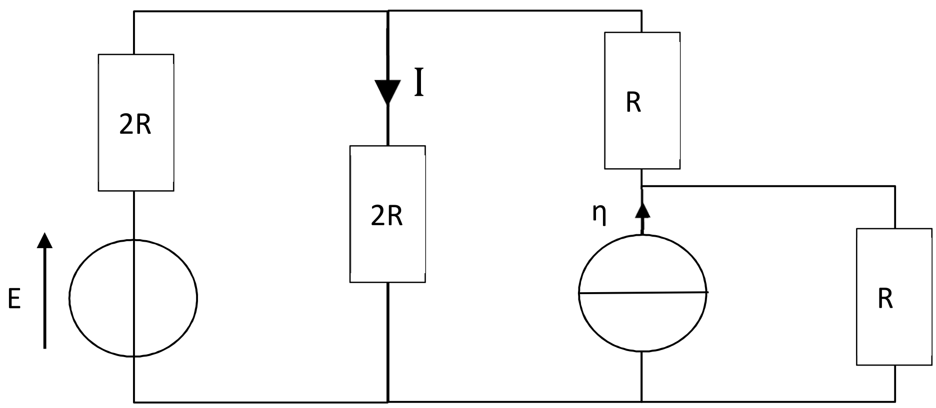
$$p = 0{,}2\ \%\ de\ la\ lecture + 6\ chiffres$$

En déduire l'écriture correcte de la mesure d'une tension si la valeur affichée est U = 1,874 V.

Donnée numérique : $1/\sqrt{3} \approx 0{,}6$.

D. Circuit à plusieurs mailles

On considère le circuit ci-dessous :



8. Déterminer l'intensité I du courant dans le circuit ci-dessus à l'aide de simplifications progressives du circuit et d'un diviseur de courant.

9. Retrouver l'expression de I à l'aide des lois de Kirchhoff sans simplification du circuit. [Les inconnues seront les intensités dans les différentes branches].

10. Faut-il être fort.e pour faire de l'électricité ?

RAPPELS SUR LES INCERTITUDES

Écriture d'un résultat avec incertitude :

$$X = x \ \pm u(X) \ (la\ grandeur\ après\ le\ symbole \pm est\ une\ incertitude\_type)$$

ou

$$X = x\ ; u(X)$$

Attention à la cohérence des **chiffres significatifs** et à ne pas oublier **l'unité**.

Incertitude-type de type A (répétition N fois de la mesure) :

Le menu STAT de la calculatrice donne la moyenne <x> et l'écart-type Sx des N mesures.

Un point est aberrant s'il n'est pas dans l'intervalle $[< x > -2S_X\ ; < x > +2S_X]$.

L'incertitude-type de la mesure est donnée par : $\boldsymbol{u_A = S_X/\sqrt{N}}$.

Incertitude-type de type B (mesure unique) :

On détermine le **demi-intervalle** acceptable pour la mesure, noté $\boldsymbol{a}$ **:**

- pour une lecture sur une **échelle graduée** (règle, thermomètre gradué, palmer…) :

$$\boldsymbol{a = 1/2\ graduation}$$

- pour un **appareil de mesure** à affichage digital (voltmètre, thermomètre électronique, …) :

a est appelé **précision** et est donné par la **notice**

- pour un **composant** (résistances, condensateurs, bobines, …) :

a est appelé **tolérance** et est donné par le **fabricant**

- pour une **évaluation directe par l'utilisateur** entre x_1 et x_2 :

$$\boldsymbol{x = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad et\ le\ demi-intervalle\ a = \frac{x_2 - x_1}{2}}$$

Si la mesure est à **lecture double :** $\boldsymbol{a}$ **est multiplié par** $\boldsymbol{\sqrt{2}}$

L'incertitude-type de la mesure est donnée par : $\boldsymbol{u_B = a/\sqrt{3}}$

Comparaison d'une mesure : x_1 ; $u(x_1)$

avec une **valeur de référence** x_{ref}	avec une **autre mesure :** x_2 ; $u(x_2)$
On détermine l'**écart normalisé** ou **z-score :**	
$\boldsymbol{z = \frac{\lvert x_1 - x_{ref}\rvert}{u(x_1)}}$	$\boldsymbol{z = \frac{\lvert x_1 - x_2\rvert}{\sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2}}}$
Si z<2, on considère qu'il y a **compatibilité** **Si z ≥ 2**, on considère qu'il y a **incompatibilité** et il faut **chercher la cause**.	